

Schneiden landwirtschaftlicher Güter mit Hochdruckwasserstrahl

Ergebnisse aus drei Jahren DFG-Forschungsarbeit

Im Rahmen eines durch die DFG-geförderten Forschungsvorhabens wird am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik (ILF) der TU Braunschweig an einem eigens hierfür entwickelten Versuchsstand das Schneiden landwirtschaftlicher Güter mit Hochdruckwasserstrahl als grundlegend neues, der Landtechnik bisher fremdes Schneidverfahren untersucht.

Neben der Ermittlung von funktionalen Zusammenhängen zwischen den Parametern einer Wasserstrahlschneidanlage und den unterschiedlichen landwirtschaftlichen Schnittgütern steht die grundsätzliche Abschätzung des Schnittpotenzials und die Analyse des Schnittpotenzials im Vordergrund.

Dipl.-Ing. Andreas Ligocki ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms), Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig; e-mail: a.ligocki@tu-bs.de. Das Forschungsprojekt "Einsatzgebiete für die Wasserstrahlschneidtechnik in der Landwirtschaft" wird finanziell von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Flow Europe GmbH und der Hammelmann Maschinenfabrik GmbH unterstützt.

Schlüsselwörter

Schneidverfahren, Wasserstrahlschneiden

Keywords

Cutting technologies, water-jet cutting

Literatur

[1] Ligocki, A. und H.-H. Harms: Schneiden von Zuckerrüben mit Hochdruckwasserstrahl. Landtechnik 57 (2002), H. 6, S. 360-361

In diesem Beitrag werden Ergebnisse vorgestellt, die aus einem dreijährigen DFG-geförderten Forschungsprojekt zum Thema Wasserstrahlschneiden landwirtschaftlicher Güter resultieren. Die den Ergebnissen zugrunde liegenden Versuche wurden am Wasserstrahlschneidversuchsstand des Instituts für Landmaschinen und Fluidtechnik durchgeführt. Die Technologie des Wasserstrahlschneidens sowie die Funktionsweise des Versuchsstandes wurde bereits in [1] vorgestellt.

Versuchsstrategien:

Ziel der am ILF durchgeführten Untersuchungen ist es, grundlegende Erkenntnisse beim Schneiden landwirtschaftlicher Güter mit dem Werkzeug "Hochdruckwasserstrahl" zu erlangen. Da die Randbedingungen wie Vorschubgeschwindigkeit oder Wasserverbrauch bei den angestrebten Einsätzen stark von den bisher bekannten Anwendungen abweichen, können die aus anderen Wirtschaftszweigen bekannten Gesetzmäßigkeiten nicht ohne weiteres übertragen werden.

Neben einer Neubestimmung dieser funktionalen Zusammenhänge unter Variation möglichst aller Systemparameter steht auch eine Abschätzung des Schnittpotenzials ausgewählter landwirtschaftlicher Güter im Vordergrund.

So entstand eine Gesamtversuchsstra-

ategie, die sich in eine Gruppe intensiv zu untersuchender Güter zur Erfassung der Gesetzmäßigkeiten und in weniger intensiv zu untersuchender Güter zur Abschätzung des Schnittpotenzials unterteilen lässt.

Zur besseren Analyse des Schnittpotenzials wurden begleitend Hochgeschwindigkeitsaufnahmen durchgeführt.

Resultierend aus diesen Anforderungen ergeben sich durch Multiplikation der in Bild 1 dargestellten Parameter mehr als 17 000 Versuchsreihen mit x-Einzelversuchen pro Versuchsgut. Durch die Festlegung von Basisparametern und Variation von nur einem Parameter innerhalb einer Versuchsreihe konnte ein realistischer Umfang von 80 Versuchsreihen mit über 600 Einzelversuchen abgedeckt werden.

Dabei wurden die folgenden Schnittgüter für die Versuche herangezogen:

- Zuckerrüben (intensiv untersucht),
- zu Gutsträngen gepresste Graspakete (intensiv untersucht),
- Kartoffeln (intensiv untersucht),
- Maiskolben (zur Abschätzung des Potenzials),
- Maispflanzenstängel (zur Abschätzung des Potenzials),
- Mohrrüben, (zur Abschätzung des Potenzials).

Bild 1: Übersicht der Versuchsparameter (intensiv untersuchte Güter)

Fig. 1: Synopsis of test parameters (intensively analysed goods)

Parameter / parameter		Kartoffeln potatoes	Zuckerrüben sugar beets	Graspakete packages of grass
Reinwasser / pure water	Vorschub feed rate	Basis: 1500 mm/s Variation: 100 ... 3000 mm/s	1500 mm/s 100 ... 3000 mm/s	15 mm/s 10 ... 120 mm/s
	Schneiddruck pressure	Basis: 350 MPa Variation: 100 ... 350 MPa	350 MPa 100 ... 350 MPa	350 MPa 100 ... 350 MPa
	Freistrahllänge jet length	Basis: 5 mm Variation: 5 ... 150 mm	5 mm 5 ... 200 mm	35 mm 35 ... 120 mm
	Düsenanstellwinkel angle of nozzle	Basis: 0° Variation: 0° ... ±45°	0° —	0° —
	Düsendurchmesser nozzle diameter	Basis: 0,152 mm Variation: 0,076 ... 0,33 mm	0,152 / 0,254 / 0,33 mm 0,076 ... 0,33 mm	0,254 / 0,33 mm 0,076 ... 0,33 mm
Abrasivestrahl / jet for abrasives	Abrasivmittelmenge abrasive flow rate	Basis: — Variation: —	2,6 g/s 1,1 ... 7,6 g/s	2,6 g/s 1,1 ... 7,6 g/s
	Vorschub feed rate	Basis: — Variation: —	1500 mm/s 100 ... 3000 mm/s	40 / 60 mm/s 40 ... 140 mm/s
	Freistrahllänge jet length	Basis: — Variation: —	5 mm 5 ... 200 mm	35 mm 35 ... 120 mm
	Sandkörnigkeit sand granulation	Basis: — Variation: —	— 120 / 80 mesh	120 / 80 mesh 80 ... 220 mesh
	Altern. Abrasivmittel alternative abrasives	Basis: — Variation: —	— Sand	Sand Kochsalz / Zucker
Vorpresse pre compression	Basis: — Variation: —	— —	— —	0,2 MPa 0,4 MPa

	Kartoffel potato	Zuckerrübe sugar beet	Graspaket package of grass	
Feinwasser / pure water	Vorschub feed rate			
	Schneiddruck pressure			
	Freistrahllänge jet length			
	Düsenstell- winkel angle of nozzle			
	Düsen- durchmesser nozzle diameter			
Abrasive / jet for abrasives	Abrasive- mittel- menge abrasive flow rate			
	Vorschub feed rate			
	Freistrahllänge jet length			
	Sandkörnung sand granulation			
	Alternatives Abrasive- mittel alternative abrasives			
Vorpressdruck pre compression				

Bild 2: Funktioneller Zusammenhang zwischen Schnitttiefe (Kerbtiefe) und variiertem Parameter bei unterschiedlichen Schnittgütern

Fig. 2: Functional relationship between cutting depth and variation parameter with different cutting goods

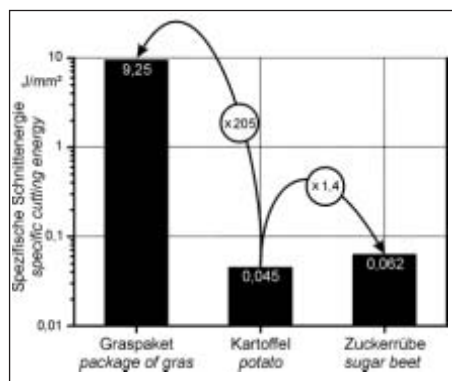


Bild 3: Spezifische Schnittenergien im Vergleich

Fig. 3: Comparing specific cutting energies

Damit die funktionellen Zusammenhänge bei allen untersuchten Gütern deutlich hervortraten, erfolgte eine Anpassung der Basisparameter an die jeweiligen Guteigenschaften. Dieses hat zur Folge, dass die erzielten Schnitttiefen (Kerbtiefen) für die Erfassung der funktionellen Zusammenhänge (Bild 2) zwar aussagekräftig und in ihren Verläufen zu einem großen Teil ähnlich sind, ein Vergleich der Ergebnisse unterschiedlicher Schnittgüter quantitativ jedoch nicht sofort möglich ist.

Hierzu wurde die spezifische Schnittenergie herangezogen, die eine vergleichbare und bewertbare Größe darstellt. Abweichend von den bisher in der Landtechnik üblichen Konventionen (Energie pro Masse), verkörpert sie in der Wasserstrahltechnologie die Energie pro geschnittene Fläche, da es beim Schneiden mit Hochdruckwasserstrahl unre-

levant ist, welche Masse vom Wasserstrahl zu trennen ist.

Betrachtet man die erforderlichen spezifischen Schnittenergien verschiedener Güter, stellen sich deutliche Unterschiede dar. In Bild 3 wurden exemplarisch für drei vergleichbare Versuche die Energien gegenübergestellt.

Für die Schnittgüter Kartoffel und Zuckerrübe ergeben sich nahezu identische spezifische Energien. Die Abweichungen sind geringfügig und auf unterschiedliche strukturelle Aufbauten der beiden Güter zurückzuführen. Deutlich ist jedoch der gravierende Unterschied zwischen dem Schnittgut Graspaket und Zuckerrübe oder Kartoffel erkennbar. Hier liegt die für den Schnitt erforderliche spezifische Energie etwa um Faktor 200 über der für Kartoffeln oder Zuckerrüben. Erklärbar wird diese Diskrepanz im Wesentlichen durch zwei theoretische Ansätze, die im Folgenden erläutert werden sollen:

1. Während es sich bei einer Zuckerrübe oder Kartoffel, den Aufbau betreffend, um ein vergleichsweise homogenes Gut handelt, besteht ein Graspaket aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Einzelhalmen. Diese können hauptsächlich blattförmiger oder hohlkörperförmiger Struktur sein. Darüber hinaus lassen sich immer wieder Luftporen im Gut finden. Der Schnitvorgang kann so in eine Vielzahl von Einzelhalmschnitten zerlegt werden. Dabei durchdringt der Strahl die unterschiedlichen Halme und verliert in seinem Verlauf durch häufige Übergänge zwischen den Einzelhalmen oder zwischen Einzelhalmen und eingeschlossener Luft an Kohärenz, somit an für den Schnitt wirksamer Energiedichte und damit auch an Eindringtiefe (Schnitttiefe). Dieses Phänomen konnte auch mit Hilfe von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen bei Maisstängeln bestätigt werden. Bild 4 zeigt einzelne Bilder einer Hochgeschwindigkeitssequenz, die bei einem Schneiddruck von 300 MPa erstellt wurde. Deutlich ist zu erkennen, wie der Strahl auf den Stängel auftrifft, 0,0055 Sekunden nach dem Auftreffen den etwa 14 mm starken Stängel durchschossen hat und sich auf der Austrittsseite aufweitet. Ein ähnliches Verhalten kann auch bei einzelnen Grashalmen erwartet werden.

2. Da ein Wasserstrahl im Vergleich zu einer mechanischen Klinge keiner Zwangsführung unterliegt, wird der Wasserstrahl immer bestrebt sein, dem Weg des geringsten Widerstandes zu folgen. Geringe Widerstände stellen im Wesentlichen Hohlräume dar. Optisch betrachtet, fängt der Strahl im Gut an zu "tanzen". Die Strahlrichtung wird nicht mehr eingehalten, die

Einwirkzeit und somit die in die betroffenen Elemente eingebrachte Energie sinkt. Es kommt zu einem "Ausdünnen" des Gutpaketes, da nur noch selektiv (insbesondere) blattreiche Elemente durchtrennt werden. Die Schnitttiefe (Kerbtiefe) sinkt.

Bei sonst gleichen Bedingungen ergibt sich aus beiden Phänomenen zwangsweise ein Ansteigen der spezifischen Energie.

Zusammenfassung und Ausblick

Landwirtschaftliche Güter lassen sich grundsätzlich mit einem Wasserstrahl durchtrennen. Oftmals ist eine Vervielfachung der Schnittleistung durch abrasive Mittel unter sonst gleichen Gegebenheiten feststellbar. Ein größerer energetischer Aufwand ist insbesondere bei uneinheitlichen landwirtschaftlichen Gütern oder Gütern, die eine Hohlstruktur aufweisen, zu erwarten. Somit sind insbesondere "homogene" Güter wie Zuckerrüben, Kartoffeln, Mohrrüben o.ä. für einen Schnitt mit dem Hochdruckwasserstrahl prädestiniert.

Nach Ermittlung der Grundlagen wird nun am ILF an einer Umsetzung der Wasserstrahltechnologie in einer realen Anwendung unter gleichzeitiger Reduktion der Schnittenergie gearbeitet.



Bild 4: Durchschussversuch an einem Maisstängel

Fig. 4: Puncture-test of maize stem