

Theoretische Überlegungen zu Aufbau und Funktion eines Rupforgans für die Ernte niedrig wachsender Pflanzen

Von Theodor Friedrich, Göttingen*)

DK 631.358.001.66:633.35:635.658

Für die Ernte niedrigwachsender Pflanzen wurde ein reihenunabhängig arbeitender "Breitrupfer" entwickelt, dessen Arbeitsorgane aus einer Rupfhaspel und einer Rupfwalze bestehen. Die Arbeitsweise und Konstruktionskriterien des Rupfers werden erläutert. In einem abschließenden Beispiel wird die Dimensionierung eines Rupfers für die Linsenernte durchkalkuliert.

1. Einleitung

Zur verlustarmen, möglichst vollständigen Ernte niedrigwachsender Pflanzen auch auf unebenen Böden bieten sich Rupfverfahren an. Gegenüber der Mähtechnik haben sie den Vorteil, die Pflanzen auch aus Furchen- oder Bodensenken ebenso wie lagernde Pflanzen ohne Verbleiben von Stoppelrückständen ernten zu können.

In der Landtechnik sind Maschinen mit verschiedenen Ziehorganen bekannt. Es handelt sich dabei um gegenläufig rotierende Paare von Rädern, Walzen oder Bändern, zwischen denen die Pflanzen eingeklemmt und so aus dem Boden gezogen werden. Diese Verfahren arbeiten im allgemeinen reihenabhängig. Sie sind weniger geeignet für die Ernte von Pflanzen, die in Breitsaat oder mit engen Drillreihenabständen gesät wurden.

Ein reihenunabhängig arbeitendes Rupfprinzip, das in einem Stoppelrübenernter angewandt wird, konnte nach Modifikationen auch für die Linsenernte erfolgreich eingesetzt werden. Zur Arbeitsweise dieses Rupfprinzips wurde eine Theorie entwickelt, deren Gültigkeit anhand von Feldversuchen gezeigt werden konnte [1].

2. Aufbau und Mechanik der Rupforgane

2.1 Aufbau der Rupforgane

Die Rupforgane des Breitrupfers, **Bild 1**, bestehen aus einer mit Gummileisten besetzten Rupfhaspel und einer Stahlwalze. Die Rupfhaspel kämmt über die gegensinnig drehende, ebenfalls angetriebene Rupfwalze. Dabei werden die Pflanzen eingeklemmt und samt eines Teils der Wurzel aus dem Boden gezogen.

*) Dr. sc. agr. Th. Friedrich ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. F. Wieneke) der Universität Göttingen.

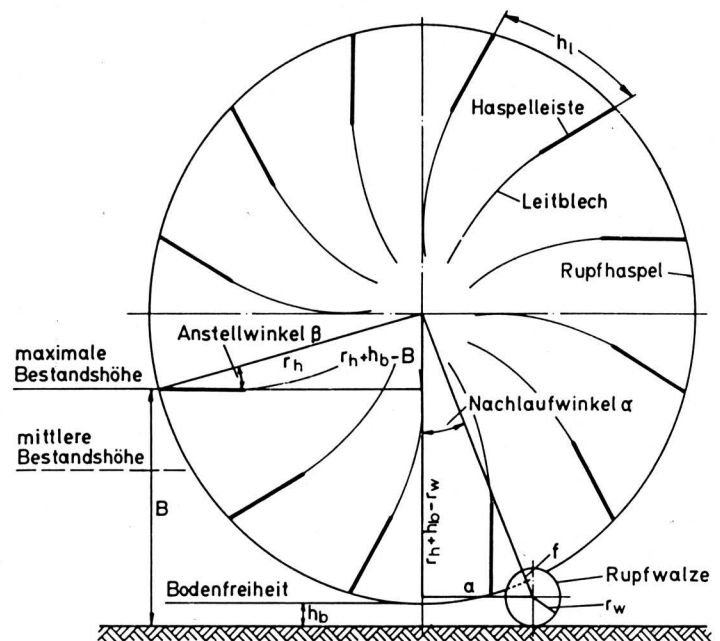


Bild 1. Rupforgan, schematisch; Geometrie und Bezeichnungen.

Dimensionierung und Aufbau der Rupforgane hängen ab von Größe und Eigenschaften der zu rupfenden Pflanze. Aus der Theorie zur Arbeitsweise dieses Rupfprinzips lassen sich die konstruktiven Größen der Rupforgane festlegen.

2.2 Antrieb der Rupforgane

Der Antrieb von Haspel und Rupfwalze sollte starr gekoppelt sein, so daß stets ein festes Geschwindigkeitsverhältnis zwischen der Umfangsgeschwindigkeit von Haspel und Rupfwalze besteht. Sofern Haspel und Walze am Außenumfang mit gleicher Umfangsgeschwindigkeit laufen, berechnet sich das Übersetzungsverhältnis zwischen Haspel- und Walzenantrieb aus dem Verhältnis der Radien. Am Rупfpunkt entsteht durch die Durchbiegung der Haspelleisten und durch die daraus resultierende Verringerung der Umfangsgeschwindigkeit ein geringfügiger Schlupf.

Aus Gründen der Selbstreinigung ist ein geringer Schlupf zwischen Walze und Haspel erwünscht, wobei die Walze schneller laufen sollte. Das Rupfen erfolgt aufgrund der Reibungskräfte zwischen den Pflanzen und den Haspelleisten bzw. der Rupfwalze. Die Reibungskräfte an den profilierten Gummihaspelleisten sind aufgrund der Oberflächenbeschaffenheit größer einzuschätzen als die an der glatten Stahlrupfwalze. Aus diesem Grunde kann beim Rupfen zwischen Walze und Pflanze ein größerer Schlupf auftreten als zwischen Pflanze und Haspelleiste, insbesondere bei Pflanzen, die beim Rupfen nur einen geringen Umschlingungswinkel um die Rupfwalze haben. Die Wirkung dieses Schlupfes lässt sich durch eine höhere Walzenumfangsgeschwindigkeit ausgleichen.

Ein weiterer Aspekt einer gegenüber der Haspelumfangsgeschwindigkeit geringfügig vergrößerten Rupfwalzenumfangsgeschwindigkeit ist

eine denkbare Klemmwirkung, die insbesondere nach dem Überwinden der maximalen Durchbiegung der Haspelleisten am Rupfpunkt auftreten wird und die Klemm- und damit die Rupfkkräfte noch steigern könnte.

2.3 Mechanik des Rupfens mittels Walze und Haspel

Die Leisten der Rupfhaspel beschreiben gegenüber dem Boden Zykloidenbahnen, die durch das Verhältnis k aus Fahr- und Haspelumfangsgeschwindigkeit gekennzeichnet sind. Bahnkurven, die für das Rupfen interessant sind, ergeben sich bei Werten $k \leq 1$. Es sind dies gewöhnliche Zykloiden für $k = 1$, Bild 2, und verschlungene Zykloiden für $k < 1$, Bild 3.

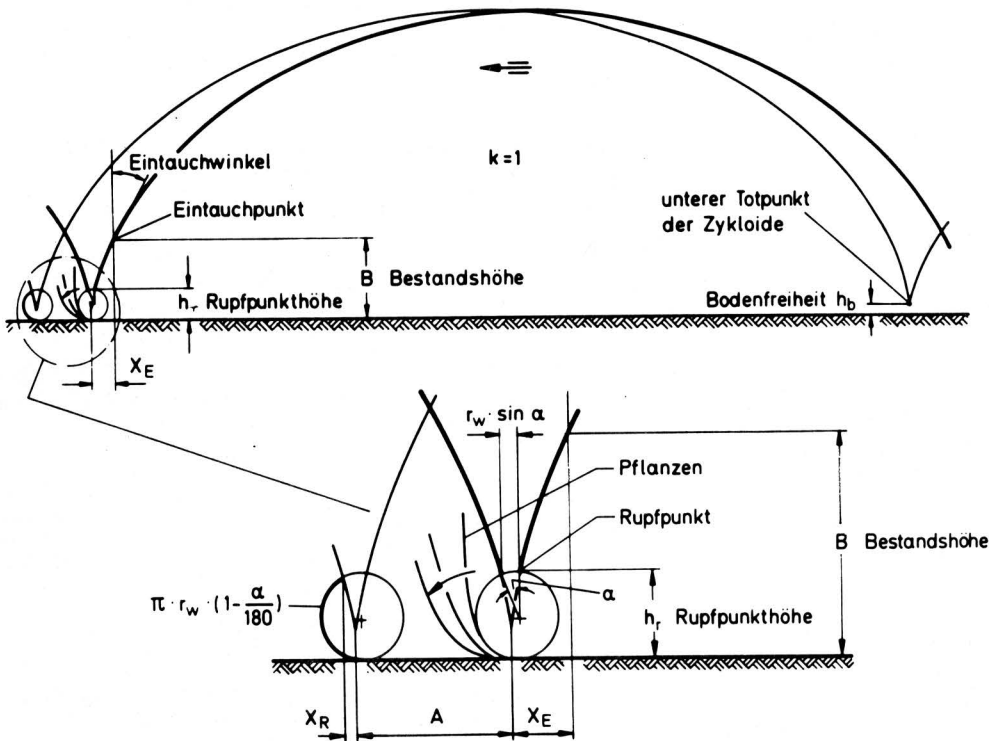


Bild 2. Bahnkurven (gewöhnliche Zykloiden) von Haspelleisten bei $k = v/u = 1$.

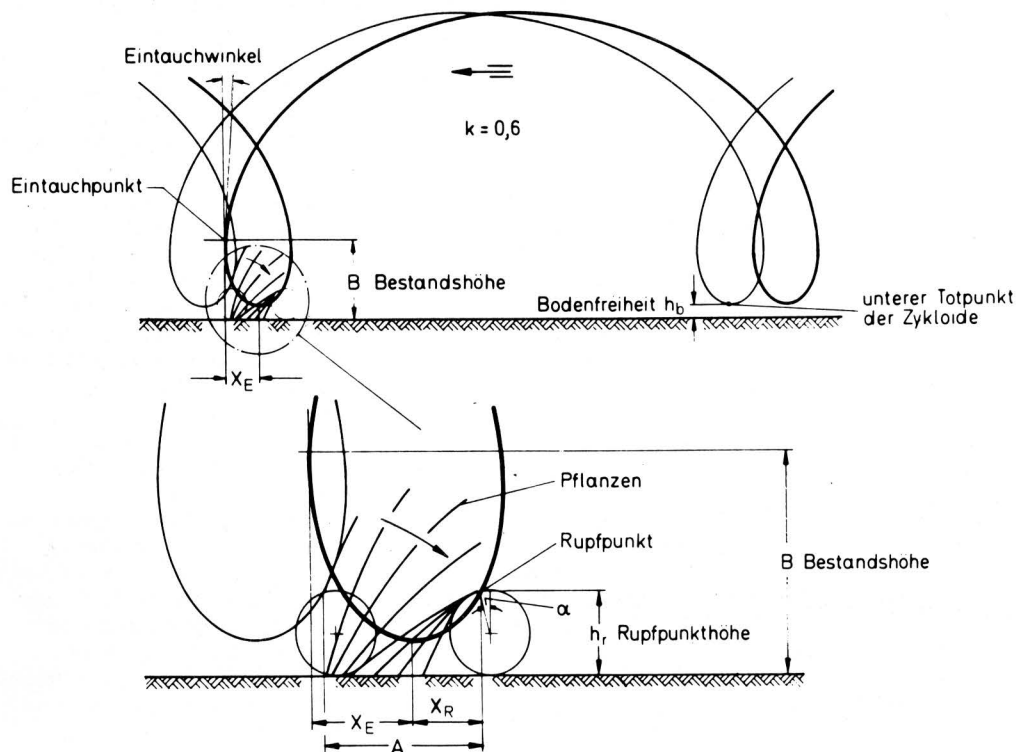


Bild 3. Bahnkurven (verschlungene Zykloiden) von Haspelleisten bei $k = v/u = 0,6$.

Bei einer gewöhnlichen Zyklode ist die horizontale Bewegungskomponente am tiefsten Punkt der Zyklodenbahn gleich Null. Die Pflanzen werden somit von der Rupfwalze überrollt, gegen die Haspelleiste gedrückt und gerupft. Die maximale Rupflänge L_{Rmax} ergibt sich in diesem Fall direkt aus dem Rupfpunktstand A , dem Rupfwalzenumfang, dem Nachlaufwinkel α sowie aus dem Maß, in dem die Pflanzen von den Haspelleisten nach vorn von der Rupfwalze weggedrückt werden (Bild 2).

Die letztgenannte Größe ist ihrerseits abhängig vom Eintauchwinkel der Zyklodenbahn in den Bestand. Der horizontale Abstand X_E zwischen dem unteren Totpunkt der Bahnkurve und dem Punkt, an dem die Haspelleiste in den Pflanzenbestand greift, berechnet sich aus der Gleichung für gewöhnliche Zykliden [2], indem r_h als Abrollradius und $(B - h_b)$ als Ordinate des Eintauchpunktes gesetzt werden:

$$X_E = r_h \frac{\pi}{100} \arccos \frac{r_h + h_b - B}{r_h} - \sqrt{(B - h_b)(2r_h + h_b - B)} \quad (1)$$

Den horizontalen Abstand X_R zwischen dem Rupfpunkt und dem unteren Totpunkt erhält man, wenn als Höhe anstelle von B der vertikale Abstand h_r des Rupfpunktes vom Boden

$$h_r = r_w + r_w \cos \alpha \quad (2)$$

eingesetzt wird.

Die maximale Rupflänge L_{Rmax} beträgt:

$$L_{Rmax} = X_E + A + \pi r_w \left(1 - \frac{\alpha}{180}\right) - r_w \sin \alpha + X_R \quad (3)$$

Dabei sind entsprechend den Bezeichnungen in Bild 2:

- X_E Horizontaler Abstand zwischen unterem Totpunkt der Zyklode und Eintauchpunkt
- A Rupfpunktstand, Abstand der unteren Totpunkte zweier aufeinanderfolgender Haspelleistenbahnen
- $\pi r_w (1 - \alpha/180)$ Kreisbogen um die Rupfwalze vom Rupfwalzenaufstandspunkt bis zum Rupfpunkt
- $(r_w \sin \alpha - X_R)$ Horizontaler Abstand des Rupfwalzenaufstandspunktes vom unteren Totpunkt der Zyklode.

Bei Vorgabe einer gewünschten maximalen Rupflänge L_{Rmax} läßt sich der erforderliche Rupfpunktstand A durch Umformung von Gl. (3) berechnen.

Bei einer verschlungenen Zyklode, also bei $k < 1$, Bild 3, führt die Haspelleiste im Pflanzenbestand eine Relativbewegung entgegen der Fahrtrichtung durch und drückt so die Pflanzen gegen die vorrückende Rupfwalze. Setzt man in die allgemeine Gleichung für die verschlungene Zyklode die Werte $r_h k$ als Abrollradius, r_h als Bahnradius und $[B - (h_b + r_h - r_h k)]$ als Ordinate des Eintauchpunktes, so ergibt sich durch einfache mathematische Umformung der horizontale Abstand X_E zwischen Eintauchpunkt und unterem Totpunkt einer verschlungenen Zyklode zu:

$$X_E = r_h k \frac{\pi}{180} \arccos \frac{r_h + h_b - B}{r_h} - r_h \sin(\arccos \frac{r_h + h_b - B}{r_h}) \quad (4)$$

Dabei gilt, daß $X_E > 0$ zwischen dem unteren Totpunkt und der Rupfwalze liegt, während sich $X_E < 0$ in Fahrtrichtung voraus befindet. Gl. (4) beschreibt dabei den Bereich eines Wälzwinkels von 0 bis 180°. Für die Ergebnisse aus Gl. (4) bedeutet dies, daß in den entsprechenden Bereichen das Vorzeichen des Ergebnisses für X_E zu ändern ist.

Addiert man zum Betrag des Abstandes $|X_R|$ vom unteren Totpunkt der Zyklode zum Rupfpunkt den Betrag des Abstandes $|X_E|$ zum Eintauchpunkt, so ergibt sich der Bereich, in dem die Pflanzen von der Haspel gegen die Walze geschoben werden. Aus Bild 4 wird deutlich, wie die Pflanzen gerupft werden. Dabei gibt es einen Abstand vom Aufstandspunkt der Rupfwalze X_{max} , an dem die maximale Rupflänge L_{Rmax} erreicht wird. Pflanzen mit einem Standort $X > X_{max}$ werden demnach, sofern sie nicht länger als L_{Rmax} sind, von der Rupfwalze überfahren und von der nächsten Haspelleiste gerupft.

Die Rupflänge L_R ergibt sich für den Fall einer verschlungenen Zyklode mit genügend kleinem k aus den Beziehungen:

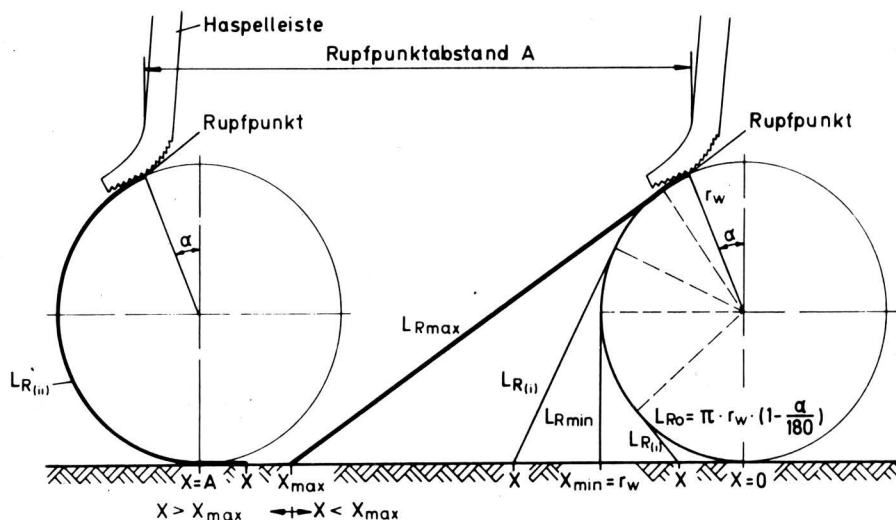
$$L_R = X + \pi r_w \left(1 - \frac{\alpha}{180} - \frac{\arctan(X/r_w)}{90}\right) \quad (5.1)$$

für $X \leq X_{max}$

$$L_R = A - X + \pi r_w \left(1 - \frac{\alpha}{180}\right) \quad (5.2)$$

für $X \geq X_{max}$

Gl. (5.1) beschreibt den Rupfvorgang bei den Pflanzen, die von der Haspelleiste gegen die Rupfwalze gedrückt werden. Die Pflanzen werden hier tangential an die Rupfwalze herangezogen und vom Berührungspunkt bis zum Rupfpunkt im Kreisbogen auf dem Rupfwalzenumfang geführt, Bild 5.



Gl. (5.2) beschreibt den Rupfvorgang bei den Pflanzen, die von der Rupfwalze überrollt werden. Die Rupflänge berechnet sich hier aus dem Abstand zwischen dem Pflanzenstandort und dem Aufstandspunkt der Rupfwalze beim Rupfvorgang $(A - X)$ und dem Kreisbogen bei der Umschlingung der Rupfwalze vom Aufstandspunkt bis zum Rupfpunkt (Bild 4). Die Umschlingung der Rupfwalze bewirkt in diesem Fall eine Verstärkung der von der Rupfwalze auf die Pflanzen am Rupfpunkt übertragbaren Kraft entsprechend der Eytelweinschen Beziehung [3].

Bild 4. Vereinfachte Darstellung des Rupfvorganges; $k \leq 0,66$.

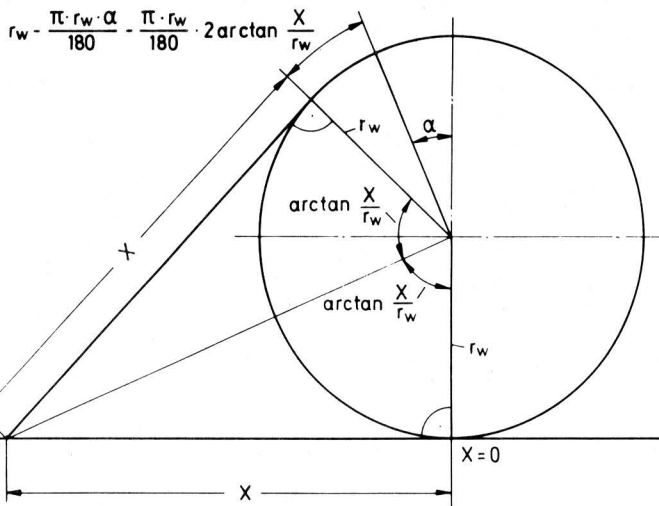


Bild 5. Geometrische Verhältnisse beim Rupfen im Bereich $X \leq X_{\max}$.

2.4 Bestimmung des erforderlichen Rupfpunktabstandes

Für eine verschlungene Zyklode läßt sich der Rupfpunktabstand A mit Gl. (5) nur näherungsweise über eine Reihenentwicklung bestimmen. Daher wird ein vereinfachter Ansatz verwendet, der sich aus Bild 6 ergibt. Es ist näherungsweise:

$$A = X_{\max} + L_{R\max} - \pi r_w \left(1 - \frac{a}{180}\right) \quad (6)$$

Dabei beschreibt der Ausdruck $L_{R\max} - \pi r_w \left(1 - \frac{a}{180}\right)$ den Abstand des Punktes X_{\max} vom Rupfwalzenaufstandspunkt ($X = A$) für die linke Lage der Rupfwalze in Bild 6. Der Abstand von X_{\max} zum Aufstandspunkt ($X = 0$) der Rupfwalze in der rechten Lage in Bild 6 errechnet sich nach:

$$X_{\max} = \sqrt{L_{R\max}^2 - r_w^2 (1 + \cos a)^2} + r_w \sin a \quad (7)$$

Durch Einsetzen läßt sich der Rupfpunktabstand A zur Einhaltung der maximalen Rupflänge $L_{R\max}$ errechnen:

$$A = \sqrt{L_{R\max}^2 - r_w^2 (1 + \cos a)^2} + r_w \sin a + L_{R\max} - \pi r_w \left(1 - \frac{a}{180}\right) \quad (8)$$

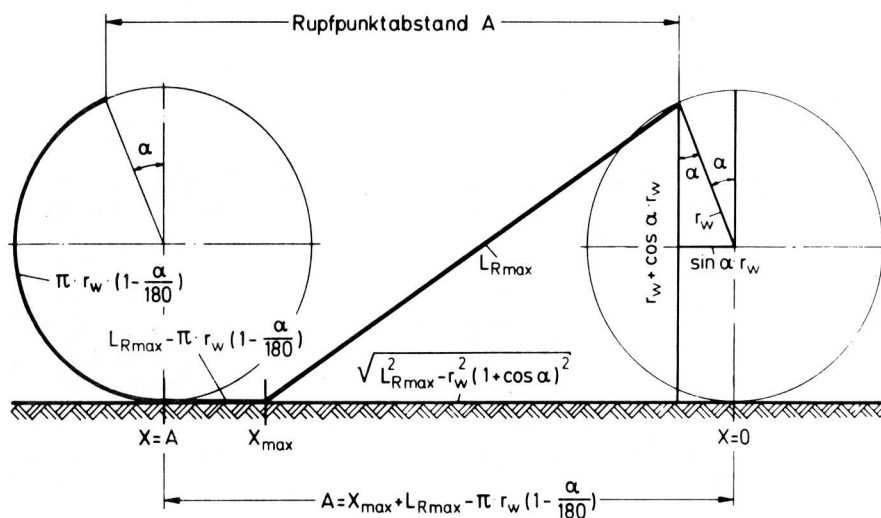


Bild 6. Ableitung des Rupfpunktabstandes A für eine vorgegebene maximale Rupflänge $L_{R\max}$; $k \leq 0,66$.

Aus dem Rupfpunktabstand A und dem Verhältnis k aus Fahr- geschwindigkeit v und Haspelumfangsgeschwindigkeit u ist der Abstand h_1 der Haspelleisten und damit auch deren Anzahl bei gegebenem Haspelradius zu ermitteln:

$$h_1 = A/k = A u/v \quad (9)$$

2.5 Dimensionierung der Rupforgane

Aus den Gln. (1) bis (9) wird deutlich, daß die Dimensionierung der Rupforgane und die Wahl des Geschwindigkeitsverhältnisses k ganz wesentlichen Einfluß auf die Rupfarbeit hat. Aus Gründen der Kosten- und Gewichtsersparnis werden Rupfwalze und -haspel möglichst klein dimensioniert werden. Dabei muß beachtet werden, daß die Rupfwalze groß genug bleibt, um Wickeln zu verhindern und eine Führung der Rupfeinheit auch auf steinigem Boden sicherzustellen.

Auch der Haspelradius darf nicht so klein gewählt werden, daß der Eintauchwinkel (Bilder 2 und 3) zu groß wird, da in diesem Falle viele Pflanzen nach vorne – von der Rupfwalze weg – gedrückt werden.

Wie aus Gl. (4) ersichtlich ist, steigen die Beträge $|X_E|$ und $|X_R|$ mit wachsendem Rupfhaspelradius r_h . Die Summe dieser Beträge sollte mindestens den Bereich $X = 0$ bis X_{\max} (Bild 6) überdecken, um möglichst viele Pflanzen nach dem Zusammenhang in Gl. (5.1) zu rupfen und damit die maximale Rupflänge $L_{R\max}$ gering zu halten.

Dies kann auch erreicht werden durch Verringerung des Geschwindigkeitsverhältnisses k oder des Haspelleistenabstandes h_1 (Gl. 9) und damit des Rupfpunktabstandes A.

Beim Einsatz zur Linsenernte muß für das Geschwindigkeitsverhältnis k gelten: $1 \geq k \geq 0,7$, möglichst sogar $1 \geq k \geq 0,75$. Andernfalls kommt es zum Ausdreschen der Körner, was besonders in trockenen Beständen zu hohen Spritzverlusten führt. Andererseits sollte der Haspelleistenabstand h_1 am Haspelumfang nicht zu eng sein, um das störungsfreie Eindringen der Haspelleisten in den Pflanzenbestand zu gewährleisten.

Die Zuordnung von Rupfhaspel und Rupfwalze geht aus Bild 1 hervor. Die Achse der Rupfhaspel liegt mit einem horizontalen Abstand a vor der Achse der Rupfwalze; die Verbindungslinie der Achsen bildet mit der Vertikalen durch den Haspelmittelpunkt den Nachlaufwinkel alpha. Je größer a und alpha, desto dichter kann der Rupfpunkt an den Boden gebracht werden. Der tiefste Punkt des Haspelaußenumfangs muß aber in einer bestimmten Höhe h_b über dem Boden liegen.

Ein weiterer Faktor für die Lage des gesamten Rupfbereiches auf der Rupfwalze, in dem die Haspelleisten die Rupfwalze berühren, ist der Anstellwinkel beta der Haspelleisten gegenüber den Strahlen zum Haspelmittelpunkt (Bild 1). Bei kleinem Winkel beta treffen die Leisten mit der Außenkante zuerst auf die Rupfwalze und kämmen im gesamten Schnittbereich zwischen Haspelaußenkreis und Rupfwalze auf der Rupfwalze. Bei größer werdendem beta passieren die Haspelleisten weicher an der Rupfwalze, jedoch verlagert sich der Rupfbereich nach oben.

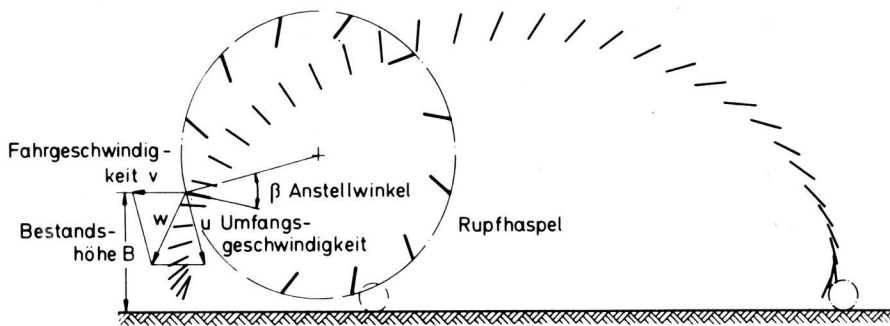


Bild 7. Bahnkurve einer Haspelleiste bei $k = 0,75$; Ruppfhaspel und Geschwindigkeitskomponenten für das Eintreten einer Haspelleiste in den Pflanzenbestand der Höhe B .

Ein sehr schonendes Eindringen der Haspelleiste in den Bestand ist gegeben, wenn die Leiste derart angestellt ist, daß sie in Richtung w der Tangente an die Zykloide zum Zeitpunkt des Auftreffens auf den Bestand steht (**Bild 7**). Allerdings trifft die Haspelleiste in diesem Falle mit der Außenkante voran auf die Ruppwalze, was wegen des harten Passierens der Haspelleisten an der Ruppwalze unerwünscht ist.

Bewegliche Haspelleisten, die im Verlauf der Haspelumdrehung ihren Anstellwinkel verändern, wie dies bei den Zinken der Mährescherhaspeln der Fall ist, sind aufgrund der auftretenden Kräfte konstruktiv zu aufwendig. Daher muß ein Kompromiß gewählt werden zwischen einem schonenden Eingreifen der Haspelleiste in den Pflanzenbestand und einem weichen Passieren der Leisten an der Ruppwalze. Diese beiden Bedingungen stellen somit die Grenzen dar, innerhalb derer der Winkel β gewählt werden sollte. Als Untergrenze wurde bereits $\beta = 0^\circ$ genannt. Die Obergrenze ergibt sich aus der Zykloidenbahn. Es sollte in jedem Fall angestrebt werden, daß die Haspelleiste mit ihrer Außenkante voran in den Pflanzenbestand taucht und keinesfalls vollflächig. Letzteres tritt auf, wenn der Anstellwinkel β so groß gewählt wird, daß die Haspelleiste beim Eintreten in den Pflanzenbestand sich im rechten Winkel zur tangentialen Geschwindigkeitskomponente w befindet.

Eine weitere Vergrößerung des Anstellwinkels β hat zur Folge, daß die Haspelleiste mit der Innenkante zuerst in den Bestand taucht und sich im Bestand dreht. Dies hat eine stärkere Bewegung des Pflanzenbestandes zur Folge, was wiederum zu erhöhtem Körnerausfall oder bei sehr trockenem Stroh zum Brechen der Pflanzen führen kann. Die Obergrenze für den Winkel β ist somit dann erreicht, wenn die Leiste im Moment des Eintauchens in den Bestand im rechten Winkel zur Geschwindigkeitskomponente w (**Bild 7**) steht.

2.6 Beispiel für die Auslegung der Rupporgane

Abschließend sei beispielhaft ein Rupporgan dimensioniert, wie es für das Ruppen von Linsen in Frage käme. Folgende Daten seien vorgegeben [4]:

Größte Bestandeshöhe $B_{\max} = 400$ mm
 durchschnittl. Bestandeshöhe $B_x = 260$ mm
 durchschnittl. Höhe des untersten Hülsenansatzes $H = 140$ mm.

Unter Berücksichtigung der mittleren Pflanzenlänge wird der Radius der Ruppwalze auf $r_w = 50$ mm festgelegt. Die Bodenfreiheit der Haspelleisten betrage $h_b = 40$ mm, der Haspelleistenanstellwinkel $\beta = 15^\circ$, die Durchbiegung der Haspelleisten am Ruppunkt $f = 20$ mm (**Bild 1**). Ausgelegt für die größte Bestandeshöhe B_{\max} wird der Haspelradius nach **Bild 1** mit $r_h = 486$ mm angesetzt. Mit diesen Größen wird der

horizontale Achsenabstand $a = 199$ mm und der Nachlaufwinkel $\alpha = 23^\circ$

bestimmt.

Die Linsenpflanzen sollten, um sicher erfaßt zu werden, bei etwa $2/3$ der Pflanzenhöhe eingeklemmt werden. Bei einer mittleren Pflanzenlänge von 260 mm wären dies 173 mm. Als $L_{R\max}$ werden somit 170 mm angesetzt. Nach Gl. (8) ergibt sich dann der Abstand der Ruppunkte $A = 192$ mm.

Für eine Haspel mit 12 Leisten wird nach Gl. (9) bei einem Geschwindigkeitsverhältnis $k = 0,7$:

Haspelleistenabstand $h_l = 254$ mm
 Ruppunkt Abstand $A = 178$ mm.

Der von den Haspelleisten gegen die Ruppwalze gedrückte Bereich beträgt bei durchschnittlich langen Pflanzen 131 mm (Gl. (4)). Die maximale Ruppflänge entsteht bei den Pflanzen, deren Standort $X > 131$ mm ist, die also von der Ruppwalze überfahren und von der folgenden Haspelleiste erfaßt werden. Sie beträgt 184 mm (**Bild 8**). Aufgrund der dann linearen Abnahme der Ruppflänge L_R gibt es jedoch zwischen zwei Ruppunkten nur einen Bereich von 14 mm, in dem die Ruppflänge L_R größer ist als 170 mm. Etwa 68% aller Pflanzen werden unterhalb der durchschnittlichen Höhe der untersten Hülsen von 140 mm eingeklemmt.

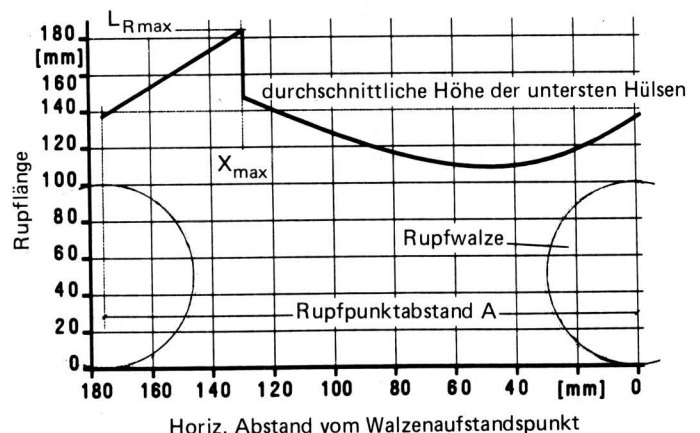


Bild 8. Ruppflänge in Abhängigkeit vom Fahrweg; $k = 0,7$, $A = 178$ mm.

3. Zusammenfassung

Niedrigwachsende Pflanzen können verlustarm mit einem reihenunabhängig arbeitenden Ruppgerät (Breitrupfer) bestehend aus einer Ruppfasel und einer Ruppwalze geerntet werden. Die Haspelleisten beschreiben bei ihrer Arbeit Zykloidenbahnen, deren Form in Abhängigkeit vom Verhältnis k aus Fahrgeschwindigkeit und Haspelumfangsgeschwindigkeit wesentlichen Einfluß auf die Arbeitsweise des Rupfers hat. Für die Ernte empfindlicher Pflanzen wird empfohlen, das Verhältnis k im Bereich $1 \geq k \geq 0,7$ zu wählen. In Abhängigkeit von der Größe der zu erntenden Kulturpflanze lassen sich sodann mit den angegebenen Beziehungen die konstruktiven Parameter des Rupfers berechnen.

Verwendete Formelzeichen

A	Abstand aufeinanderfolgender Rupfpunkte auf der Fahrstrecke
a	horizontaler Abstand der Achsen von Haspel und Rupfwalze
B	Bestandeshöhe
f	Durchbiegung der Haspelleisten am Ruppunkt
H	Durchschnittliche Höhe des untersten Hülsenansatzes
h_B	Bodenfreiheit der Haspelleisten an ihrem tiefsten Punkt
h_1	Abstand zweier Haspelleisten
h_r	Höhe des Ruppunktes über dem Boden
k	Verhältnis aus Fahrgeschwindigkeit und Haspelumfangsgeschwindigkeit
L_R	Rupflänge, Höhe über dem Boden, in der die Pflanzen eingeklemmt werden
L_{Rmax}	Maximale Rupflänge
r_h	Rupfhaspelradius
r_w	Rupfwalzenradius
u	Umfangsgeschwindigkeit
v	Fahrgeschwindigkeit
w	Geschwindigkeit der Haspelleiste auf der Zykloidenbahnkurve
X	Abstand eines Punktes auf der Fahrstrecke vom Aufstandspunkt der Rupfwalze beim Passieren einer Haspelleiste, gemessen in Fahrtrichtung

X_E	Horizontaler Abstand zwischen Eintauchpunkt einer Haspelleiste in den Pflanzenbestand und unterem Totpunkt der Bahnkurve
X_{max}	Abstand zwischen Aufstandspunkt der Rupfwalze und dem Punkt, an dem die maximale Rupflänge L_{Rmax} erreicht wird
X_R	Horizontaler Abstand zwischen Ruppunkt und unterem Totpunkt der Bahnkurve einer Haspelleiste
α	Nachlaufwinkel der Rupfwalzenachse
β	Anstellwinkel der Haspelleisten

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] *Friedrich, Th.*: Untersuchungen zur Mechanisierung der Linsenernte nach dem Ruppprinzip im Vergleich zu anderen Linsenernteverfahren in Syrien. Diss. Univ. Göttingen, 1988.
- [2] • *Bartsch, H. J.*: Taschenbuch mathematischer Formeln. 4. Aufl. Frankfurt/M.: Deutsch, 1978.
- [3] • *Beitz, W. u. K.-H. Küttner* (Hrsg.): Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau. 14. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1981.
- [4] *Erskine, W. u. J.R. Witcombe*: Lentil germplasm catalog. ICARDA, Aleppo/Syria.

Ackerschlepper-Reifendynamik

Teil 1: Fahrbahn- und Prüfstandsergebnisse

Von Axel Kising und Horst Göhlich, Berlin*)

DK 631.372:629.11.012.55:625.032.4

Das dynamische Verhalten von Schleppern ohne Aufbaufederung wird entscheidend von den Eigenschaften der meist großvolumigen Fahrzeugreifen bestimmt. Hohe Fahrgeschwindigkeiten stellen völlig neue Anforderungen an die für den Feldeinsatz optimierten AS-Reifen. Nachfolgend werden verschiedene Untersuchungsmethoden und -ergebnisse vorgestellt, die für eine Gesamtbeurteilung eines AS-Reifens in dynamischer Hinsicht von Interesse sind. Die im einzelnen dargestellten Kenngrößen wie Federkennlinien, Dämpfungswerte, Stollenanregungen, Reifenunrundheiten, das Überrollverhalten und der Verlauf wichtiger Betriebskenngrößen wurden zum Teil mit Hilfe eines Flachbahnreifenprüfstandes gewonnen, der entsprechend den realen Verhältnissen auf straßenähnlichen Fahrbahnen den Fahrzeugreifen von der Aufstandsfläche her mit beliebigen Fahrbahnunebenheitsspektren erregen kann.

Der Deutschen Forschungsgesellschaft wird für die finanzielle Unterstützung des Vorhabens gedankt.

*) *Dipl.-Ing. A. Kising war wissenschaftlicher Mitarbeiter, Prof. Dr.-Ing. H. Göhlich ist Leiter des Institutsbereichs Landtechnik und Baumaschinen am Institut für Maschinenkonstruktion der TU Berlin.*

1. Einleitung

Zur Reduzierung von Transport- und Wegezeiten wird heute zunehmend die Forderung nach höheren Fahrgeschwindigkeiten für landwirtschaftliche Schlepper gestellt. Dieser Trend wurde durch zwei Entwicklungen unterstützt:

- a) Verbesserung der fahrdynamischen Eigenschaften infolge konstruktiver Änderungen im Fahrzeugaufbau – z.B. Verlagerung der Fahrer kabine in Richtung Fahrzeugmitte, elastischer Anbau im Dreipunkt, Vorderachsfederung.
- b) Zunehmende Güte heutiger Fahrbahnen im unmittelbaren Einzugsbereich landwirtschaftlicher Nutzflächen.

Insbesondere Fahrzeuge ohne Aufbaufederungssysteme werden in ihrem fahrdynamischen Verhalten weitgehend von den Eigenschaften der meist großvolumigen Fahrzeugreifen bestimmt [1, 2, 3].

Bild 1 verdeutlicht den starken Einfluß der Reifendämpfung auf die bezogene dynamische Radlastschwankung [1]. Der in diese Darstellung eingezeichnete Bereich der für AS-Reifen gemessenen, vom Reifeninnendruck und der Fahrgeschwindigkeit abhängigen Werte für die Reifendämpfung [4 bis 8] macht deutlich, daß die bezogene dynamische Radlastschwankung gerade in diesem Bereich mit abnehmender Reifendämpfung stark ansteigt.

Um eine ausreichende Fahrzeugführung zu gewährleisten, darf das Verhältnis F_{dyneff}/F_{stat} als direktes Maß für die Fahrsicherheit den Wert 0,33 nicht überschreiten. Die vordringlichste Aufgabe zur Beurteilung des Fahrverhaltens von Schleppern ist somit die exakte Ermittlung von Kenndaten der Fahrzeugreifen im heute gültigen Geschwindigkeitsbereich bis 50 km/h. Aufgrund der äußerst komplexen Verformungsvorgänge der großvolumigen AS-Reifen mit ihren schaufelförmigen Profilen kann dieses Ziel nur durch experimentelle Untersuchungen erreicht werden [7, 9, 10].