

Martin Klausmann, Anja Baumert, Joachim Müller und Karlheinz Köller, Hohenheim

## Mechanische Unkrautregulierung in der Pflanzenreihe

**Nach der Umsetzung der EU-Richtlinie 91/414 sind Indikationslücken entstanden, die zu einer Erschwernis der chemischen Unkrautregulierung in Sonderkulturen wie zum Beispiel dem Heilpflanzenanbau führten [1]. Die mechanische Unkrautregulierung stellt in solchen Bereichen eine Alternative zur chemischen Bekämpfung dar. Am Institut wurde das bekannte Prinzip der Fingerhacke [2] der Firma Kress und deren Vorläufer [3] aus den USA weiterentwickelt. Der gebaute Prototyp beseitigt auch in der Reihe stehendes Unkraut effektiv.**

Der Hackeffekt dieser Maschine beruht auf dem unterschiedlichen Schlupf der Werkzeuge, die radial auf einer Metallscheibe befestigt sind. Im Feldversuch wurden Behandlungseffekte bis zu 80 % gemessen [4]. Zur Zeit wird die Hacke in verschiedenen Kulturen getestet, um weiteres Datenmaterial und Erfahrungen zu sammeln, die in eine Weiterentwicklung einfließen können.

### Die Hackmaschine

Bei der Hackmaschine handelt es sich um ein mehrreihiges Gerät mit bodengetriebenen Werkzeugen zur Unkrautbekämpfung in der Reihe. Ein Hackelement der Maschine besitzt zwei Hackkörper. Der Hackkörper besteht aus einer drehbar gelagerten Scheibe, die radial mit abwechselnd starren und flexiblen Werkzeugen ausgestattet ist. Insgesamt sind 32 Werkzeuge pro Fingerscheibe montiert. Der Bodenantrieb erfolgt über starre Metallzinken, welche in halbaxialer Richtung am Scheibenumfang angebracht sind. Sie arbeiten senkrecht im Boden. Die Scheibe ist dementsprechend um einen bestimmten Winkel in Richtung der Pflanzenreihe geneigt, wodurch ein defi-

nierter Teil der Antriebszinken in den Boden eindringt und bei Vorwärtsbewegung der Hacke ein gegensinniges Abrollen der Scheiben bewirkt. *Bild 1* zeigt eine schematische Darstellung der Hacke.

Von jeder Seite greifen die flexiblen Werkzeuge abwechselnd in die Pflanzenreihe ein. Die starren Werkzeuge bearbeiten den Boden in der Peripherie der Wurzel. In Fahrtrichtung sind die Scheiben in der Horizontalprojektion der Scheibenachse um 30° angestellt. Damit wird erreicht, dass die Werkzeuge von oben in die Reihe eingreifen und nach außen arbeiten. Dabei werden die flexiblen Werkzeuge gespannt. In der Entspannungsphase wird das Unkraut zusammen mit losen Bodenpartikeln zwischen die Reihen befördert.

Aus der Horizontalen sind die Scheiben um 60° geneigt. Dies entspricht dem Winkel  $\alpha$  in der Zeichnung. Um den gewünschten Arbeitseffekt zu erzielen, ist es eine Grundvoraussetzung, dass die Antriebszinken tiefer in den Boden eingreifen als die starren Hackwerkzeuge. Nur so ist sicherzustellen, dass die Scheiben über die Zinken angetrieben werden. Treiben die starren Werkzeuge die Scheiben an, geht der Hackeffekt verloren.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass man das Stadium der Kulturpflanze über die Auswahl der flexiblen Werkzeuge und die Einstellung berücksichtigen muss. Optimal einsetzbar ist die Maschine in Pflanzungen, in denen die Kulturpflanze einen deutlichen Vorsprung zum Unkraut aufweist. Behandlungseffekte der Hacke sind mit bis zu 80 % gemessen worden. Für den Hackeffekt sind der Schlupf und die Werkzeugarten von großer Bedeutung.

### Die Funktion des Schlupfes

Das Funktionsprinzip der Fingerhacke wurde von Müller [2] untersucht. Auch bei dieser Maschine beruht die Hackwirkung auf der horizontalen Scherwirkung der flexiblen Werkzeuge im Boden. Unterstützt wird dies durch die tief in den Boden eingreifenden starren Werkzeuge. Für die Funktion der Hacke sind der Radius der Werkzeuge und der Radius der Antriebszinken ausschlaggebend. Der negative Schlupf der Antriebszinken wird durch die Differenz des Radius der Zin-

ken zu denen der Werkzeuge in positiven Schlupf gewandelt. Dies ist auf eine größere Umfangsgeschwindigkeit der Werkzeugspitzen zurückzuführen. Dabei wurde festgestellt, dass mit steigendem Schlupf der Werkzeuge der Hackeffekt zunimmt. Eine Aufhebung des Hackeffektes wird bei einem Schlupf der Antriebszinken von 22 % erreicht. In diesem Zustand weisen die Werkzeuge keinen positiven Schlupf mehr auf. Je geringer der Schlupf der Antriebszinken, desto besser ist der Arbeitseffekt. Über den Neigungswinkel  $\alpha$  der rotierenden Scheiben und über die Länge der flexiblen Werkzeuge kann man den Schlupf direkt beeinflussen. Ergebnisse einer Schlupfmessung sind in *Bild 2* dargestellt.

Bei einer durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit des Trägerfahrzeuges von 5,98 km/h erreichte die Hacke eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 4,94 km/h. Die Standardabweichung ist bei diesen Werten mit 0,03 km/h etwas höher als bei dem Trägerfahrzeug mit 0,02 km/h. Der Variationskoeffizient (VK) wurde bei einem Neigungswinkel  $\alpha$  von 60° mit 0,8 % berechnet. Dieser Wert beruht auf einer sechsfachen Wiederholung. Nach [2] wurde der VK für die Fingerhacke mit 3,5 % berechnet. Ein niedriger VK steht für einen gleichmäßigen Lauf der Fingerscheibe.

### Werkzeugbauarten

In der Entwicklungsphase wurden verschiedene Werkzeugbauarten getestet. Eine Auswahl verschieden starrer und flexibler Werkzeuge standen zur Verfügung. Polyamidrundmaterial, Rundstahl (St37) und Federstahl wurden als Vertreter der starren Werkzeuge untersucht. Ziel der Untersuchung war es, ein Werkzeugmaterial auszuwählen, das selbst unter widrigen Bodenverhältnissen die Bearbeitung in der Reihe sicherstellen kann. Die Werkzeuge wurden dazu vermessen. Gemessen wurden die angelegte Kraft und die Auslenkung des Werkzeugs. Dabei zeigte sich, dass sich der Rundstahl bei einer Belastung von 32 N gleichmäßig und irreversibel verformt. Das Polyamidwerkzeug weist einen zunehmenden Auslenkwinkel mit steigender Belastung auf. Allerdings bricht das Material, wenn eine Kraft von über 30 N angelegt wird. Als op-

*Prof. Dr. Karlheinz Köller ist Leiter des Fachgebietes „Mechanisierung und Bewässerung“ des Institutes für Agrartechnik in den Tropen und Subtropen der Universität Hohenheim, Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart, e-mail: koeller@ats.uni-hohenheim.de. Dr. sc. agr. Joachim Müller ist Mitarbeiter und Dipl.-Ing. sc. agr. Anja Baumert Doktorandin am Institut. Dipl.-Ing. sc. agr. Martin Klausmann war als Student im Rahmen seiner Diplomarbeit am Institut tätig. Den Firmen Salushaus und Hätzenbichler danken wir für die Unterstützung der Untersuchung.*

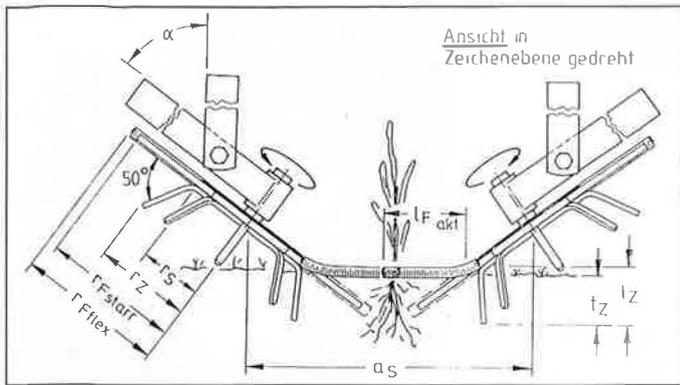


Bild 1: Schematische Darstellung der Hacke

Fig. 1: Functional diagram of the harrow

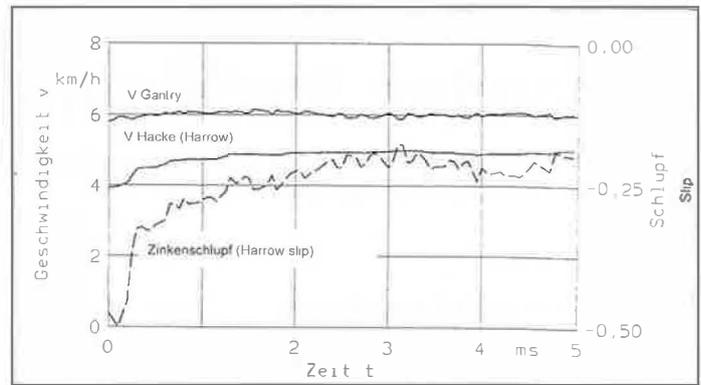


Bild 2: Schlupf der Hacke über die Zeit

Fig. 2: Harrow slip in the course of time

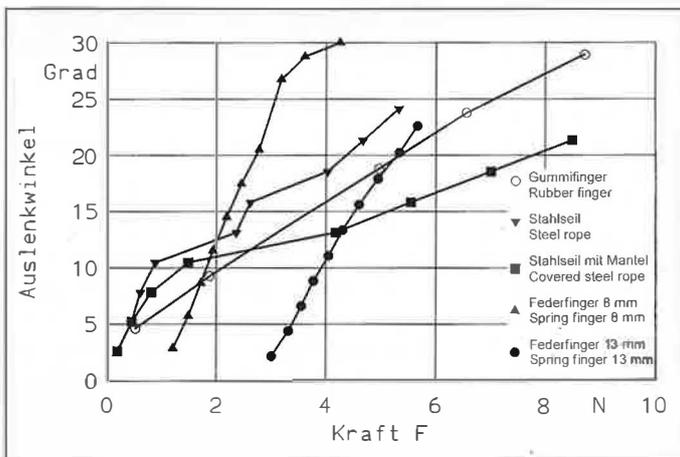


Bild 3: Kräfte an unterschiedlichen Werkzeugen bei verschiedenen Auslenkwinkeln

Fig. 3: Forces on different tools with varied working angles

timal stellte sich das Federstahlwerkzeug heraus, dass Kräfte von bis zu 92 N aufnehmen kann, ohne sich zu verformen. Die Elastizität des Federstahles ist insbesondere dann wichtig, wenn trockene Kluten die Hacke blockieren. Dabei werden enorme Kräfte auf die Werkzeuge ausgeübt, die der Federstahl auffangen kann, ohne sich zu verformen.

Die Materialien der flexiblen Werkzeuge waren: ein Gummifinger der Fingerhacke, ein 8 mm Ø Stahlseil, ein 8 mm Ø ummanteltes Stahlseil, ein Federstrang 8 mm Ø und ein Federstrang mit 13 mm Ø. Bild 3 zeigt die Ergebnisse der Versuche mit den flexiblen Werkzeugen.

Das Diagramm zeigt die Auslenkwinkel der Werkzeuge über den lateral wirkenden Kräften. Der Gummifinger weist einen proportionalen Anstieg auf. In den Versuchen hat sich herausgestellt, dass das ummantelte Stahlseil den Werten des Gummifingers am nächsten kommt. In Feldversuchen zeigte sich jedoch, dass mit dieser Werkzeugvariante auch der größte Schaden in der Kultur angerichtet wurde. Die getesteten Federstränge weisen beide einen nahezu proportionalen Anstieg der Kurven auf. Die 8 mm Feder unterscheidet sich von der 13 mm Feder in der Höhe der Auslenkung. Bei der 8 mm Feder ist die Auslenkung bei geringer Kraft größer als bei der 13 mm Feder. So-

kann dem Stadium der Kulturpflanze angepasst werden.

Zur Optimierung des Hackeffektes wurde die Länge der Werkzeuge so ausgerichtet, dass die starren Werkzeuge nicht in die Reihe eingreifen, sondern nur an der Reihe arbeiten. Sie drücken den Wurzelballen der Pflanze beim Eingreifen in den Boden an und lockern die Erde gleichmäßig nach außen. Die Länge der flexiblen Werkzeuge wurde so gewählt, dass sie sich in der Reihe überlappen. Somit ist die Bearbeitung der Zwischenräume sichergestellt. Gleichzeitig steigt dadurch die aktive Werkzeuglänge und erhöht somit den Hackeffekt.

### Fazit

In den Versuchen im Labor und im Feld hat sich gezeigt, dass der Hackeffekt über verschiedene Parameter stark beeinflusst werden kann. Die Auswahl des Werkzeugmaterials und dessen Modifizierung sorgten für eine saubere Hackwirkung in der Reihe. Besonders über die Optimierung der Einstellung des Neigungswinkels konnten die Laufeigenschaften der Hacke verbessert werden, was durch den Schlupfversuch bestätigt wurde.

Die Reihenführung und die Tiefenregulierung müssen ebenfalls optimiert werden. Die Verluste an Pflanzenmaterial in der Reihe sind auf nicht sauberes Fahren

an der Reihe zurückzuführen. Sobald die Pflanze zwischen den Fingern einer Fingerscheibe eingeklemmt wird, ist ihr Verlust kaum mehr zu verhindern. Nur über eine optimale Führung an der Reihe können diese Verluste minimiert werden. Die Tiefenregulierung stellt hier ein weiteres Problem dar. Auf Grund der großen Anzahl von Werkzeugen auf einer Scheibe läuft die Hacke auf und erreicht somit nicht ihre gewünschte Arbeitstiefe. Im Feldversuch wurden die Hackelemente mit jeweils zwei 25 kg Frontgewichten beschwert. Denkbar wäre auch eine Kombination der Hacke mit Gänsefußscharen zur Regulierung der Arbeitstiefe.

Der Einsatz der Hacke in Kombination mit beispielsweise einer Sternhacke stellt eine Alternative zum chemischen Pflanzenschutz in Sonderkulturen dar. Im ökologischen Landbau ist damit eine Minimierung der Handarbeit und damit auch der Kosten denkbar.

### Literatur

- [1] Pank, F.: Chemische Unkrautbekämpfung in Arznei- und Gewürzpflanzen. Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen (1997), H. 2 S. 24-38.
- [2] Müller, J. et al.: Untersuchung einer bodengeführten, rotierenden Fingerhacke. Agrartechnische Forschung (1997), H.3, S. 78-85.
- [3] Bezzerides, P.: A line of tools with the versatility you need for removing weeds mechanically in between plants in the row, for row crops, vineyards and orchards. Orosi, California (USA), 1991
- [4] Klausmann, M.: Optimierung des Einsatzes von Fingerhacke und Striegel zur Unkrautregulierung in Dicotyledonen. Diplomarbeit am Institut für Agrartechnik in den Tropen und Subtropen, Universität Hohenheim, 1998

### Schlüsselwörter

Mechanisierung, mechanische Unkrautregulierung, Intra-Reihe, Dicotyledonen

### Keywords

Mechanization, mechanical weed control, intra-row, dicotyledones