

Heinz Dieter Kutzbach, Hohenheim

Mähdrescher-Reinigungsanlage

Grundlagen und Entwicklungstendenzen

Neben Landmaschinen und Ölhdraulik war die pneumatische Förderung ein weiteres Arbeitsgebiet von Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. H.-J. Matthies. Der Autor erinnert sich gerne an die Vorlesung „Pneumatische Förderung“, die er 1964 gehört hat, nicht ahnend, dass die in dieser Vorlesung behandelte Fluidisierung später für die eigene Forschung sehr wichtig werden würde. Fluidisierung und Optimierung der pneumatischen Parameter spielen bei der notwendigen Leistungssteigerung von Mähdrescher-Reinigungsanlagen eine große Rolle. Nachfolgend werden Ergebnisse verschiedener unter Leitung des Autors durchgeführter Forschungsarbeiten zu diesem Themenkreis zusammengestellt und Möglichkeiten weiterer Leistungssteigerungen aufgezeigt.

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.D. Kutzbach ist Inhaber des Lehrstuhls Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion mit Grundlagen der Landtechnik am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim. Er hat 1972 bei Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. H.-J. Matthies am Institut für Landmaschinen der Technischen Universität Braunschweig promoviert.

Schlüsselwörter

Mähdrescher, Reinigungsanlage

Keywords

Combine, cleaning shoe

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 01604 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Die Reinigungsanlage im Mähdrescher trennt Nichtkornbestandteile (NKB) wie Spreu, Kurzstroh sowie weitere Verunreinigungen aus dem Korn. Für diese Aufgabe hat sich das luftdurchströmte Schwingesieb durchgesetzt, bei dem die Trennung nach Segler vibropneumatisch, also durch eine Kombination von Sieben und Sichten erfolgt [1]. Für die Leistungsfähigkeit der Reinigungsanlage ist die gegenseitige Abstimmung von pneumatischen und mechanischen Parametern sowie die Anpassung der Luftgeschwindigkeit an den Korndurchsatz von entscheidender Bedeutung. Bei zu hoher Luftgeschwindigkeit werden Körner vom Luftstrom mitgerissen (Flugphase), bei zu niedriger Luftgeschwindigkeit reicht diese nicht zur Auflockerung der Gutschicht aus (Schüttungsphase). Beide Betriebszustände führen zu hohen Verlusten. Bei guter Abstimmung von Luftgeschwindigkeit und Korndurchsatz wird das Gut auf dem Sieb fluidisiert (Wirbelschichtphase). In der Wirbelschicht wird nach Matthies die innere Bindung zwischen den einzelnen Bestandteilen aufgehoben und eine schnelle Entmischung erreicht [2].

Vergleichbar zu anderen Landmaschinen und Baugruppen wurde die Leistung von Reinigungsanlagen in den letzten Jahrzehnten aufgrund intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeit stetig angehoben [3].

Rotierende Reinigungsanlagen, die mit größeren Beschleunigungen arbeiten und dadurch höhere bauraumbezogene Leistungen erwarten lassen, sind trotz vielversprechender Ansätze [4, 5, 6] bisher nicht auf dem Markt. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich auf eine Leistungssteigerung der Flachsieb- und Flachsieb-Reinigungsanlagen durch weitere Optimierung der mechanischen und pneumatischen Parameter sowie Optimierung der Fallstufen. Auch Kreisschwinger werden untersucht [7].

Mechanische Parameter

Die mechanischen Parameter sind vor allem die Schwingungsamplitude a und die Schwingungsfrequenz f . Jedoch beeinflussen auch Siebsteigung α und Schwingungsrichtungswinkel β die Arbeitsweise der Rei-

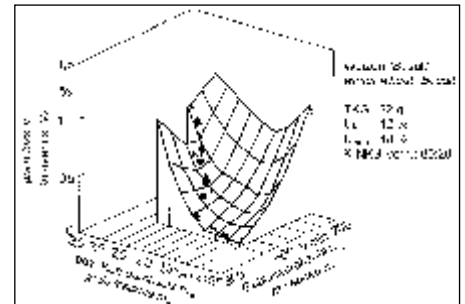


Bild 1: Verlustkennlinien einer Reinigungsanlage, nach [14]

Fig. 1: Loss characteristic curve of a cleaning unit

nigungsanlage. Typische Werte bei heutigen Reinigungsanlagen sind: $a = 20 - 25$ mm; $f = 4 - 5$ Hz; $\alpha = 0 - 5^\circ$; $\beta = 30 - 35^\circ$. Die Wurfkennzahl Fr_v fasst diese Größen zur Kennzeichnung der mechanischen Anregung [8,9] zusammen.

$$Fr_v = \frac{a \cdot \omega^2 \sin(\beta - \alpha)}{g \cdot \cos \alpha}$$

Auf Sieben ohne Luftunterstützung führt das Gut bis zu Wurfkennzahlen $Fr_v = 3,3$ wünschenswerte Einfachwürfe durch; bei jeder Siebaufwärtsschwingung wird das Gut abgeworfen, kann sich während des Wurfes entmischen und trifft innerhalb dieser Siebschwingung wieder auf dem Sieb auf. In den folgenden Gleitbewegungen zwischen Gut und Sieb kann das Korn abgeschieden werden. Bei Mähdrescher-Reinigungsanlagen wird das Gut zusätzlich durch den Luftstrom vom Sieb abgehoben, so dass die Reinigungsanlage bei Wurfkennzahlen von $Fr_v \cong 1$ betrieben wird. Mechanische und pneumatische Parameter sind nach Freye für eine

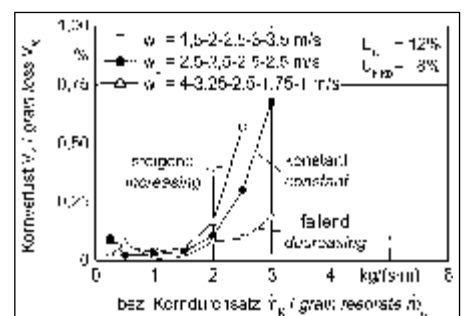


Bild 2: Kornverluste bei verschiedenen Luftverteilungen, nach [16]

Fig. 2: Grain losses for different air distributions

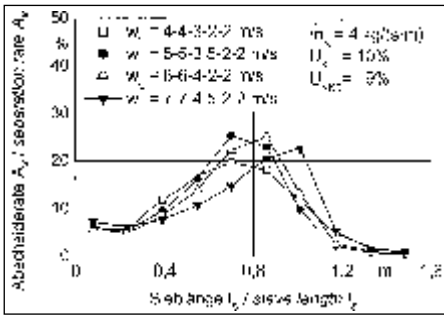


Bild 3: Kornabscheiderate bei verschiedenen Luftverteilungen, nach [18]

Fig. 3: Separation rate for different air distributions

gute Siebfunktion in Grenzen austauschbar [10]. Die Entwicklung tendiert zur Verstärkung der mechanischen Parameter, da das Sieb dadurch bei sich ändernden Stoffeigenschaften stabiler arbeitet [11].

Untersuchungen in Hohenheim mit dem bereits in dieser Zeitschrift beschriebenen Reinigungs-Grundlagenprüfstand [12] haben gezeigt, dass neben der Wurfkennzahl auch die Größe der Amplitude von Bedeutung ist. Die Entwicklung der letzten Jahre hat dementsprechend zu einer leichten Erhöhung der Wurfkennzahlen von etwa 0,95 auf 1,1 und zu einer Vergrößerung der Amplituden von 20 auf 25 (30) mm geführt. Die positive Vorentmischungswirkung des Vorbereitungsbodens wird heute hingegen nicht immer genutzt. Eine gute Vorentmischung, Korn unter NKB, führt zu einer erheblichen Leistungssteigerung. Muss das Korn hingegen die ganze Gutschicht durchdringen, Korn auf NKB, sind die Verluste wesentlich höher [13]. Dies gilt beispielsweise für das vom Schüttler abgeschiedene Korn, welches vom Rücklaufboden in Höhe der Fallstufe auf die Gutschicht des Obersiebes gelangt.

Pneumatische Parameter

Im Gegensatz zu vielen Flachsiebmaschinen in der mechanischen Verfahrenstechnik, die ohne Luftunterstützung arbeiten, ist die Luftströmung in der Reinigungsanlage für die Trennung von Korn und NKB von besonderer Bedeutung. Die Luftströmung unterstützt die Fluidisierung, erschwert das Abscheiden leichter NKB durch die Sieböffnungen und erhöht dadurch die Reinheit. Als pneumatische Parameter werden die Luftgeschwindigkeit bei beladenem Sieb w_L , die Luftverteilung in Sieblängsrichtung und die Strömungsrichtung ψ bezeichnet. Da diese Werte bei Serien-Reinigungsanlagen kaum zu erfassen sind, wird ersatzweise häufig der Luftvolumenstrom bezogen auf die Siebgrundfläche \dot{V}_L [$\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$] oder nur die Gebläsedrehzahlen n_G angegeben.

Die Luftgeschwindigkeit sollte dem jeweiligen Gutdurchsatz angepasst werden, um das Sieb im optimalen Arbeitsbereich zu halten. In Feldversuchen hat Böttiger

[14,15] diesen Zusammenhang für eine Serien-Reinigungsanlage ermittelt (Bild 1). Die Drehzahl des Gebläses kann heute elektronisch vom Fahrerstand aus verstellt und teilweise vom Bordcomputer für die jeweiligen Getreidearten und Erntebedingungen voreingestellt werden. Eine Regelung der Gebläsedrehzahl, die in Abhängigkeit vom Durchsatz und den Verlusten erfolgen müsste, ist noch nicht in Serien-Mährescher eingeführt.

Die Untersuchungen von Dahany und Zhao haben ergeben, dass über der Sieblänge fallende Luftverteilungen mit Strömungsrichtungen von 30 bis 40° gegenüber konstanten oder sogar steigenden Luftverteilungen zu deutlichen Leistungssteigerungen führen (Bild 2). Eine fallende Luftverteilung hat im vorderen Siebbereich eine Luftgeschwindigkeit von 4 - 6 m/s, im hinteren von (1) - 2 m/s [16,17,18]. Im Mährescher wird die Luft durch hohe Gutbeladung im vorderen Siebbereich nach hinten abgedrängt, so dass häufig steigende Luftverteilungen mit hohen Luftgeschwindigkeiten im hinteren und niedrigen Luftgeschwindigkeiten im vorderen Siebbereich bei Strömungsrichtungen von nur 10 - 20° vorliegen. Zu hohe Luftgeschwindigkeiten am Siebanfang bewirken allerdings eine Verschiebung der Abscheidung nach hinten (Bild 3). Die geringe Luftgeschwindigkeit am Siebende begünstigt die Abscheidung und verringert das Ausblasen von Körnern.

Die Fluidisierungsgeschwindigkeit von Weizen liegt bei etwa 0,8 - 1 m/s, [2,19], die von NKB bei etwa 0,5 m/s. Für erntefrisches Gut mit höherem Kornanteil (bis 85%) hat Beck Fluidisierungsgeschwindigkeiten bis etwa 0,95 m/s gemessen und gezeigt, dass mit zunehmender Fluidisierungsgeschwindigkeit die Leistung der Reinigungsanlage aufgrund der höheren inneren Reibung des Gutes zurückgeht [19]. Diese Fluidisierungsgeschwindigkeit liegt deutlich niedriger als die senkrechte Komponente der Strömungsgeschwindigkeit am Siebanfang, die etwa $w_{LS} \approx 2,5$ m/s beträgt ($w_{LS} = w_L \cdot \sin \psi$) und damit auch noch höher als die mittlere NKB-Schwebegeschwindigkeit ist. Durch diese hohe Luftgeschwindigkeit werden am Siebanfang erhebliche NKB-Mengen ausgeblasen.

Fallstufen

Besonders bei der im Mährescher vorwiegenden, nicht fallenden Luftverteilung erhöhen Fallstufen zwischen Vorbereitungsboden und Obersieb die Leistung der Reinigungsanlage wesentlich. Durch den fehlenden Siebwiderstand und die gerichtete Luftströmung können durch die Fallstufe die am Siebanfang notwendigen hohen Luftgeschwin-

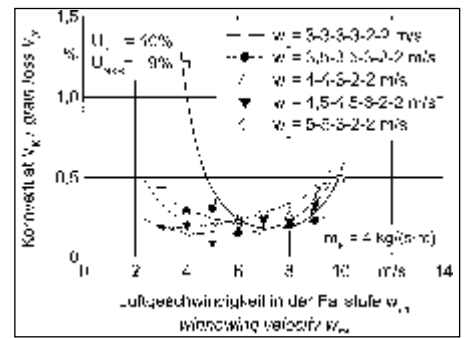


Bild 4: Einfluss der Luftgeschwindigkeit der ersten Fallstufe auf die Kornverluste, nach [17]

Fig. 4: Influence of winnowing velocity 1st step on grain losses

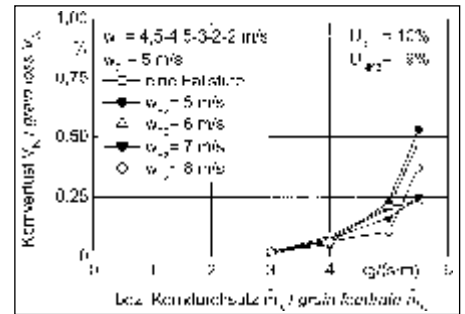


Bild 5: Kornverluste bei verschiedenen Luftgeschwindigkeiten der zweiten Fallstufe, nach [17]

Fig. 5: Grain losses for different winnowing velocities of 2nd step

geschwindigkeiten erreicht und NKB aus der aufgelockerten Gutschicht ausgeblasen werden. Auch bei fallender Luftverteilung führen Fallstufen bei hohen Gutdurchsätzen zu einer weiteren Leistungssteigerung (Bild 4). Es zeigt sich für jede Luftverteilung ein Optimum der Luftgeschwindigkeit w_F in der Fallstufe bei einer Strömungsrichtung von $\psi_F = 20^\circ$. Grundsätzlich sind auch in der Fallstufe Strömungsrichtungen von $\psi_F = 20 - 30^\circ$ anzustreben [16]. Durch eine zweite Fallstufe innerhalb des Vorbereitungsbodens wird die Vorentmischung weiter verbessert, so dass die Kornabscheidung im vorderen Siebbereich zunimmt und die Leistung der Reinigungsanlage weiter ansteigt (Bild 5). Unter Versuchsbedingungen mit fallender Luftverteilung ergaben sich optimale Trennbedingungen bei Luftgeschwindigkeiten in den Fallstufen von $w_{F1} = 5 - 6$ m/s und $w_{F2} = 6 - 7$ m/s.

Zusammenfassung

Die Leistung der Reinigungsanlage wird neben den mechanischen Parametern wesentlich von Luftgeschwindigkeiten und Strömungsrichtungen auf dem Sieb und in den Fallstufen beeinflusst. Durch Optimierung dieser Werte, Vergrößerung der Schwingungsamplitude sowie automatische Anpassung der Luftgeschwindigkeiten an Guteigenschaften und Durchsatz scheinen die notwendigen weiteren Leistungssteigerungen der Reinigungsanlage im Mährescher möglich.