

Wasserstrahlschneiden von Zuckerrüben

Das Verfahren des Wasserstrahlschneidens hat sich heute bereits in vielen verschiedenen Industriezweigen etablieren können. Dabei sprechen die zahlreichen verfahrensspezifischen Vorteile für den Einsatz dieses mit geometrisch unbestimmter Schneide arbeitenden Verfahrens.

Neben den bekannten Schnittgütern wie Stahl oder Stein lassen sich auch landtechnische Güter trennen. Insbesondere homogene Güter wie Zuckerrüben oder Kartoffeln zeigen in diesem Zusammenhang gute Schnittergebnisse.

Dipl.-Ing. Christian Brüser 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: c.brueser@tu-bs.de Das Forschungsprojekt „Schneiden von Zuckerrüben mit Hochdruckwasserstrahl“ wird finanziell von der deutschen Forschungsgemeinschaft, der Flow Europe GmbH und der Hammelmann Maschinenfabrik GmbH unterstützt.

Schlüsselwörter

Wasserstrahlschneiden, Zuckerrüben

Keywords

Water-jet cutting, sugar beet

Literatur

Bücher sind mit • gezeichnet

- [1] Brüser, C., und H.-H. Harms: Alternative Schneidetechniken zum Trennen organischer Güter. Landtechnik 60 (2005), H. 5, S. 254-255
 [2] • Ligocki, A.: Schneiden landwirtschaftlicher Güter mit Hochdruckwasserstrahl. Dissertation, ILF, TU-BS, 2005, ISBN 3-8322-3941-3

Am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik (ILF) der Technischen Universität Braunschweig wird das Wasserstrahlschneidverfahren zum Trennen organischer Güter untersucht. Insbesondere für homogene Güter wie die Zuckerrübe zeigt sich das Verfahren als eine sinnvolle Alternative zu den bekannten Verfahren.

Zurzeit werden intensiviertere Untersuchungen zum Wasserstrahlschneiden von Zuckerrüben durchgeführt. Hierbei stehen vor allem die Verringerung auftretender Schnittenergien und ein reduzierter Wasserverbrauch im Vordergrund, um das Verfahren zusätzlich zu dem stationären Einsatz auch für den mobilen Einsatz noch interessanter zu machen.

Leistungsbetrachtung

Heute industriell durchgeführte Wasserstrahlschnitte werden vorwiegend mit Druckübersetzern bei hohen Arbeitsdrücken um 350 MPa und kleinen Düsendurchmessern (um 0,254 mm) durchgeführt. Die Schnittleistung ergibt sich bei einem prinzipbedingt geringen Wasservolumenstrom hierbei größtenteils aus dem Druck. Wie verhält sich nun das Schnittergebnis, wenn mit geringeren Drücken und höheren Wasservolumenströmen – bei konstanter Leistung – gearbeitet wird? Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurde eine Versuchsreihe mit konstanten Leistungsniveaus unter Verwendung eines breiten Düsenspektrums durch-

geführt [1]. Die Ergebnisse sind Bild 1 zu entnehmen.

Im linken Diagramm ist für jeden Düsendurchmesser die Schnitttiefe über der angelegten wasserhydraulischen Leistung dargestellt. Deutlich zu erkennen ist der überwiegend identische Verlauf der Graphen. Die Abweichungen der beiden kleinsten Düsen sind hierbei dadurch zu erklären, dass Reibungs- und Dämpfungseffekte im Schnittspalt ab einer bestimmten Schnitttiefe im Vergleich zu den Massekräften des Strahls (geringer Volumenstrom) so groß werden, dass eine weitere Schnitttiefensteigerung nicht mehr möglich ist. Dieser Effekt tritt prinzipiell bei jeder Düse auf. Je größer jedoch der austretende Massenstrom ist, desto später knickt der Verlauf ab, was für Düsendurchmesser ab 0,33 mm nicht mehr vom Diagramm abgebildet wird. Bei einer Leistung von 9000 W lässt sich für jede Düse eine Schnitttiefe um 80 mm festhalten. Im rechten Diagramm ist für jede Düse der Volumenstrom über dem Düsendruck dargestellt. Diesem Diagramm liegen die gleichen Messwerte zugrunde wie dem linken. Die Verbindung der Messpunkte eines Leistungswertes ergibt eine Hyperbel, die beispielhaft für 9000 W eingetragen ist. Jeder Punkt auf der Hyperbel steht demnach für eine beliebige Zusammensetzung aus Druck und Volumenstrom. Bei Verwendung einer Düse mit 0,254 mm Durchmesser treten 1,5 l/min Wasser bei einem Arbeitsdruck von 360 MPa aus. Bei Verwendung einer Düse

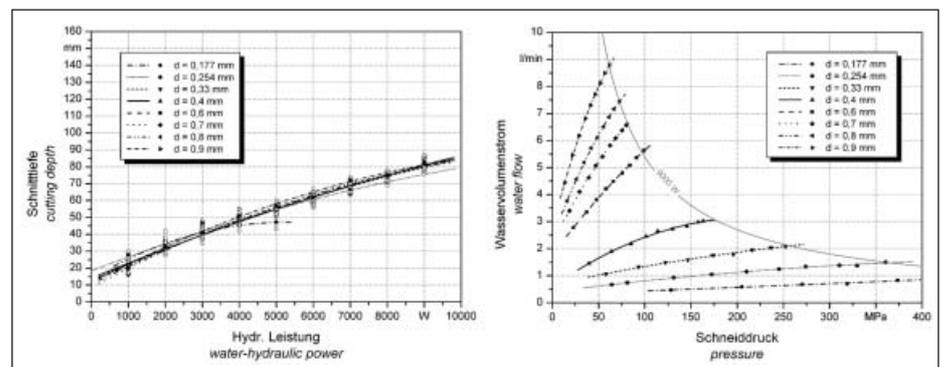


Bild 1: Leistungsbetrachtung bei verschiedenen Düsendurchmessern

Fig. 1: Power analysis at various nozzle diameters

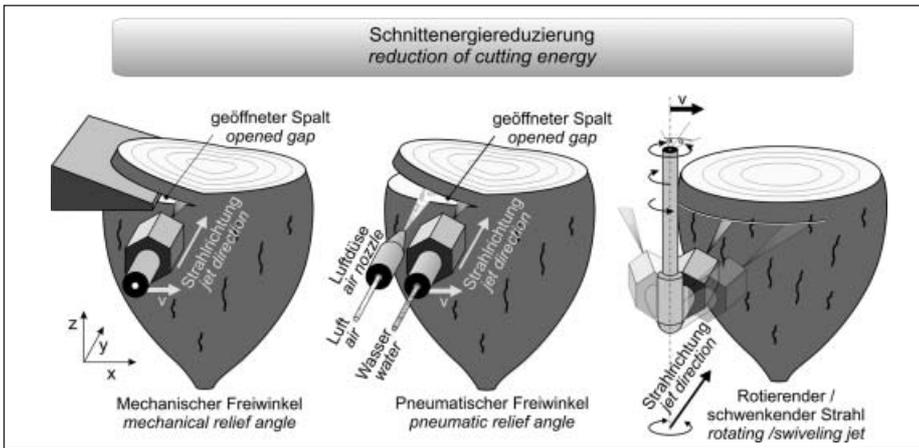


Bild 2: Einrichtungen zur Schnitterenergiereduzierung

Fig. 2: Measures for the reduction of cutting energy

mit 0,9 mm hingegen reicht ein Arbeitsdruck von 61 MPa zusammen mit dem auf 8,8 l/min gestiegenen Volumenstrom aus. Konstante wasserhydraulische Leistungen führen demnach in dem sehr weiten Bereich zu einem konstanten Schnittergebnis.

Schnittenergiereduzierende Maßnahmen

Wie im vorigen Abschnitt erwähnt, wirken dem Strahl im Schnittspalt Kräfte aus Reibung und Dämpfung entgegen, die durch das entstehende Wasser- und Gutpolster bedingt sind [2]. Um eine Reduzierung der spezifischen Schnittenergien und somit vergrößerte Schnitttiefen zu erreichen, werden verschiedene Einrichtungen untersucht, die die speziellen elastischen Eigenschaften des Rübenmaterials ausnutzen (Bild 2).

In Bild 2 (links) werden eine mechanische Freiwinkeleinrichtung unter Verwendung eines Keils und eine pneumatische Freiwinkeleinrichtung mit Hilfe von Druckluft (Bild 2 Mitte) der Düse nachgeführt. Die nicht aktiv am Schnitt beteiligten Einrichtungen bewirken ein leichtes Öffnen des Schnittspaltes. Das entstehende Wasser- und Gutpolster kann durch das verbesserte Abfließverhalten minimiert werden. Als alternative Maßnahme soll durch den Einsatz von rotierenden oder schwenkenden Düsen (Bild 2 rechts) die Art des Wasseraufpralls geändert und Turbulenzen im Schnittspalt minimiert werden. Entsprechende Versuche hierzu werden im kommenden Winter durchgeführt.

Beim Vergleich der Schnittergebnisse der Versuche mit Freiwinkeleinrichtung mit den Versuchen ohne Einrichtung sind sowohl für die mechanische als auch für die pneumatische Methode deutliche Verbesserungen zu verzeichnen. Bei typischen Versuchseinstellungen und einem Freiwinkel von 20° zusammen mit einer 0,4 mm Düse wird eine Schnitttiefensteigerung – oder Schnitterenergiereduzierung – von 17 % erreicht, für eine Düse mit 0,6 mm Durchmesser 14 %.

Um sicherzustellen, dass die Zuckerrübe ausschließlich durch den Wasserstrahl getrennt worden ist, werden die Kräfte in Vorschubrichtung mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen gemessen. Mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera war das verbesserte Abfließverhalten des Schneidwassers im Vergleich zu dem ungerichteten und großflächigen Abfließverhalten ohne Einrichtung deutlich zu erkennen.

Wasserreduzierende Maßnahmen

Neben der Einsparung von Schnittenergien werden auch wasserreduzierende Maßnahmen untersucht. Ein erster Ansatz ist, das genutzte Prozesswasser nach dem Schnitt aufzufangen, zu reinigen und der Pumpe wieder zuzuführen. Erforderliche Reinigungsmechanismen werden zu diesem Zweck am Institut untersucht. Als zweite Maßnahme wurde eine Einrichtung entwickelt, die es auf mechanische Weise ermöglicht, den Wasserstrahl zu unterbrechen (Bild 3).

Die dargestellte Unterbrecherscheibe dreht sich mit definierter Drehzahl und ermöglicht die Unterbrechung des Strahls unmittelbar nach dessen Austritt aus der Düse. Mit Hilfe verschiedener Unterbrecherscheiben und variabler Antriebsdrehzahl lassen sich Frequenzen bis ~ 1000 Hz erzeugen. Das Pulsationsverhältnis ist bei allen Scheiben 1 zu 1. Der gezeigte Strahlunterbrecher ist ein erster Test zur Untersuchung des generellen Schnittergebnisses. Eine Wassereinsparung kann hiermit prinzipbedingt noch nicht erzielt werden. Die Einsparung bei erfolgreichen Versuchsergebnissen ist erst mit einem entsprechenden schnellschaltenden Ventil zu erreichen. Für die Entwicklung des Ventils ist das mit dem Strahlunterbrecher gewonnene Wissen jedoch unerlässlich.

Im Schnittergebnis lassen sich Stege ungeschnittener Materialien erkennen. Beim Einsatz des Verfahrens verhindern diese prinzipbedingten, aber unerwünschten Stege

ein einfaches Abheben des getrennten Gutlappens. Um auch den Trennungsgrad der Rübe beurteilen zu können, wurde eine gewichtete Schnitttiefe eingeführt, die die gemessene Schnitttiefe in Bezug zur ungeschnittenen Stegbreite setzt. Als Zielwert sollen mindestens 90 % der Schnitttiefe ohne Strahlunterbrechung erreicht werden. Es zeigt sich, dass sich die Schnitttiefenverläufe der untersuchten Düsen mit steigenden Unterbrecherfrequenzen dem Vergleichswert ohne Pulsation annähern. Die gesetzten 90 % werden bei knapp 500 Hz erreicht. Für die Ventilentwicklung ist dieser Wert die untere Grenze. Die theoretische Wassereinsparung bei genanntem Pulsationsverhältnis liegt dann bei beachtlichen 50 %.

Zusammenfassung und Ausblick

Zur Verbesserung der Schneidbarkeit von Zuckerrüben durch einen Hochdruckwasserstrahl werden zur Zeit am ILF Methoden für eine Energie- und Wassereinsparung untersucht. Leistungskonstante Versuche haben gezeigt, dass das Schnittergebnis bei reduziertem Pumpendruck und vergrößertem Wasservolumenstrom gleich bleibt. Mechanische und pneumatische Freiwinkeleinrichtungen ermöglichen Schnitttiefensteigerungen – oder Schnitterenergiereduzierungen – bis knapp 20 %. Der Effekt rotierender und schwenkender Düsen sowie zwei gegenüberstehender Düsen wird in der kommenden Rübensaison geklärt werden. Auch unterschiedliche Düsengeometrien, wie zum Beispiel Flachstrahldüsen, werden untersucht. Durch den Einsatz eines unterbrochenen Wasserstrahls können im Vergleich zum konventionellen Einsatz bei vergleichbaren Schnittergebnissen deutliche Wassereinsparungen erzielt werden. Die Tauglichkeit genutzten Schneidwassers für eine Filtrierung zum Zweck der anschließenden Rückführung in den Kreislauf wird in naher Zukunft in Versuchen betrachtet werden.

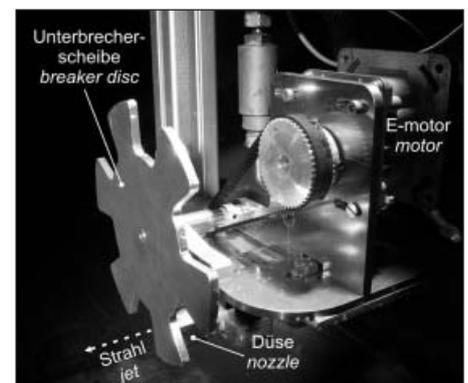


Bild 3: Strahlunterbrecher

Fig. 3: Jet interrupter