

Grundlagenuntersuchung zu Verwertungsmöglichkeiten von Maisspindeln

Projekt 100943

**Josef Rathbauer
Lukas Sulzbacher
Franz Handler
Emil Blumauer**

Mai 2015



**Abschlussbericht zum Forschungsprojekt
Nr. 100943**

**Grundlagenuntersuchung zu Verwertungsmöglichkeiten
von Maisspindeln**

Mai 2015

HR Dipl.-Ing. Dr. Josef Rathbauer
Mag. (FH) Lukas Sulzbacher BEd
HR Dipl.-Ing. Franz Handler
ADir. Dipl.-HLFL-Ing. Emil Blumauer

Angaben zum Projektträger:

HBLFA Francisco Josephinum
BLT WIESELBURG
Rottenhauser Straße 1
3250 Wieselburg
Kontaktperson: Dr. Josef Rathbauer
Tel: +43 (0)7416/52175-643
Email: josef.rathbauer@josephinum.at



Impressum

Herausgeber:

HBLFA Francisco Josephinum, AT 3250 Wieselburg
des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Direktor:

HR Dipl.-Ing. Alois Rosenberger

Leiter für Forschung und Innovation:

HR Dipl.-Ing. Heinrich Prankl

Für den Inhalt verantwortlich:

HR Dipl.-Ing. Dr. Josef Rathbauer

Redaktion:

BLT Wieselburg
Tel.: +43 (0)7416 52175-0
E-Mail: blt@josephinum.at
Web: blt.josephinum.at

Druck, Verlag und ©2015

HBLFA Francisco Josephinum, AT 3250 Wieselburg
Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-902451-14-9

Dieser Bericht wird wie folgt zitiert:

Rathbauer J.; Sulzbacher L.; Handler F.; Blumauer E.: Grundlagenuntersuchung zu Verwertungsmöglichkeiten von Maisspindeln, Projektbericht, Wieselburg, BLT Eigenverlag, 2015 – ISBN 978-3-902451-14-9

INHALTSVERZEICHNIS

1. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG	7
2. PUBLIKATIONEN UND VORTRÄGE	16
2.1 „Analyse von Verfahren zur Maisspindelernte“, Handler F., Blumauer E., Sulzbacher L., Mair B., Rathbauer J., 2012.....	17
2.2 „Wertvolles Koprodukt“, Handler F., Blumauer E., Sulzbacher L., 2013	26
2.3 „Ernte und energetische Verwertung von Maisspindeln“, Blumauer E., Sulzbacher L., Handler F., 2013	29
2.4 “Logistics and costs of harvesting of corn cobs”, Handler F., Sulzbacher L., Blumauer E., 2014	30
2.5 „Lagerung und Trocknung von Maisspindeln“, Sulzbacher L., 2014	31
2.6 „Technik und Kosten der Ernte von Maisspindeln – Umbauten gestalten sich je nach System unterschiedlich aufwendig“, Handler F., Blumauer E., Sulzbacher L., 2014	32
2.7 „Maisspindeln für die energetische Nutzung – Eigenschaften und Herausforderungen“, Rathbauer J., Sulzbacher L., 2014.....	35
2.8 “Maize cobs for energetic use – properties and challenges as fuel for small scale combustion”, Sulzbacher L., Rathbauer J., 2014	40

1. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG

Maisspindeln wurden bis vor einigen Jahren in Österreich lediglich bei der Saatmaisproduktion verwertet. Hierbei fallen ganze Maisspindeln ohne Lieschen mit einem Wassergehalt unter 15 % an. Diese können somit zur Trocknung von frisch geernteten Maiskolben verfeuert beziehungsweise als Rohstoff für diverse stoffliche Anwendungen verkauft werden. Die verfügbaren Mengen an getrockneten Maisspindeln aus der Saatmaisproduktion sind jedoch sehr begrenzt.

Ein weitaus größeres Potential hinsichtlich der anfallenden Mengen stellen die Maisspindeln als Koppelprodukt der Körnermaisernte dar. Auf Grund von Bemühungen innovativer Landwirte und Kleinunternehmen im Bereich der Landtechnik existiert derzeit eine Hand voll an Erntesystemen, die in Kombination mit der Körnermaisernte auch die Bergung der Maisspindeln ermöglichen. Ausgehend von der Südsteiermark hat es in den vergangenen Jahren in Österreich zahlreiche Versuche zur Ernte von Maisspindeln gegeben.

- Mähdrescher mit hochklippbarem Spindeltank
- Mähdrescher mit eingebautem Maisspindelwerfer
- Ernte von Corn-Cob-Mix (CCM) mit anschließender Spindelabtrennung über ein Trommelsieb am Hof

Mähdrescher mit Spindeltank:

Beim Mähdrescher mit Spindeltank werden die Spindeln über Siebe von den Lieschen und Strohteilen abgetrennt. Nach der Passage einer in ihrer Intensität verstellbaren Zerkleinerungseinrichtung werden die Maisspindeln über einen Elevator oder Gebläse in den bis zu 10 m³ fassenden Spindeltank befördert. Der Spindeltank wird durch Hochkippen auf bereitgestellte Anhänger entleert. Aufgrund des zusätzlichen Gewichtes und Leistungsbedarfes sowie der begrenzten Kapazität des Spindelerntesystems kann die Fahrgeschwindigkeit beim Dreschen absinken. Zusätzlicher Zeitbedarf ist für das Abtanken der Maisspindeln einzuplanen, da ein Überladen während der Fahrt nicht möglich ist. Dies hat zur Folge, dass die mögliche Flächenleistung des Mähdreschers abfällt. Weiterentwicklungen der Maschinen konnten die Leistungseinbußen auf unter 5 % reduzieren.

Mähdrescher mit Maisspindelwerfer:

Der Spindelwerfer wird anstelle des Strohhäckslers montiert. Über Siebe und Gebläse werden die Spindeln abgetrennt. Ein Wurfgebläse mit integrierter Zerkleinerungseinrichtung fördert die Spindeln auf einen neben dem Mähdrescher fahrenden Anhänger. Die Rüstzeit erhöht sich durch das hydraulische Aus- bzw. Einklappen des Auswurfrohres des Spindelwerfers. Die Fahrgeschwindigkeit beim Dreschen mit und ohne Maisspindelwerfer ist gleich. Die mittlere Wendezeit am Vorgewende erhöht sich durch das nebenher fahrende Spindeltransportfahrzeug. Beim Anmähen eines Schrages könnten die Spindeln auch über den Traktor hinweg auf den Anhänger befördert werden. Um Zeit zu sparen, werden die Spindeln bei der ersten Umfahrt meist nicht geerntet. Die Flächenleistung des Mähdreschers mit Maisspindelwerfer wird je nach Schlaggröße um 1 bis 5 % vermindert. Die Kosten für die Spindelabscheidung sind auf Grund der geringeren Investitionskosten und Schlagkraftreduktion des Mähdreschers deutlich geringer als beim System mit dem Spindeltank. Da während der Spindelernte ständig ein Transportfahrzeug neben dem Spindelwerfer herfahren muss, stehen selbst bei kurzen Transportentfernungen mindestens 2 Transportfahrzeuge für den Spindeltransport im Einsatz. Dies bedeutet, dass im Vergleich zum System mit dem Spindeltank ein zusätzliches Transportfahrzeug erforderlich ist. Dadurch wird der Kostenvorteil des Spindelwerfers größtenteils kompensiert. Inzwischen wird auch für den Maisspindelwerfer ein Nachlauf-Bunker angeboten. Dieser wird vom Mähdrescher gezogen und am Feldrand durch Hochkippen auf einen bereit gestellten Anhänger überladen.

Ernte von Corn-Cob-Mix (CCM):

Durch die CCM-Einstellung des Mähdreschers und den Einbau entsprechender Siebe können laut Lohnunternehmer bis zu 50 Prozent der Maisspindeln im Korntank gesammelt werden. Soll ein höherer Anteil geerntet werden, müsste der Mähdrescher eigens umgebaut (Schüttler, Dreschtrammel, Verwendung grobmaschiger Siebe, etc.) werden. Bei der CCM-Ernte wird die gleiche Druschgeschwindigkeit wie bei der Körnermaisernte erzielt. Bei einem Abscheidegrad der Spindeln von 31 bis 35 % erhöht sich das Erntevolumen im Vergleich zur reinen Körnermaisernte um 15 bis 20 %. Das bedeutet, dass sich in diesem Ausmaß die mögliche Druschstrecke bis zum Abtanken des CCM-Gemisches reduziert und der Zeitbedarf für das Abtanken auf Grund der schlechteren Fließfähigkeit des CCM Gemisches steigt. Je nach Rahmenbedingungen verringert sich die mögliche Flächenleistung des Mähdreschers um 4 bis 7 %. Am Hof erfolgt die Trennung von Korn und Spindel mit einem Trommelsieb, ähnlich wie es auch für das Sieben von Kompost oder Hackschnitzel verwendet wird. In den untersuchten Betrieben können pro Stunde 50 bis 60 m³ Korn-Spindel-Gemisch gesiebt werden. Bei sehr geringen Transportentfernungen (1 km) sind die Transportkosten im Vergleich zu den anderen Systemen relativ gering, da zwar mehr Masse und Volumen transportiert werden muss, dies aber durch eine bessere Auslastung der für den Körnertransport vorhandenen Fahrzeuge bewerkstelligt werden kann. Bei großer Transportentfernung (10 km) ist ein zusätzliches Transportfahrzeug erforderlich, wodurch die Kosten stark steigen.

Vom Mähdrescher gezogene Maisspindelernte:

In Nordamerika bietet die Firma Vermeer vom Mähdrescher gezogene Maisspindelernte an. Dabei werden die vom Mähdrescher ausgeschiedenen Ernterückstände über ein Förderband einer Abscheideeinrichtung zugeführt, wo die Maisspindeln separiert und in einem hochklappbaren Bunker befördert werden. Der Antrieb erfolgt über einen eigenen Dieselmotor. Abgetankt wird durch Hochkippen des Spindelbunkers. Gezogene Maisspindelernte erfordern große Flächen, da ansonsten die Anmähverluste sehr hoch sind.

Die Kosten der Spindelernte setzen sich hauptsächlich aus der Reduktion der Flächenleistung des Mähdreschers infolge der Spindelernte und aus den Kosten des Abscheidesystems und des Transports zusammen. In Abhängigkeit der Investitionskosten, der Auslastung der Abscheidesysteme, der Feldverluste und der Transportentfernung liegen die Kosten zwischen 67 und 151 Euro/t TM. Die folgende Tabelle zeigt die Zusammenfassung der Arbeitserledigungskosten (fixe und variable Maschinenkosten sowie Lohnkosten) der drei Maisspindelerntesysteme im Vergleich.

Tabelle 1: Kosten der Maisspindelernte

	System Spindelbunker	System Maisspindelwerfer	System CCM-Ernte und Trommelsieb	
Investitionskosten [€]	41.200	24.000	10.000 ¹	45.000
Abscheiden der Spindel ² [€/t TM]	30-69	21-44	27-41	55-98
Transportkosten [€/t TM] bei 10 km Transportentfernung (1 km Feld-Hof-Entfernung)	37-45 (19-24)	48-63 (35-46)	50-63 (6-8)	50-63 (6-8)
Gesamtkosten bis Lager (10 km Transportentfernung) [€/t TM]	67-113	69-107	77-104	105-161
¹ Eigenbau ² Jährliche Auslastung der Spindelerntetechnik 150 bis 300 h, Korntrag 10 t TM/ha Korn, Nutzungsdauer 10 Jahre, geerntete Maisspindeln: 1 t TM/ha mit Maisspindelbunker, 0,9 t TM/ha mit Maisspindelwerfer, 0,36 t TM/ha bei CC M-Ernte und Abtrennung über Trommelsieb				

Tabelle 2: Vergleich der Produktionskosten mit Miscanthus und Energiehackgut

	System Spindeltank	System Mais-spindelwerfer	System CCM-Ernte und Trommelsieb		Miscanthus Häcksel	Energieholz
Produktionskosten exkl. Transport [€/t TM]	30-69	21-44	27-41	55-98	30-49	30-63

Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Ernte ist das Lösen der Lieschen von der Spindel. Dies hängt von der Bauart und Einstellung der Erntemaschine, der Sorte und vom Erntezeitpunkt ab. Lösen sich die Lieschen von den Spindeln nicht, kommt es zu erhöhten Spindelverlusten (>50 %) und zu einem erhöhten Lieschenanteil in den geernteten Spindeln. Die Reinheit der Spindeln hängt wesentlich vom Erntesystem bzw. dessen Einstellung und der Sorte ab.

Der Spindelanteil am Kolben ohne Lieschen liegt im Bereich von 9 bis 13 % der Trockenmasse. Die Schüttdichte der analysierten Maisspindeln bewegte sich in einer Größenordnung von 87 bis 138 kg TM/m³, abhängig vom Zerkleinerungsgrad und der Reinheit.

Hauptmotivation für die Maisspindelernte ist die Verwendung zur Verfeuerung als Alternative zu Hackschnitzeln. Die Anforderungen hierfür sind in der ÖNORM C 4003 festgelegt. Andere erfolgreich erprobte Verwertungsmöglichkeiten sind beispielsweise Einstreu in der Geflügel- und Kleintierhaltung, Ölbindemittel, Poliermittel, Dämmstoff und in der Plattenindustrie. Wobei für die stoffliche Verwertung zumeist auf Maisspindeln aus der Saatmaisproduktion zugegriffen wird. Diese sind produktionsbedingt frei von Lieschen und auf einen Wassergehalt von unter 15 % getrocknet, wodurch eine Lagerung ohne Schimmelbildung möglich ist. Bei den Untersuchungen zur Schwimm- und Adsorptionsfähigkeit von Maisspindeln wurden im Zuge dieses Projektes auch auf den Einfluss eines möglichen Lieschengehaltes des Rohstoffes eingegangen. Hierzu wurden aufgemahlene Maisspindeln und Lieschen durch Siebung in die drei Fraktionen 1 mm, 0,5 mm und 0,25 mm aufgeteilt und deren Adsorptionsverhalten von Wasser und Heizöl getestet. Um den Einfluss von Lieschen auf das Adsorptionsverhalten von Maisspindeln zu ermitteln, wurden auch Mischungen von Spindeln und Lieschen im Verhältnis 50/50 bzw. 75/25 getestet.

Die Methode zur Prüfung des Adsorptionsverhaltens sowie des Schwimmverhaltens wurde in Anlehnung an die LTWS-Nr. 27 „Anforderungen an Ölbindemittel, Merkblatt zu Ölbindern, Anforderungen an vorgefertigte, schwimmende Ölsperren für Binnengewässer und Merkblatt zu schwimmenden Ölsperren für Binnengewässer“ des BMU vom 08.03.1999-WA I 3-23074/22 durchgeführt, worin Forderungen an die Beschaffenheit der Ölbinder, ihre Verpackung, die Prüfmethode und Messungen erläutert und festgelegt sind. Die Versuche zur Adsorptionseigenschaften von Maisspindeln und Lieschen sowie deren Gemische haben gezeigt, dass Lieschen ein ähnliches Saugverhalten aufweisen wie Maisspindeln. Insbesondere bei Fraktionen mit groben Korngrößen von 1,0 mm und 0,5 mm und den Mischproben waren nur geringe Unterschiede feststellbar. Der Einfluss des Lieschengehaltes ist in dieser Fragestellung als marginal zu beurteilen. Auf Grund des Schwimmverhaltens der untersuchten Spindel-, Lieschen- und Mischfraktionen und der schlechten Ölbindung bei den Schwimmversuchen, ist ein Einsatz als Bindemittel des Typs III denkbar, d.h. auf befestigten Verkehrsflächen, da sie nur sehr kurz wasserabweisend und schwimmfähig sind. Darüber hinaus sind Maisspindelprodukte inert und wenn nicht verschimmelt auch nicht toxisch. Da sie somit relativ unproblematisch entsorgt (kompostiert) werden können, eignen sich Maisspindeln auch besonders für Produkte im Bereich der Tierhygiene.

Ein großes Problem bei der Verwertung von Maisspindeln ist der Wassergehalt zum Zeitpunkt der Ernte. Er ist durchwegs höher als im Mais Korn, wobei der Unterschied mit zunehmender Reife abnimmt. Die große Streuung deutet auf einen Einfluss der Sorte und des Standortes hin.

Da die Ernte zeitlich nicht immer mit der Verwertung der Maisspindeln übereinstimmt, ist die Lagerung größerer Mengen oftmals zwingend notwendig. Während der Lagerung von feuchter Biomasse kommt es durch die Stoffwechsellätigkeit in lebenden Pflanzenzellen und durch das Einwirken von Bakterien, Pilzen und tierischen

Schaderregern zu Materialabbau und maßgeblichen Qualitätsverlusten. Weitere Folgen dieser biologischen Prozesse sind die Bildung von CO₂ und Wasser sowie die Entwicklung von Wärme in der Schüttung.

Zur Erhebung des Lagerverhaltens von Maisspindeln wurden experimentelle Untersuchungen bei unterschiedlichen Bedingungen geführt. Wichtige Untersuchungsfragen waren hierbei:

- die Eigenerwärmung der Maisspindeln während der Lagerung
- der Substanzabbau und die Trockenmasseverluste
- der Trocknungsverlauf des Lagermaterials und
- die Schimmelbildung.

Die Qualität des Lagergutes wird maßgeblich durch die Temperaturentwicklung im Lagerhaufen und den Trocknungserfolg bestimmt. Das Ergebnis der Temperaturentwicklungen ist typisch für die Lagerung von feuchter Biomasse und deckt sich mit Ergebnissen bei der Lagerung von Holzhackgut aus ähnlichen Versuchsdurchführungen. Die rasche Erwärmung wenige Tage nach der Einlagerung ist auf aerobe Stoffwechselprozesse von Mikroorganismen zurückzuführen.

Während im Bereich des Temperaturanstieges vor allem mesophile Organismen aktiv sind, werden diese bei weiterer Erwärmung von thermophilen Organismen abgelöst. Die Erwärmung bei Lagerungsversuchen mit einem Wassergehalt von 55 % auf rund 60 °C war nach 21 Lagerungstagen rückläufig, was darauf zurückzuführen ist, dass die thermophilen Organismen bei Temperaturen um 60 °C absterben. Die Trocknungserfolge in den unbelüfteten Lagerhaufen sind vor allem auf die Eigenerwärmung zurückzuführen, die eine freie Konvektionsströmung im Lagerhaufen aufgrund des Dichteunterschiedes zwischen der Luft in der Lagerung und der Außenluft in Gang setzt. Durch die teilweise feine Struktur der Maisspindeln ist diese stark gebremst, weshalb auch die Abtrocknung gering war. Zudem wurden auch besonders am Haufenboden und etwas unterhalb der Oberfläche Bereiche beobachtet, in denen keine Trocknung sondern eine Befeuchtung erfolgte. Diese sogenannten Kondensationsbänder wiesen sehr hohe Wassergehalte und ein verstärktes Pilzwachstum auf. Zudem traten bei der Lagerung von Maisspindeln in Abhängigkeit des Wassergehaltes auch Trockenmasseverluste von 4 bis 33 % auf. Sehr gute Erfolge hinsichtlich der Konservierung der Materialqualität konnte bei der Verwendung eines semipermeablen Vlieses zur Abdeckung im Freien und einem Wassergehalt bei der Einlagerung von 25 % festgestellt werden. Bei diesem Lagerverfahren konnte auch eine Abtrocknung unterhalb der Oberfläche im Bereich des „Schwitzkopfes“ erzielt werden. Auch die Bildung von Kondensationsbändern war trotz einer Abtrocknung von nahezu 10 % in der Lagerhaufenmitte kaum zu beobachten.

Das Wachstum von Mikroorganismen war in unterschiedlichen Ausprägungen und abhängig vom Wassergehalt zum Zeitpunkt der Lagerung bei jedem Lagerversuch beobachtbar. Neben Hefen waren auch Bakterien, hier hauptsächlich Gelbkeime und Schimmelpilze nachweisbar. Unter den Schimmelpilzen wurden vorwiegend Penicillien, *Aspergillus Niger* und *Aspergillus Flavus* Kulturen identifiziert.

Durch Reduktion des Wassergehaltes im Lagerungsgut können diese Auswirkungen maßgeblich beeinflusst werden, da der Wassergehalt neben der Temperatur und der relativen Luftfeuchte der maßgebliche Einflussfaktor für die biologischen Aktivitäten im Lagerhaufen ist. Eine der wichtigsten Aufgaben der Trocknung ist daher die Unterbindung von Substanz-, Nähr- und Wirkstoffverlusten im Allgemeinen durch Verringerung des Wassergehaltes. Darüber hinaus ist die Trocknung auch bei der thermischen Verwertung der Maisspindel von großer Bedeutung. Je höher der Wassergehalt des Brennstoffes, desto niedriger ist der feuerungstechnische Wirkungsgrad der Heizanlage und der Heizwert im Brennstoff. Mit steigendem Wassergehalt sinken die Verbrennungsgeschwindigkeit und die Verbrennungstemperatur, was wiederum eine unvollständige Verbrennung und eine hohe Taupunkttemperatur der Abgase verursachen kann.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde das Trocknungsverhalten von Maisspindeln unter Berücksichtigung der Trocknungstemperatur und der Korngröße des Trocknungsmaterials untersucht. Bei der verwendeten

Trocknungstechnik handelte es sich um eine einstufige Trocknung mit konstanter Lufttemperatur und Strömungsgeschwindigkeit während der gesamten Versuchsdurchführung im Dünnschichtprinzip. Ziel war es, durch kontinuierliche Messung von festgelegten Parametern die Zusammenhänge zwischen Temperatur, Trocknungsdauer, Trocknungsverlaufskurven und Korngröße zu untersuchen. Ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Trocknung ist die Temperatur. Sie hat einen signifikanten Einfluss auf den Trocknungsverlauf und die gesamte Trocknungsdauer. In Abbildung 1 sind alle Trocknungsverlaufskurven der durchgeführten Versuche gegenübergestellt. Die Erhöhung der Trocknungstemperatur von 40 °C auf 60 °C zeigte die deutlichste Auswirkung auf das Trocknungsverhalten. Die Trocknungszeit zur Erreichung eines Wassergehaltes von kleiner 10 % im Trocknungsgut konnte um rund 17 Stunden reduziert werden. Die Trocknungsverlaufskurven bei Variation der Korngröße waren für alle Versuche ähnlich und nur leicht zueinander verschoben. Wie zu erwarten wiesen die Versuche mit kleineren Korngrößen höhere Abtrocknungsraten pro Zeiteinheit auf. Dies ist auf die größere Materialoberfläche zurück zu führen.

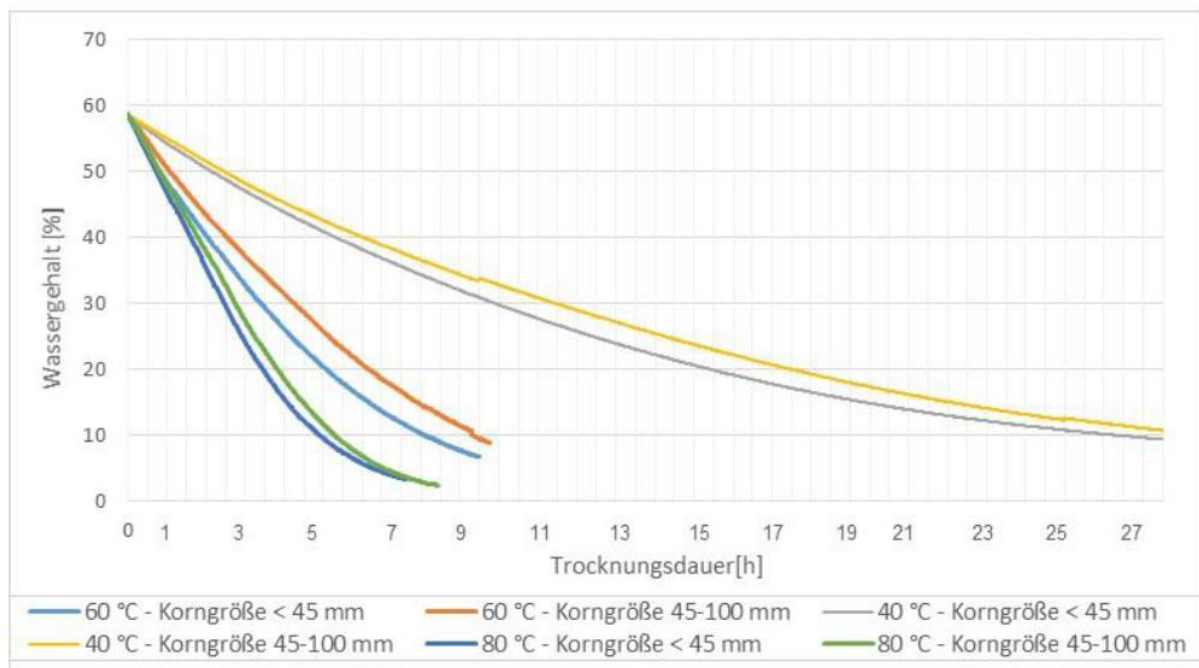


Abbildung 1: Trocknungsverlaufskurven

Eine weitere bedeutsame Kenngröße der Trocknung stellt das Sättigungsdefizit dar. Bei der Betrachtung des Zusammenhanges zwischen Sättigungsdefizit und Endwassergehalt konnte eine starke negative Korrelation festgestellt werden. Das bedeutet, je niedriger der Endwassergehalt im Trocknungsgut, desto höher war das Sättigungsdefizit der Trocknungsluft. Gleicher Sachverhalt konnte zwischen Trocknungstemperatur und Endfeuchte festgestellt werden. Die Ausnutzung des Sättigungsdefizits ist ein Maß für die Abschätzung der erreichbaren Trocknungsleistung und für die Beurteilung der Effizienz eines Trocknungsprozesses. Die Erhöhung des Sättigungsdefizites ist aber auch immer mit der Erhöhung des Energieeinsatzes verbunden. Der spezifische Energiebedarf je Kilogramm getrockneten Wassers wird maßgeblich von der Ausnutzung des Sättigungsdefizits beeinflusst. Bei einem Trocknungsprozess in der Praxis handelt es sich meist um Trocknungen in dicken Schüttungen, die vereinfacht dargestellt einer mehrfachen Überlagerung von vielen einzelnen Schichten entsprechen. Aus diesem Grund ergibt sich eine wesentlich höhere Ausnutzung des Sättigungsdefizites bei sonst ähnlichen Bedingungen. Der Energiebedarf bei der Trocknung ist aus wirtschaftlichen Gründen immer ein wesentlicher Faktor. Daher ist es von großer Wichtigkeit, den Energiebedarf durch die Änderungen der Trocknungsbedingungen mit Hilfe einer adäquaten Regelung des Trocknungsprozesses zu kontrollieren. Bei welchen Temperaturen und Strömungsgeschwindigkeiten getrocknet wird, hängt in der Regel

von den praktischen Bedingungen ab, beispielsweise welches Temperaturniveau bzw. wieviel Zeit für die Trocknung zur Verfügung steht.

Der Strömungswiderstand ist eine zentrale Kenngröße für die Auswahl der Gebläseart und -leistung und somit von großer Bedeutung für den Bau und den wirtschaftlichen Betrieb von Trocknungsanlagen. Die Bedeutung dieser Kenngröße liegt in ihrem Einfluss auf die Trocknungsleistung einer Anlage. Grundsätzlich wird der Stoffübergang durch steigende Strömungsgeschwindigkeit begünstigt. Die Strömungsgeschwindigkeit der Trocknungsluft durch die Schüttung sollte daher so hoch wie möglich sein. Die Begrenzung nach oben ergibt sich jedoch aus dem progressiven Anstieg des Strömungswiderstandes. Die praktische Bedeutung liegt unter anderem darin, dass sie als Planungshilfe für die sachgerechte Gebläseauswahl dienen kann. Obwohl bereits in zahlreichen landtechnischen Publikationen eine Reihe von Untersuchungen über den Strömungswiderstand von landwirtschaftlichen Schüttgütern veröffentlicht wurden, gab es bisher keine systematischen Arbeiten über den Strömungswiderstand von Maisspindeln als Koppelprodukt bei der Kornmaisernte. Der Strömungswiderstand von landwirtschaftlichen Gütern wird oftmals über Berechnungsgleichungen unter Einbeziehung von einer Stoffkonstanten (abhängig von Kornform und Kornoberfläche), einem Widerstandbeiwert der unregelmäßigen Kugelschüttung sowie dem äquivalenten Kugeldurchmesser des Schüttgutes ermittelt. Auf Grund von fehlenden Werten einer Stoffkonstante, sowie der sehr heterogenen Zusammensetzung von Maisspindeln als Koppelprodukt der Körnermaisernte, war es nicht möglich die bestehenden Gebrauchsformeln zur Berechnung des Strömungswiderstandes zu verwenden.

Daher war es nötig, den für das Auslegen der Gebläseleistung anzusetzenden Druckabfall empirisch zu ermitteln. Zur experimentellen Erfassung der strömungstechnischen Parameter einer Maisspindelschüttung wurde eine Versuchseinrichtung entworfen, mit der eine möglichst gleichmäßige Durchströmung der Schüttschicht ermöglicht werden soll. Zur experimentellen Erhebung des Strömungswiderstands von Maisspindeln wurden in Summe 8 Maisspindelproben, die sich in den Materialeigenschaften Schüttdichte, Lieschen- und Feinanteil sowie in der Korngrößenverteilung unterscheiden, analysiert. In der unten stehenden Abbildung 2 sind die Ergebnisse der experimentellen Bestimmung der Strömungswiderstände von unterschiedlichen Maisspindelproben dargestellt. Zu Vergleichszwecken wurden auch die Strömungswiderstände von zwei Holzhackgutproben (fein und grob) erhoben und in der Grafik gegenübergestellt.

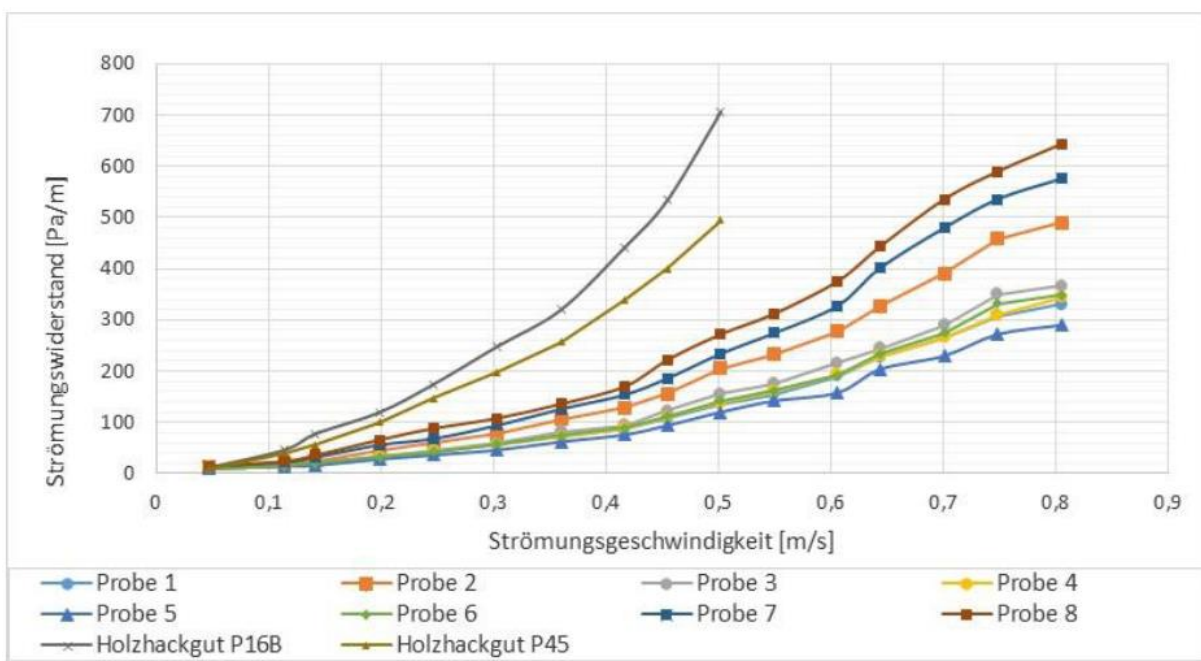


Abbildung 2: Ergebnisse der experimentellen Strömungswiderstandsbestimmung

Dabei zeigte sich, dass der Anteil an Lieschen und Feinanteil einen signifikanteren Einfluss auf den Strömungswiderstand hat als die Schüttdichte der Versuchsproben. Vergleichsanalysen mit Holzhackgut in zwei unterschiedlichen Korngrößen zeigten, dass Maisspindeln trotz ähnlicher Schüttdichte und Feinanteil einen 5- bis 7-fach reduzierten Strömungswiderstand aufwiesen. Für eine genauere Ermittlung müssen in weiterführenden Arbeiten verstärkt bisher kaum berücksichtigte Kenngrößen und Eigenschaften der Maisspindelschüttungen, wie zum Beispiel Oberflächenbeschaffenheit, Partikelform und das spezifische Hohlraumvolumen einbezogen werden. Dies erfordert jedoch auch die Ausweitung der Materialanalysen, die über die derzeit verbreiteten Methoden wie Siebung und Schüttdichte hinausgehen. Anzudenken wäre hier zukünftig die Verwendung von Bildanalysemethoden (photo-optische Partikelanalyse, Laser-Scanner) zur genaueren Erfassung des Hohlraumvolumens.

Die Qualität der thermo-chemischen Umwandlung von biogenen Festbrennstoffen ist durch eine Reihe von Merkmalen beeinflusst, die direkte und indirekte umweltrelevante Eigenschaften aufweisen. Der Einsatz von Maisspindeln als Brennstoff in Kleinfeuerungsanlagen ist im Vergleich zu holzartigen Brennstoffen nicht unproblematisch. Mit Ausnahme des Heizwertes weisen Maisspindeln sowohl hinsichtlich der physikalischen als auch der chemischen Merkmale deutliche Unterschiede zu konventionellen Holzbrennstoffen auf. Maßgeblichen Einfluss auf die geänderte Verbrennungsqualität und die Emissionsbildung hat die chemische Zusammensetzung der Maisspindeln. Insbesondere die Gehalte der Elemente K, Ca, Mg, Al, Fe, Hg, P, Si, Na und Ti erhöhen den Aschegehalt und verringern zum Teil die Ascheerweichungstemperatur. Bei niedrigen Ascheerweichungstemperaturen kann es während des Verbrennungsvorganges zu Anbackungen und Schlackenbildung im Brennraum, am Rost und im Wärmetauscher kommen, was im Rahmen der Langzeitversuche auch immer wieder beobachtet werden konnte. Als Folge der Schlackenbildung traten Störungen und Betriebsunterbrechungen sowie eine Verschlechterung der Verbrennungsqualität durch Veränderung der Luftzufuhr im Brennraum auf. Zudem enthalten Maisspindeln das Vielfache an Cl, N, S und K als Holz. Die Verbrennungsversuche dieses Projekts zeigten, dass der Kaliumgehalt und dessen Verbindungen von besonderer Relevanz für die Partikelemissionen sind. Das Element Kalium ist sehr reaktionsfreudig und kommt daher bei der Verbrennung kaum elementar vor. Nicht-oxidierte Kaliumverbindungen haben einen Siede- und Schmelzpunkt von deutlich über 1000 °C. Durch die Oxidation entstehen flüchtige Verbindungen, sogenannte Kaliumoxide, die sich bei hohen Temperaturen in gasförmige Verbindungen zersetzen. Die Kaliumverbindungen aus den Maisspindeln gelangen in den Abgasstrom und bilden dort, zumeist gasförmig, die Vorläufersubstanzen für die Partikelbildung in der Abkühlphase. Die positiv geladenen Kalium-Ionen verbinden sich mit negativ geladenen SO_4^- , Cl^- , O_2^- bzw. OH^- Ionen zu Salzen. Durch die Ascheanalysen konnte gezeigt werden, dass die Kaliumverbindungen in Form von Salzen, den größten Anteil am Partikelkollektiv haben. Um die Partikelmaße im Abgas zu reduzieren, muss demnach die Partikelfraktion der Kalium-Salze im Abgas vermindert werden. Die Kaliumfracht wird reduziert, wenn das Kalium bzw. größere Teile davon, nicht in die Dampfphase übergehen, sondern in der Glutbettasche bleiben. Die Partikelemissionen können tendenziell auch durch ein verkleinertes Verhältnis von K/Si und S/Cl vermindert werden. Bei einem hohen molaren Verhältnis von $(\text{K}+\text{Na})/(\text{2S}+\text{Cl})$ verbleiben K und Na in Form von Sulfaten und Chloriden verstärkt in der Rostasche. Insgesamt können sich dann um bis zu 25 bis 33 % niedrigere Gesamtfineinstaubemissionen ergeben.

Die hohen Cl-Gehalte können zu Dioxinen und HCl im Abgas und in der Asche führen und verstärken Korrosionserscheinungen in der Verbrennungsanlage. Die vergleichsweise hohen Stickstoffgehalte der Maisspindeln schlagen sich in erhöhten NO_x -Emissionen nieder. Wie in den Verbrennungsversuchen und den Brennstoffanalysen gezeigt werden konnte besteht ein starker Zusammenhang zwischen hohen Stickstoffgehalten im Brennstoff und NO_x -Emissionen im Rauchgas.

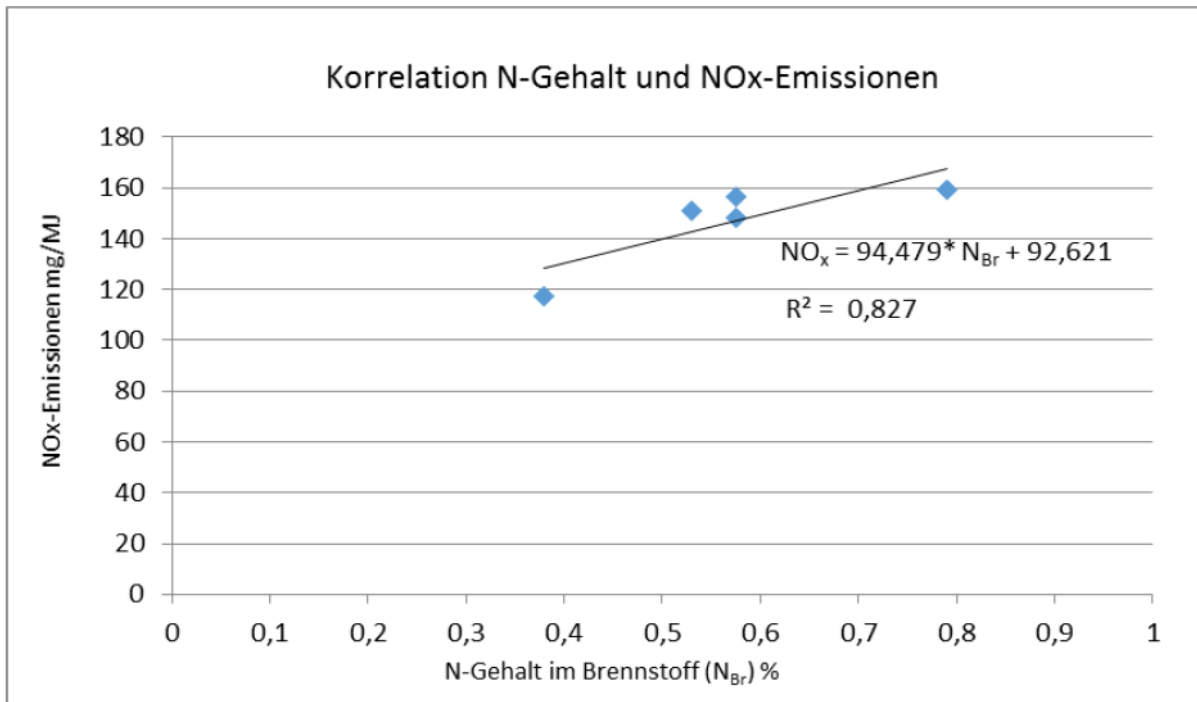


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Brennstoffstickstoff und NO_x-Emissionen

Die wesentlichen stofflich-chemischen Merkmale sind durch die Wachstumsphase der Biomasse geprägt. Die bei der Verbrennung nachteilig wirkenden Elemente sind wesentliche Pflanzennährstoffe, die für die Pflanzenentwicklung und für das Pflanzenwachstum unentbehrlich sind und über die Düngung bereitgestellt werden. Zur Ertragssteigerung und Qualitätsverbesserung bei der pflanzlichen Produktion werden Makro- und Spurenelemente in Form von Düngern und Pflanzenschutzmitteln ausgebracht, die im Gegensatz zu den Ansprüchen der thermischen Nutzung stehen.

Die Verbrennungsversuche mit Maisspindeln als Brennstoff für Kleinf Feuerungsanlagen bis 150 kW haben gezeigt, dass der Einsatz dieses Brennstoffes aus technischer Sicht prinzipiell möglich ist. Zur Einhaltung der gesetzlichen Emissionsgrenzwerte ist die verwendete Feuerungstechnik für konventionelle Holzbrennstoffe jedoch nicht uneingeschränkt geeignet. Im Vergleich zu Holzbrennstoffen zeigten die untersuchten Maisspindeln ein schlechteres Ergebnis in allen untersuchten Emissionsparametern. Während die CO- und NO_x-Emissionen der durchgeführten Verbrennungsversuche den derzeitigen gesetzlichen Forderungen entsprechen, konnten die Staub-Emissionen trotz Anpassung der Anlageneinstellungen und der Verwendung eines Multizyklonstaubabscheiders in Kombination mit Anlage 1 (150 kW) nicht auf das gesetzlich geforderte Niveau verringert werden. Die durchgeführten Ascheanalysen zeigten, dass die Flugasche, sprich die Aerosole der Rauchgase, im Wesentlichen aus Kaliumchlorid und Kaliumsulfat bestehen. Gründe dafür liegen in den hohen Kalium-, Chlor- und Schwefelkonzentrationen der Maisspindeln.

Die Nährstoffeinbindung (Ca, K, Mg, P) war insbesondere bei der Brennraumasche sehr hoch. Auf Grund der niedrigen Schwermetallgehalte kann eine Ausbringung auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen gemäß der gültigen Richtlinie für den sachgerechten Einsatz von Pflanzenaschen sinnvoll sein. Bei den analysierten Flugascheproben wurde die von der Richtlinie geforderten Schwermetallkonzentrationen im Fall von Zink überschritten, weshalb eine Ausbringung als Dünger aus derzeitiger Sicht vermieden werden sollte.

Das Auftreten von Schlacke konnte durch Optimierung der Brennraumtemperatur im Zuge der Verbrennungsversuche mittels Rauchgasrezirkulation bei beiden Anlagentypen deutlich reduziert werden. Bei Anlage 2

zeigte der Brecherrost sehr gute Resultate bei der Beseitigung von leichten Ascheanbackungen und Versinterungen im Brennraum.

Zur Erfüllung der geforderten Emissionswerte, insbesondere der Staubemissionen, ist die Bereitstellung einer adäquaten Feuerungstechnik mit korrosionsbeständigen Materialien sowie einer wirkungsvollen Staubabscheidung nötig. Weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind daher zur Optimierung des Emissionsverhaltens nötig. Diese können bereits bei der Brennstoffproduktion durch die Wahl des Düngemittels und einer bedarfsgerechten Verwendung berücksichtigt werden. Durch den Einsatz von Kaliumsulfat anstelle von Kaliumchloriddünger kann der Eintrag von Chlor in den Biomassebrennstoff reduziert werden.

Technische Optimierungspotentiale liegen zum einen in der Gestaltung der Brennraumgeometrie. Die Verringerung der Brennraumtemperatur zur Vermeidung von Schlackenbildung bedarf einer größeren Nachbrennzone zur Ausweitung der Gasverweilzeit, da bei niedrigeren Brennraumtemperaturen die Verbrennungsreaktionen langsamer ablaufen.

Zum anderen kann durch die Gestaltung der Verbrennungsluftführung im Brennraum das Mitreißen von Aschepartikeln und somit die Staub-Emission verringert werden.

Im Zuge der Verbrennungsversuche konnten regelungsspezifische Erkenntnisse gewonnen werden, mit denen Bedingungen für geringe Partikelemissionen begünstigt, jedoch nicht auf das gesetzlich geforderte Niveau reduziert werden. Diese betreffen beispielsweise die Verbrennungstemperatur, die im Feuerraum genügend hoch, sprich über 600 °C, jedoch unter der kritischen Temperatur der Ascheerweichung liegen soll. Der Glutbett-Luftüberschuss sollte möglichst gering gehalten werden. Der Gesamt-Luftüberschuss sollte genügend hoch sein, um einen vollständigen Ausbrand zu gewährleisten, jedoch nicht zu hoch um eine geringe Partikelanzahl zu erzielen. Darüber hinaus ist eine gleichmäßige Durchströmung des Glutbetts wichtig, um örtlich ungleichmäßig verteilte Luftüberschüsse und einen schnelleren Abbrand (Durchbruch) zu verhindern. Eine deutliche Luftstufung ist ebenfalls von Bedeutung, da bei geringer Primärluft eine Rückströmung zum Glutbett erfolgen kann.

Ein erhebliches Potential zur Emissionsverringerung liegt in der Verwendung von Sekundärmaßnahmen. Insbesondere Filtertechnologien zur Staubabscheidung wie zum Beispiel Elektrofilter, Metallgewebefilter oder katalytisch unterstützte Reduktion der Emissionen sollten in weiterführenden Forschungsanstrengungen näher betrachtet werden. Kostenintensive Sekundärmaßnahmen zur Reduktion der Emissionen sind jedoch zu meist aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten für Kleinfeuerungsanlagen nicht relevant.

Auch hinsichtlich der Materialeignung ist weiterer Forschungsbedarf gegeben. Schamotte, mit hohem Anteil an Aluminiumoxid (Korund) wie sie beispielsweise in der Müllverbrennung eingesetzt werden, versprechen hohe Korrosionsbeständigkeit.

2. PUBLIKATIONEN UND VORTRÄGE

Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten zur Ernte, Logistik und energetischen Nutzung von Maisspindeln wurden parallel zum Projektverlauf in Fachzeitschriften und in Vorträgen bei Konferenzen zugänglich gemacht.

Nachfolgend sind diese Veröffentlichungen dargestellt.

Die wissenschaftlichen Ergebnisse der Untersuchungen waren die Basis für die Dissertation von Mag. (FH) Lukas Sulzbacher BEd: „Verfahrenstechnische Untersuchung und Bewertung der thermischen Maisspindel-nutzung“, Universität für Bodenkultur, 2015.

2.1 „Analyse von Verfahren zur Maisspindelernte“, Handler F., Blumauer E., Sulzbacher L., Mair B., Rathbauer J., 2012

18. Arbeitswirtschaftliches Kolloquium, 13./14. März 2012, Tagungsband S. 61 – 69.
ISBN 978-3-905733-25-9

Analyse von Verfahren zur Maisspindelernte

Analyse von Verfahren zur Maisspindelernte

Franz Handler, Emil Blumauer, Lukas Sulzbacher, Bernhard Mair, Josef Rathbauer

BLT Wieselburg, Lehr- und Forschungszentrum Francisco Josephinum, Rottenhauser Str. 1, A-3250 Wieselburg,
franz.handler@josephinum.at, lukas.sulzbacher@josephinum.at

Einleitung

Maisspindeln, die innersten Teile der Maiskolben fielen bisher als Nebenprodukt der Saatmaisproduktion an, die hauptsächlich verfeuert wurden. Daneben wurden in den vergangenen Jahren auch Möglichkeiten der stofflichen Nutzung wie z. B. in der Holzplattenindustrie und in Ölbindemitteln entwickelt.

Um Maisspindeln auch bei der Körnermaisernte ernten zu können, wurden Mähdrescher umgebaut, sodass eine getrennte Ernte von Korn und Spindeln in einem Arbeitsgang möglich ist.

Dieser Beitrag analysiert zwei Verfahren zur Maisspindelernte hinsichtlich Arbeitszeitbedarf, Logistik und Kosten.

Material und Methode

Beim Mähdrescher mit Spindeltank (siehe Abb. 1) werden die Spindeln nach dem Dreschrotor über Siebe von den Lieschen und Strohtteilen abgetrennt. Danach werden sie in den hochklippbaren Spindeltank (10 m³) befördert. Der Spindeltank wird durch Hochkippen auf Anhänger entleert. Die für die Untersuchungen verwendete Maschine basiert auf einem CASE Axial-Flow 7088 (254 kW) mit einem Korntankinhalt von 10,5 m³ und einem 8-reihigen Maispflücker mit Unterbauhäcksler.

Beim Mähdrescher mit Maisspindelwerfer (siehe Abb. 2) werden die über Siebe und Gebläse abgetrennten Spindeln von einem Wurfgebläse auf einen neben dem Mähdrescher fahrenden Anhänger gefördert. Der Maisspindelwerfer ist für die Untersuchungen auf einem New Holland CX840 (220 kW) mit einem Korntankinhalt von 9,0 m³ und einem 6-reihigen Maispflücker mit Unterbauhäcksler aufgebaut.



Abbildung 1: Mähdrescher mit hochklippbarem Spindeltank



Abbildung 2: Mähdrescher mit Maisspindelwerfer

Der Arbeitszeitbedarf der einzelnen Teilvorgänge von der Ernte bis zur Einlagerung wurde mit dem Zeiterfassungssystem Ortim a3 erfasst. Die zurückgelegten Wegstrecken wurden mit GPS gemessen. Die geernteten und transportierten Massen wurden über mobile Radlastwaagen ermittelt. Die Schüttdichte wurde in Anlehnung an EN 15103 bestimmt. Bei allen Ernten wurde der Trockenmassegehalt der Körner und Spindeln durch Trocknen im Trockenschrank bestimmt (EN 14774-2). Zur Beurteilung der Arbeitsqualität wurden die Reinheit der geernteten Spindeln und die Spindelverluste gemessen. Für die Bestimmung der Spindelverluste bei der Ernte wurden die nach der Ernte am Feld liegenden Spindeln über eine Breite von 16 Reihen auf einer Fläche von 60 m² in vierfacher Wiederholung eingesammelt. Zur Bestimmung der Zusammensetzung des geernteten Materials im Spindelbunker erfolgte die Probenahme in Anlehnung an Punkt 17 von CEN/TS 14778-1. Nach einer Vorsortierung mit Sieben wurden die Fraktionen manuell getrennt. Jede Bestimmung wurde viermal wiederholt.

Die statistischen Auswertungen wurden mit SPSS 17.0 und ORTIMzeit Professional durchgeführt.

Die Modellkalkulationen der Ernteketten basieren auf den ermittelten Planzeiten.

Die Kosten für die Spindelernte enthalten fixe und variable Maschinenkosten der Mähdrescher und der Spindelertesysteme sowie die dazugehörigen Lohnkosten. Aufbauend auf den arbeitswirtschaftlichen Modellrechnungen werden sowohl die Kosten für die Körnermaisernte ohne Spindelernte als auch die Kosten der Körnermaisernte mit Spindelernte berechnet. Die Mehrkosten entsprechen den Kosten für die Spindelernte. Zinssatz, Kosten für Versicherung und Unterbringung der Maschinen sowie der Reparaturkostenansatz werden aus den ÖKL-Richtwerten (ÖKL 2011) übernommen.

Die Kosten für den Spindeltransport umfassen fixe und variable Maschinenkosten der Traktoren und Anhänger sowie die dazugehörigen Lohnkosten.

Ergebnisse und Diskussion

Ertrag und Eigenschaften der geernteten Spindel

Nach Untersuchungen von Handler *et al.* (2010) bewegt sich das Verhältnis von Trockenmasseertrag Korn zu Trockenmasseertrag Spindel zwischen 1 : 0,09 und 1 : 0,15. Die von Zych (2008) und Reese (2009) erhobenen Spindelanteile liegen tendenziell höher.

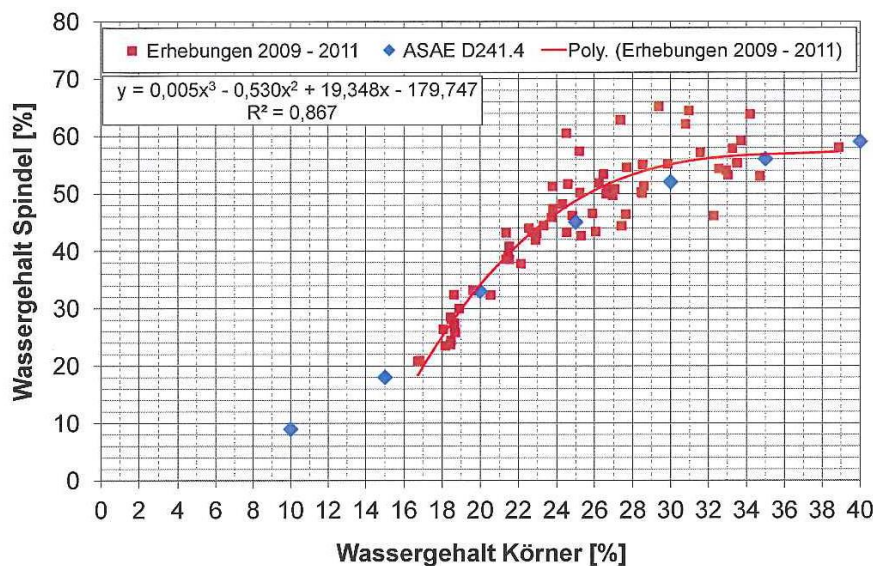


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Wassergehalt im Korn und in der Spindel

Für die Lagerfähigkeit und den Heizwert der Spindeln ist der Wassergehalt entscheidend. Der Wassergehalt der Spindeln ist durchwegs höher als jener der Körner. Die Differenz nimmt mit zunehmendem Wassergehalt in den Körnern zu (siehe Abb. 3). Die Streuung deutet auf einen Einfluss der Sorte und des Standortes hin. Für die Wassergehalte im Korn von 17 bis 25 % stimmen die gemessenen Wassergehalte in der Spindel gut mit den in ASAE D241.4 und von Reese (2009) angegebenen Werten überein. Darüber wurden deutlich höhere Werte gemessen. ASAE D241.4 gibt beispielsweise für einen Wassergehalt im Korn von 30 % einen Richtwert für den Wassergehalt in der Spindel von 52 % an.

Tabelle 1 zeigt die Zusammensetzung des im Spindeltank des Mähdreschers gesammelten Materials. Im Mittel sind bei sechs untersuchten Sorten 89,2 % der Trockenmasse Spindeln. Der Kornanteil liegt im Mittel bei 6,7 %. Beim mit dem Spindelwerfer geernteten Material ist der Spindelanteil geringer und der Lieschen- und Strohananteil höher (siehe Tabelle 2). Ein direkter Vergleich ist nur begrenzt möglich, da zu unterschiedlichen Zeitpunkten und unterschiedliche Sorten geerntet wurden. Bei beiden Verfahren ist der höchste Anteil an Lieschen und Stroh bei Sorten zu beobachten, bei denen sich die Lieschen im Dreschrotor bzw. in der Dreschtrommel zu einem hohen Anteil nicht von den Spindeln trennen.

Tabelle 1: Zusammensetzung der Trockenmasse (TM) des mit dem Mähdrescher mit Spindeltank geernteten Materials (6 Sorten, 4 Wiederholungen; Handler et al. 2010)

Bestandteil	Arithmetisches Mittel [%]	Standardabweichung [%]	Minimum [%]	Maximum [%]
Spindel	89,2	2,0	86,7	92,6
Korn	6,7	0,8	5,7	7,6
Lieschen und Stroh	3,0	1,4	0,9	4,8
Feinmaterial ¹	1,1	0,2	0,8	1,2

¹ Durchgang durch ein Rundlochsieb mit einer Maschenweite von 3,15 mm

Die Schüttdichte des im Spindeltank geernteten Materials liegt zwischen 93 und 138 kg TM/m³. Der Mittelwert beträgt 117 kg TM/m³ bei einer Standardabweichung von 11 kg TM/m³. Im Vergleich dazu schwankt die Schüttdichte des mit dem Spindelwerfer geernteten Materials zwischen 87 und 110 kg TM/m³. Der Mittelwert beträgt 96 kg TM/m³. Die Standardabweichung liegt bei 8 kg TM/m³.

Analyse von Verfahren zur Maisspindelernte

Tabelle 2: Zusammensetzung der Trockenmasse (TM) des mit dem Mähdrescher mit Spindelwerfer geernteten Materials (4 Sorten, 4 Wiederholungen)

Bestandteil	Arithmetisches Mittel [%]	Standardabweichung [%]	Minimum [%]	Maximum [%]
Spindel	81,7	4,6	76,7	87,5
Korn	0,0	0,0	0,0	0,1
Lieschen und Stroh	10,0	5,5	5,6	18,2
Feinmaterial	8,1	5,6	3,3	16,5

Tabelle 3 zeigt, dass die Spindelverluste und der Anteil von Lieschen im Erntegut wesentlich von der Sorte abhängen. Sorten, bei denen sich die Lieschen im Dreschrotor bzw. in der Dreschtrommel nicht von den Spindeln lösen weisen sehr hohe Ernteverluste und hohe Anteile von Lieschen im Erntegut auf. Zu den hohen Verlusten im in Tabelle 3 dargestellten Beispiel kommt es, da an den Spindeln anhaftende Lieschen verhindern, dass die Spindeln durch das nach dem Dreschrotor eingebaute Sieb fallen. Dies kann, wie Sorte 21 in Tabelle 3 zeigt, Spindelverluste von bis zu 45 % verursachen. Diese Probleme können bei beiden Ernteverfahren beobachtet werden. Wobei beim Maisspindelwerfer die Verluste auf Grund des verwendeten Trennsystems geringer sind, dafür ist aber der Lieschenanteil im Erntegut höher.

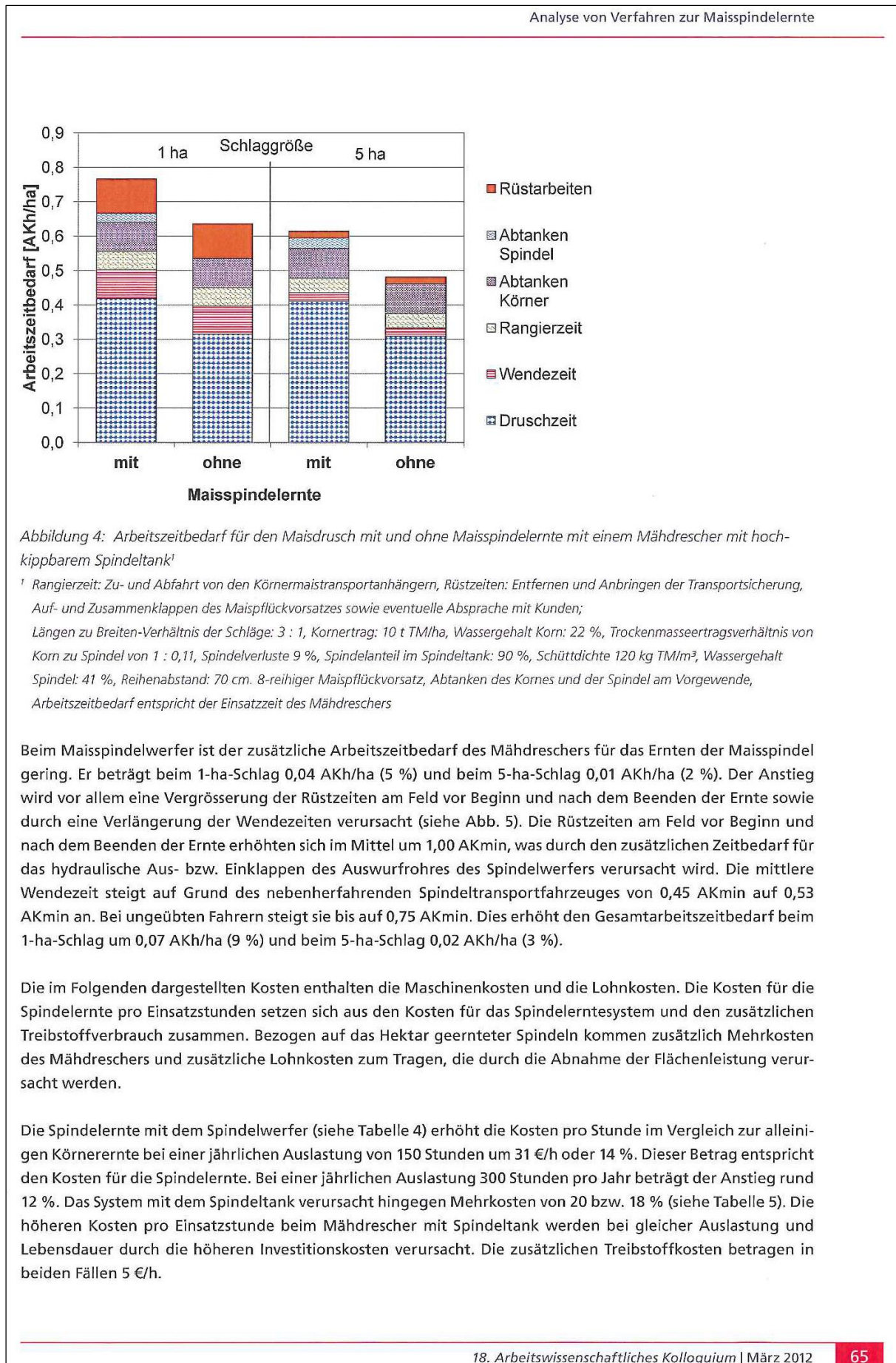
Tabelle 3: Spindelverluste bei der Ernte mit dem Mähdrescher mit Spindeltank (Fahrgeschwindigkeit des Mähdreschers 4,5 km/h; Handler *et al.* 2010)

	Sorte 15 Arithmetisches Mittel (Standardabweichung)	Sorte 21 Arithmetisches Mittel (Standardabweichung)
Spindelertrag [kg TM/ha]	1,270 (90)	1,149 (83)
Ergebnis t-Test	Differenz nicht signifikant bei $\alpha = 0,05$	
Spindelverlust [% TM]	9,9 (0,6)	45,0 (3,5)
Ergebnis t-Test	Differenz signifikant bei $\alpha = 0,05$	
Lieschenanteil im Erntegut [% TM]	0,9 (0,1)	4,7 (0,3)
Ergebnis t-Test	Differenz signifikant bei $\alpha = 0,05$	

Arbeitszeitbedarf und Kosten des Mähdreschers

Abbildung 4 zeigt den Arbeitszeitbedarf für die Maisspindelernte mit dem Mähdrescher mit Spindeltank. Der Anstieg des Arbeitszeitbedarfes des Mähdreschers durch die Maisspindelernte wird durch die geringere Fahrgeschwindigkeit während des Dreschens und den zusätzlichen Zeitbedarf für das Abtanken der Spindeln verursacht. Beim Maisdrusch ohne Spindelernte ist unter gleichen Bedingungen eine Fahrgeschwindigkeit von 6,0 km/h möglich. Auf Grund des zusätzlichen Gewichtes und Leistungsbedarfes sowie der begrenzten Kapazität des Spindelerntesystems sinkt die Fahrgeschwindigkeit auf 4,5 km/h.

Ein Überladen der Spindeln während der Fahrt ist nicht möglich. Ein gleichzeitiges Abtanken von Korn und Spindel am Vorgewende ist ebenfalls nicht möglich. Aus diesen Gründen steigt in der in Abbildung 4 dargestellten Modellrechnung der Arbeitszeitbedarf bei einer Schlaggröße von 1 ha und 5 ha um 0,13 AKh/ha an. Dies entspricht einem Anstieg von 20 bzw. 28 %. Der relativ höhere Anstieg des Arbeitszeitbedarfes beim 5-ha-Schlag ist auf den schlechteren Füllgrad des Maisspindeltanks, der durch die ungünstige Feldlänge bewirkt wird, zurückzuführen, wodurch anstatt einem Abtankvorgang pro Hektar 1,2 Abtankvorgänge pro Hektar erforderlich sind. Für das Abtanken der Maisspindeln werden beim 1-ha-Schlag 3 % und beim 5-ha-Schlag 5 % der Gesamtarbeitszeit benötigt. Diese bedeutet, dass der Anstieg des Arbeitszeitbedarfes bei der Spindelernte vor allem durch die erforderliche Verringerung der Druschgeschwindigkeit verursacht wird. Durch die Verwendung des hochklippbaren Spindeltanks anstatt eines Spindeltanks mit Kettenförderer zur Entleerung (Handler *et al.* 2010) konnte der Arbeitszeitbedarf um 4 bzw. 7 % verringert werden.



Analyse von Verfahren zur Maisspindelernte

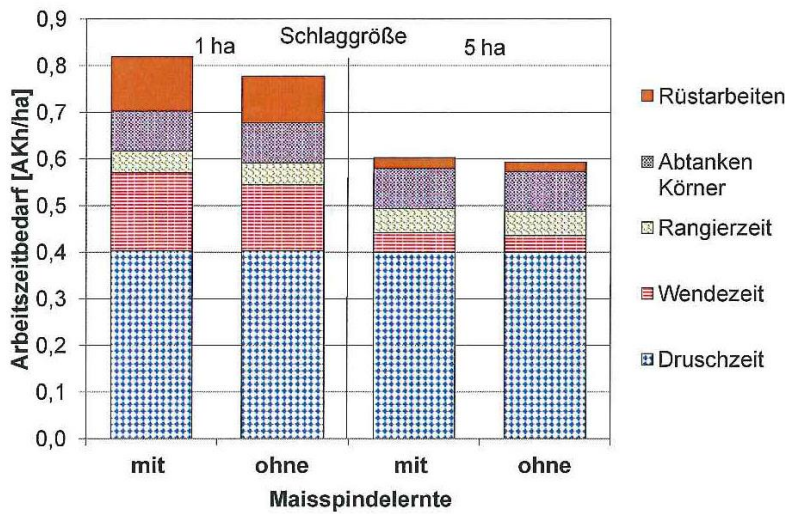


Abbildung 5: Arbeitszeitbedarf für den Maisdrusch mit und ohne Maisspindelernte mit einem Mähdrischer mit Maisspindelwerfer¹

¹ Rangierzeit: Zu- und Abfahrt von den Körnermaistransportanhängern, Rüstzeiten: Entfernen und Anbringen der Transportsicherung sowie Aus- bzw. Einklappen des Auswurfrohres des Spindelwerfers, Auf- und Zusammenklappen des Maispflückvorsatzes sowie eventuelle Absprache mit Kunden;
 Längen zu Breiten-Verhältnis der Schläge: 3 : 1, Kornertrag: 10 t TM/ha, Wassergehalt Korn: 22 %, Trockenmasseertragsverhältnis von Korn zu Spindel von 1 : 0,11, Spindelverluste 9 %, Spindelanteil im Spindeltank: 84 %, Schüttdichte 100 kg TM/m³, Wassergehalt Spindel: 41 %, Reihenabstand: 70 cm, 6-reihiger Maispflückvorsatz; Abtanken des Kornes am Vorgewende, Arbeitszeitbedarf entspricht der Einsatzzeit des Mähdrischers.

Schlaggröße [ha]	Jährliche Auslastung des Spindelwerfers [h]	Kosten der Spindelernte		
		[€/h]	[€/ha]	[€/t TM Spindel]
1	150	31	35	44
	300	27	32	40
5	150	31	21	23
	300	27	19	21

¹ Daten und Arbeitszeitbedarf des Mähdrischers mit Spindelwerfer siehe Abb. 5, alle Kosten ohne MwSt., Lohnkosten 20 €/h, Neuwert Mähdrischer mit 6-reihigem Maispflücker € 256 000.–, Neuwert Maisspindelwerfer € 24 000.–, jährliche Auslastung des Mähdrischers 600 h, davon 300 h in der Maisernte, Nutzungsdauer 10 Jahre.

Eine Steigerung der Auslastung von 150 auf 300 h pro Jahr wirkt sich auf Grund der höheren Investitionskosten beim Erntesystem mit Spindeltank in absoluten Zahlen deutlich stärker aus. Prozentuell ist die Differenz bei beiden Systemen unter den gegebenen Rahmenbedingungen annähernd gleich.

Der Berechnung der Kosten pro Hektar in den Tabellen 4 und 5 liegen die Arbeitszeitbedarfswerte in Abbildung 3 bzw. 4 zu Grunde. Beim System mit Spindeltank in Tabelle 5 entsprechen die Kosten pro Hektar den Kosten pro Tonne Trockenmasse, da die geerntete Spindelmasse eine Tonne Trockenmasse pro Hektar beträgt. Der Spindelwerfer könnte beim Anmähen eines Schrages die Spindeln auch über den Traktor hinweg auf den hinterher fahrenden Anhänger befördern. In der Praxis wird dies auf Grund des Zeitverlustes meist nicht gemacht, weshalb die Spindeln bei der ersten Umfahrt nicht geerntet, sondern am Boden abgelegt werden. Dies führt im

vorliegenden Beispiel zu einer Verringerung der geernteten Spindelmasse von 1,0 t TM/ha auf 0,8 t TM/ha beim 1-ha-Schlag bzw. auf 0,9 t TM/ha beim 5-ha-Schlag und zu einer entsprechenden Erhöhung der Kosten pro Tonne Trockenmasse (siehe Tabelle 4).

Tabelle 5: Kosten der Spindelernte mit Mähdrescher mit Spindeltank¹

Schlaggröße [ha]	Jährliche Auslastung des Spindel tanks [h]	Kosten der Spindelernte		
		[€/h]	[€/ha]	[€/t TM Spindel]
1	150	52	74	74
	300	45	69	69
5	150	52	66	66
	300	45	62	62

¹ Daten und Arbeitszeitbedarf des Mähdreschers mit Spindel tank siehe Abb. 4, alle Kosten ohne MwSt., Lohnkosten 20 €/h, Neuwert Mähdrescher mit 8-reihigem Maispflücker € 291 000.–, Neuwert Maisspindelertesystem mit Spindel tank € 41 200.–, jährliche Auslastung des Mähdreschers 600 h, davon 300 h in der Maisernte, Nutzungsdauer 10 Jahre.

Arbeitszeitbedarf und Kosten des Spindeltransportes

Die Kosten für den Spindeltransport umfassen fixe und variable Maschinenkosten der Traktoren und Anhänger sowie die dazugehörigen Lohnkosten. Der unterstellte Kostensatz pro Stunde beträgt 2,00 €/m³ Ladevolumen des Anhängers.

Beim Mähdrescher mit dem Spindelwerfer muss ein Traktor mit dem Anhänger zum Spindeltransport neben dem Mähdrescher herfahren. Dies bedeutet, dass mindestens zwei Traktoren mit Anhänger für den Spindeltransport erforderlich sind. Ab einer Transportentfernung von 9,0 bzw. 8,4 km sind unter den in Tabelle 6 gegebenen Rahmenbedingungen drei Gespanne mit einem Ladevolumen von 16 m³ erforderlich, um Wartezeiten des Mähdreschers zu vermeiden. Die Schlaggröße hat auf Grund der unterschiedlichen Füllzeiten der Anhänger, die durch die Flächenleistung des Mähdreschers bzw. durch den mittleren Massenstrom durch den Mähdrescher beeinflusst wird, einen wesentlichen Einfluss auf die erreichbare maximale Transportentfernung bzw. den Arbeitszeitbedarf für den Spindeltransport pro Hektar. Dies wird beim Spindelwerfer besonders deutlich, da die Schlaggröße den Arbeitszeitbedarf und damit die Flächenleistung deutlich beeinflusst (siehe Abb. 5). Bei der Berechnung der Transportkosten wird davon ausgegangen, dass wie im überbetrieblichen Einsatz üblich, die Wartezeiten der Transportgespanne gleich verrechnet werden wie die Fahrzeiten. Deshalb übersteigen die Transportkosten der Spindel bereits bei einer Transportentfernung von 1 km die Erntekosten mit dem Spindelwerfer.

Tabelle 6: Arbeitszeitbedarf, maximale Transportentfernungen und Kosten für den Spindeltransport mit einem traktorgezogenen 16-m³-Anhänger beim Maisspindelwerfer¹

Schlaggröße [ha]	Maximale Transportentfernung mit 2 Gespannen [km]	Transportentfernung 1 km			Transportentfernung 10 km		
		Anzahl der Gespanne	Arbeitszeitbedarf [AKh/ha]	Kosten [€/ha]	Anzahl der Gespanne	Arbeitszeitbedarf [AKh/ha]	Kosten [€/ha]
1	9,0	2	1,43	46	3	1,97	63
5	8,4	2	1,09	35	3	1,49	48

¹ Daten und Arbeitszeitbedarf des Mähdreschers mit Spindelwerfer siehe Abb. 5; mittlere Fahrgeschwindigkeit der Transportfahrzeuge 22,5 km/h, Schüttdichte der Spindel 100 kg TM/m³, Ladevolumen der Anhänger 16 m³; Kosten des Transportgespannes 32 €/h.

Tabelle 7: Arbeitszeitbedarf, maximale Transportentfernungen und Kosten für den Spindeltransport mit einem traktor-gezogenen 16-m³-Anhängen beim Mähdrescher mit Spindeltank¹

Schlaggröße [ha]	Maximale Transportentfernung mit 1 Gespann [km]	Transportentfernung 1 km			Transportentfernung 10 km		
		Anzahl der Gespanne	Arbeitszeitbedarf [AKh/ha]	Kosten [€/ha]	Anzahl der Gespanne	Arbeitszeitbedarf [AKh/ha]	Kosten [€/ha]
1	5,7	1	0,76	24	2	1,39	45
5	4,1	1	0,60	19	2	1,15	37

¹ Daten und Arbeitszeitbedarf des Mähdreschers mit Spindelwerfer siehe Abb. 4; mittlere Fahrgeschwindigkeit der Transportfahrzeuge 22,5 km/h, Schüttdichte der Spindel 120 kg TM/m³, Ladevolumen der Anhänger 16 m³, Kosten des Transportgespannes 32 €/h.

Beim Mähdrescher mit Spindeltank kann das Transportfahrzeug für die Spindeln die Zeit für das Befüllen des Spindeltanks nutzen, um die Spindeln zum Lager zu transportieren. Deshalb kann unter den in Tabelle 7 gegebenen Rahmenbedingungen bis zu einer Transportentfernung von 5,7 bzw. 4,1 km mit einem Gespanne das Auslangen gefunden werden. Aus diesem Grund sind der Arbeitszeitbedarf und die Transportkosten für die Spindeln deutlich niedriger als bei der Ernte mit dem Spindelwerfer.

Zusammenfassung

Zwei Verfahren zur Maisspindelernte werden hinsichtlich Arbeitszeitbedarf, Logistik und Kosten analysiert. Das erste Verfahren beruht auf einem umgebauten Mähdrescher, der die Maisspindeln in einem hochklippbaren Spindeltank sammelt. Das Ernten der Spindeln erfordert bei diesem System im Vergleich zur normalen Körnermaisernte bei einer Schlaggröße von 1 ha bzw. 5 ha einen zusätzlichen Arbeitszeitbedarf von 0,13 AKh/ha. Dies entspricht einem Anstieg von 20 bzw. 28 %. Die Kosten für die Spindelernte bewegen sich unter den untersuchten Rahmenbedingungen zwischen 62 und 74 €/ha. Beim zweiten Verfahren fördert ein am Mähdrescher angebauter Spindelwerfer die Maisspindeln auf einen neben dem Mähdrescher fahrenden Anhänger. Der zusätzliche Arbeitszeitbedarf des Mähdreschers für das Ernten der Maisspindeln beträgt beim 1-ha-Schlag 0,04 AKh/ha und beim 5-ha-Schlag 0,01 AKh/ha. Dies entspricht einem Anstieg von 5 bzw. 2 %. Daraus ergeben sich Kosten für die Spindelernte zwischen 19 und 35 €/ha. Zusätzlich fallen noch Arbeitszeit und Kosten für den Transport der Maisspindeln an. Die Kosten bewegen sich bei einer Transportentfernung von 1 bis 10 km beim Ernteverfahren mit dem Spindeltank zwischen 19 und 45 €/ha. Beim Spindelwerfer sind sie mit 35 bis 63 €/ha vor allem auf Grund eines zusätzlichen Transportfahrzeuges deutlich höher.

Summary

Two methods of harvesting corn cobs were analysed in relation to working time requirement, logistics and costs. The first method was based on a converted combine harvester which collected the corn cobs in a tilting cob tank. Using this system cob harvesting required an additional working time of 0.13 MH/ha compared with that of a normal grain maize harvest for fields of 1 and 5 ha. This is equivalent to an increase of 20 and 28 % respectively. The cost of cob harvesting came to between 62 and 74 €/ha under the framework conditions investigated. In the second method a corn-cob blower mounted to the combine delivered the cobs to a trailer being driven alongside. The combine's additional working time requirement for harvesting the cobs was 0.04 MH/ha for the 1 ha field and 0.01 MH/ha for the 5 ha field. This is equivalent to an increase of 5 and 2 % respectively. On this basis the cost of corn-cob harvesting came to between 19 and 35 €/ha. Additional working hours and costs were also incurred in transporting the cobs. The cost of the harvesting method using the cob tank ranged from 19 to 45 €/ha for a route of between 1 and 10 km. For the cob blower it was appreciably higher at 35 to 63 €/ha, due mainly to an additional transportation vehicle.

Literatur

- ASAE D241.4: Density, Specific Gravity and Mass-Moisture Relationships of Grain for Storage. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Publication Date: Oct 1, 1992, approved 2008-02-20, 2003-04-14, 1998-11-13.
- Europäisches Komitee für Normung, 2009. EN 14774-2: Feste Biobrennstoffe – Bestimmung des Wassergehaltes – Ofentrocknung – Teil 2: Gesamtgehalt an Wasser – Vereinfachtes Verfahren. Brüssel.
- Europäisches Komitee für Normung, 2005. CEN/TS 14778-1: Feste Biobrennstoffe – Probenahme – Teil 1: Verfahren zur Probenahme, Brüssel.
- Europäisches Komitee für Normung, 2009. EN 15103: Feste Biobrennstoffe – Bestimmung der Schüttdichte. Brüssel.
- Handler F., Blumauer E., Kindler A. & Holzerbauer A., 2010. Analyse eines Verfahrens zur Maisspindelernte. Tagungsband VDI-MEG 68. Internationale Tagung «Land.Technik 2010», 27.–28. Oktober 2010, Braunschweig, 313–318, ISBN 978-318-092111-2.
- ÖKL, 2011. ÖKL-Richtwerte für die Maschinenselbstkosten 2011. Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung, Gusshausstrasse 6, A-1040 Wien.
- Reese M., 2009. Corn cobs for ethanol production process heating: A feasibility report of collection, storage and use of corn cobs as a renewable ethanol production process heating fuel. West Central Research and Outreach Center, University of Minnesota, October 2009.
- Zych D., 2008. The viability of corn cobs as a bioenergy feedstock. West Central Research and Outreach Center, University of Minnesota, August 2008.

2.2 „Wertvolles Koprodukt“, Handler F., Blumauer E., Sulzbacher L., 2013

36 BAUERNZEITUNG

SCHWERPUNKT

22. WOCHE 2013

Ernte *technik*



Wertvolles Koprodukt

Bei der Körnermaisernernte verbleiben die **Maisspindeln** auf dem Acker. Dabei eignen sie sich gut als Brennstoff, Einstreu oder Bindemittel. Doch wie wird der Rohstoff geerntet, und was kostet es?



In den Körnermaisengebieten Österreichs ist die Nutzung der Maisspindel nach wie vor ein Thema. Unter günstigen Rahmenbedingungen kann sie die Wertschöpfung des landwirtschaftlichen Betriebes verbessern und eine Alternative zu den Hackschnitzeln als Brennstoff darstellen. Daneben gibt es aber auch noch andere Verwertungsmöglichkeiten, etwa als Einstreu in der Geflügel- und Kleintierhaltung, Ölbindemittel, Poliermittel, Dämmstoff und noch vieles mehr.

Der Maisspindelanteil am Kolben ohne Lieschen liegt bei rund 9 bis 13 % der Trockenmasse. Unabhängig vom Erntesystem müssen sich die Lieschen

im Dreschorgan des Mähdreschers von der Spindel lösen. Dies hängt von der Einstellung der Drescheinrichtung, der Sorte und vom Erntezeitpunkt ab. Lösen sich die Lieschen nicht von den Spindeln, kommt es zu erhöhten Spindelverlusten und zu einem erhöhten Lieschenanteil in den geernteten Spindeln. Daher kommt es auf die richtige Sortenwahl an, wenn man Maisspindeln ernten möchte.

Wassergehalt erfordert Trocknung

Für die Lagerfähigkeit und den Heizwert der Spindeln ist der Wassergehalt entscheidend. Dieser ist in der Maisspindel

durchweg höher als im Maiskorn, wobei der Unterschied im Wassergehalt mit zunehmender Reife abnimmt (Abb.). Die große Streuung deutet auf einen Einfluss der Sorte und des Standortes hin. Bei einem Wassergehalt von über 30 % sind die Maisspindeln nicht lagerfähig. Es kommt innerhalb weniger Tage zu Schimmelbildung und Erwärmung im Lager. Sie müssen entweder sofort getrocknet oder einer geeigneten Großfeuerung zugeführt werden. Auch bei Wassergehalten von 15 bis 30 % kommt es zu Schimmelbildung, weshalb auch eine Trocknung erforderlich ist, wenn die Spindeln stofflich genutzt werden sollen. Die Schüttdichte der

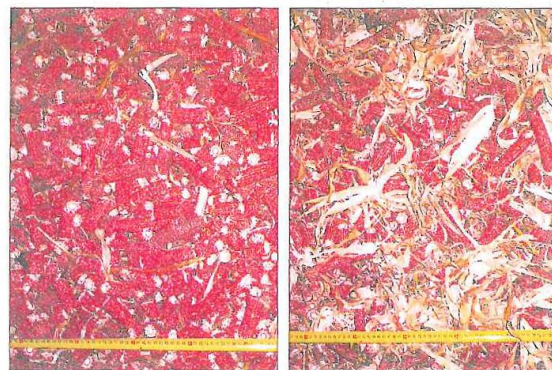
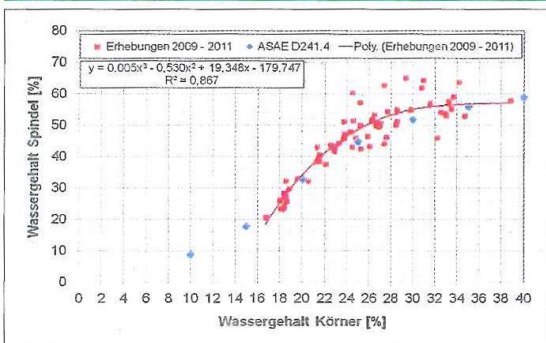
Maisspindeln bewegt sich in einer Größenordnung von 87 bis 138 kg TM/m³, abhängig vom Zerkleinerungsgrad und der Reinheit.

Da das Interesse an den Maisspindeln nach wie vor ungebrochen ist, werden von Firmen bzw. von innovativen Einzelpersonen Lösungen zur Maisspindelabtrennung entwickelt.

Im Wesentlichen stehen in Österreich drei verschiedene Systeme zur Maisspindelernnte im Einsatz:

- Mähdrescher mit zusätzlich aufgebautem, hochklippbarem Spindelentank,
- Mähdrescher mit eingebautem Maisspindelwerfer anstatt des Häckslers,

Abb.: Wassergehalt (Nassbasis) im Maiskorn und in der Maisspindel



Die Reinheit der Spindel hängt wesentlich vom Erntesystem bzw. dessen Einstellung und der Sorte ab.

FOTOS: BLT WIESELBURG



● Spindel und Korn (Corn-Cob-Mix) werden gemeinsam im Korntank gesammelt, und die Trennung erfolgt mithilfe eines Trommelsiebes am Hof.

Druschleistung verringert sich

Beim Mähdrescher mit Spindeltank werden die Spindeln nach dem Dreschrotor über Siebe von den Lieschen und Strohteilen abgetrennt. Nach der Passage einer in ihrer Intensität verstellbaren Zerkleinerungseinrichtung werden die Maisspindeln über einen Elevator in den hochklippbaren 10-m³-Spindeltank befördert. Der Spindeltank wird durch Hochkippen auf bereitgestellte Anhänger entleert.

Ein 254-kW-Mähdrescher mit einem maximalen Korntankinhalt von 10,5 m³ und einem achtreihigen Maispflücker mit Unterbauhäcksler bildet die Basis für die in der Tabelle dargestellten Kosten. Aufgrund des zusätzlichen Gewichtes und Leistungsbedarfes sowie der begrenzten Kapazität des Spindelertesystems sinkt die Fahrgeschwindigkeit beim Dreschen um bis zu 25 %. Zusätzlicher Zeitbedarf ist für das Abtanken der Maisspindeln einzuplanen, da ein Überladen während der Fahrt nicht möglich ist. Dies hat zur Folge, dass die mögliche Flächenleistung des Mähdreschers je nach Einsatzbedingungen um 17 bis 22 % abfällt. Die damit verbundenen Kosten müssen der Maisspindelerte angelastet werden. An Investitionskosten fallen für das Maisspindelertesystem mit Spindeltank rund 41 200 € exkl. MwSt. an. Daraus ergeben sich je nach jährlicher Auslastung und Flächenleistung zwischen 62 und 74 €/t für das Abscheiden der Spindeln. Zu den Kosten für das Abscheiden



Angebauter Spindeltank mit Hochentleerung.

Tab.: Kosten* der Maisspindelerte in €/t TM (exkl. MwSt.)

	System Spindeltank		System Maisspindelwerfer	
	Investition 10 000 €	Investition 45 000 €	System CCM - Trommelsieb	System CCM - Trommelsieb
Abscheiden der Spindel**	62-74	21-44	27-41	55-98
Transportkosten 10 km Transportentfernung 1 km Feld-Hof-Entfernung	37-45 (19-24)	48-63 (35-46)	50-63 (6-8)	50-63 (6-8)
Gesamtkosten bis Lager (10 km Transportentfernung)	99-119	69-107	77-104	105-151

* fixe und variable Maschinenkosten sowie Lohnkosten (20 €/h)
 ** jährliche Auslastung der Spindelertechnik 150-300 h, mittlere Schlaggröße 5 ha, Kornertrag 10 t TM/ha Korn, Nutzungsdauer 10 Jahre, geerntete Maisspindel: 1 t TM/ha mit Maisspindelbunker, 0,9 t TM/ha mit Maisspindelwerfer, 0,36 t TM/ha bei CCM-Ernte und Abtrennung über Trommelsieb

kommen noch die Transportkosten für die Spindel. Diese machen bei einer Transportentfernung von einem Kilometer rund 19 €/t aus und steigen bei zehn Kilometern Transportentfernung auf rund 37 € an. Bis zu einer Transportentfernung von zirka vier Kilometern kommt man mit einem Transportespann für die Maisspindeln aus, vorausgesetzt, dass die Standzeit beim Entladen nicht zu lang ist.

Mähdrescher mit Maisspindelwerfer

Der Spindelwerfer wird anstelle des Strohhäckslers montiert. ÜberSiebe und ein Gebläse werden die Spindeln abgetrennt. Ein Wurfgebläse mit integrierter Zerkleinerungseinrichtung fördert die Spindel auf einen neben dem Mähdrescher fahrenden Anhänger. Die in der Tabelle angegebenen Kosten beruhen auf einem 220-kW-Mähdrescher

mit einem Korntankinhalt von 9,0 m³ und einem sechsheihigen Maispflücker mit Unterbauhäcksler. Der Neuwert des Maisspindelwerfers exkl. MwSt. beträgt rund 24 000 €. Die Rüstzeit vor Beginn und nach dem Beenden der Ernte erhöht sich um den erforderlichen Zeitbedarf für das hydraulische Aus- bzw. Einklappen des Auswurfrohres des Spindelwerfers. Die Fahrgeschwindigkeit beim Dreschen mit und ohne Maisspindelwerfer ist gleich. Die mittlere Wendezeit am Vorgewende erhöht sich durch das nebenherfahrende Spindeltransportfahrzeug um 20 %.

Beim Anmähen eines Schlagtes könnten die Spindeln auch über den Traktor hinweg auf den hinterherfahrenden Anhänger befördert werden. Um Zeit zu sparen, werden die Spindeln bei der ersten Umfahrt meist nicht geerntet. Die Flächenleistung des Mähdreschers mit Maisspindelwerfer wird bei einer mittleren Schlaggröße von fünf Hektar um rund zwei Prozent vermindert und bei einer mittleren Schlaggröße von einem Hektar um über fünf Prozent. Dies ist auf den Anstieg des Wendezeitanteils bei kleinen Schlägen zurückzuführen. Die Kosten für die Spindelabscheidung sind aufgrund der geringeren Investitionskosten und Schlagkraftverringering des Mähdreschers deutlich geringer als beim System mit dem Spindeltank.

Aufgrund dessen, dass während der Spindelerte ständig ein Transportfahrzeug neben dem Spindelwerfer herfahren muss, sind selbst bei kurzen Transportentfernungen mindestens zwei Transportfahrzeuge für den Spindeltransport im Einsatz. Im Vergleich zum System mit dem Spindeltank ist →



LELY LOTUS ZETTWENDER

Patentierter Hakenzinken garantieren:

- verbesserte Mähgutaufnahme
- unbeschädigte Grasnarbe
- sauberes Mähgut, weniger Rohasche
- beste Futterqualität

Infos unter: Tel. 08223 401-200;
 Mail: marketing-deutschland@lely.com



innovators in agriculture

www.lely.com

Ernte



→ ein zusätzliches Transportfahrzeug erforderlich. Dadurch wird der Kostenvorteil des Spindelwerfers größtenteils kompensiert. In der Zwischenzeit wird auch für den Maisspindelwerfer ein Nachlaufbunker angeboten. Dieser wird vom Mähdrescher gezogen und am Feldrand durch Hochkippen auf einen bereitgestellten Anhänger übergeladen.

Corn-Cob-Mix stationär sieben

Es ist grundsätzlich möglich, einen hohen Anteil an Spindeln im Mais zu haben. Dies ist die altbewährte CCM-Einstellung. Lohnunternehmer schätzen, dass so bis zu 50 % der Maisspindeln im Korntank landen können. Sollten noch mehr Maisspindeln geerntet werden, müsste der Mähdrescher eigens umgebaut werden (Schüttler, Dreschtrommel, Verwendung grobmaschiger Siebe etc.).

Die Kosten in der Tabelle (S. 37) basieren auf einem 191-kW-Mähdrescher mit einem sechsreihigen Maispfücker mit Unterbauhäcksler und einem Korntankinhalt von 7,3 m³. Der Mähdrescher ist geringfügig modifiziert, und zwar im Bereich des Druschkorbes und durch Verwendung eines grobmaschigeren Eigenbausiebes.

Bei der CCM-Ernte wird die gleiche Druschgeschwindigkeit wie bei der Körnermaisernte erzielt. Bei einem gemessenen Abscheidegrad der Spindel von 31 bis 35 % erhöht sich das Erntevolumen um 15 bis 20 % im Vergleich zur reinen Körnermaisernte. Das bedeutet, dass sich in diesem Ausmaß die mögliche Druschstrecke bis zum Abtanken des CCM-Gemisches reduziert und der Zeitbedarf für das Abtanken aufgrund der schlechteren Fließfähigkeit des CCM-Gemisches steigt. Je nach Rahmenbedingungen verringerte sich die mögliche Flächen-



Selbst gebaute Siebanlage zum Trennen von Korn und Spindel.



Der gezogene Maisspindelernter mit eigenem Motor separiert und bunkert die Spindeln bis zum Überladen. FOTO: BLT WIESELBURG, WERKBILD

leistung des Mähdreschers bei CCM-Ernte um vier bis sieben Prozent. Dies macht 7 bis 10 €/ha aus. Bei einem unterstellten Spindelerntrag von 1 t TM/ha und einem Abscheidegrad von 35 % (64 % des Spindelerntrages verbleiben auf dem Acker) ergibt das Kosten von 19 bis 28 €/t TM.

Am Hof erfolgt die Trennung von Korn und Spindel mit einem Trommelsieb, ähnlich wie es auch für das Sieben von Kompost oder Hackschnitzeln verwendet wird. Das Trommelsieb wird über eine Gosse und eine Förderschnecke beschickt. Der getrennte Abtransport von Korn und Spindel findet mittels Körnerschnecke bzw. Förderband statt. Im untersuchten Betrieb kommen die Körner direkt in eine Nassmaismühle, und die

Spindeln werden auf einen bereitgestellten Kipper geladen. Dieser bringt sie zum Lager bzw. zur Trocknungsanlage. Die Befüllung der Gosse für das CCM erfolgt direkt vom Transportanhänger. Daraus ergeben sich lange Standzeiten des Transportgespannes.

Die Investitionskosten bewegen sich für Selbstbauvarianten inklusive gebrauchter Zuführungsschnecke und gebrauchtem Spindelförderband in einer Größenordnung von 10 000 €. Bei kommerziell hergestellten Siebanlagen ist mit Investitionskosten von rund 45 000 € zu rechnen. Im Durchschnitt können pro Einsatzstunde 50 bis 60 m³ Korn-Spindel-Gemisch gesiebt werden. Je nach jährlicher Auslastung ergeben sich bei der Selbstbauvariante Kosten zwischen 8 und 13 €/t TM und bei der kommerziell hergestellten Siebanlage von 36 bis 70 €/t TM. Die Erhöhung des Abscheidegrades und damit des Spindelanteils im CCM würde wesentlich zur Kostenreduktion beitragen.

Bei sehr geringen Transportentfernungen (ein Kilometer) sind die Transportkosten im Vergleich zu den anderen Systemen relativ gering, da zwar mehr Masse und Volumen

transportiert werden muss, dies aber durch eine bessere Auslastung der für den Körnertransport vorhandenen Fahrzeuge bewerkstelligt werden kann. Bei großer Transportentfernung (zehn Kilometer) ist ein zusätzliches Transportfahrzeug erforderlich, wodurch die Kosten stark steigen.

Mähdreschergezogene Maisspindelernter

In Nordamerika sind bei der Maisspindelernte vom Mähdrescher gezogene Maisspindelernter im Einsatz. Dabei werden die vom Mähdrescher ausgeschiedenen Ernterückstände über ein Förderband einer Abscheideeinrichtung zugeführt, wo die Maisspindel separiert und in einem hochklippbaren Bunker befördert werden. Zum Antrieb des gezogenen Maisspindelernters steht ein eigener Dieselmotor zur Verfügung. Abgetankt wird im Stand durch Hochkippen des Spindelbunkers. Gezogene Maisspindelernter erfordern große Flächen, da ansonsten die Anmähverluste sehr hoch sind. Zu diesem System liegen gegenwärtig noch keine Kostenanalysen vor.

FAZIT: Im Wesentlichen stehen vier verschiedene Systeme zur Maisspindelernte zur Verfügung. Die geringsten Umbauten am Mähdrescher erfordern gezogene Spindelernter. Bei Mähdreschern mit hochklippbaren Spindelbunkern sind in der Regel erhebliche Umbauten erforderlich. Der Maisspindelwerfer kann anstatt des Häckslers montiert werden. Bei der Ernte von Corn-Cob-Mix ist für die Trennung eine Siebanlage erforderlich.

Die Kosten der Spindelernte setzen sich hauptsächlich aus der Reduktion der Flächenleistung des Mähdreschers infolge Spindelernte, dem Abscheidesystem und dem Transport zusammen. In Abhängigkeit von den Investitionskosten, der Auslastung der Abscheidesysteme, den Feldverlusten und der Transportentfernung liegen die Kosten zwischen 56 und 151 €/t TM.

Ohne Trocknung ist die Maisspindel in der Regel nicht lagerfähig.

FRANZ HANDLER, EMIL BLUMAUER, LUKAS SULZBACHER, FRANCISCO JOSEPHINUM, WIESELBURG



Profitieren Sie von unserer Erfahrung

HAWE Düngestrouer, Universalstrouer, Wechselbrückensysteme, Schiebewagen, Tandem- und Tridemfahrwerke, neue Federungssysteme mechanisch oder hydro-pneumatisch.

HAWE-Wester GmbH & Co. KG • Maschinenbau
Zum Turm 16 • 26892 Wipplingen • Tel.: 0 49 66 / 9 18 80 • Fax 0 49 66 / 12 11
www.hawe-wester.de

2.3 „Ernte und energetische Verwertung von Maisspindeln“, Blumauer E., Sulzbacher L., Handler F., 2013

16 Energie Der Bauer · 25. September 2013

Wir gratulieren

ÖR Friedrich Schlager

Seinen 70. Geburtstag feierte kürzlich ÖR Friedrich Schlager aus Wallern. Schlager stellte seinen einstigen Schweine- zucht- und Mastbetrieb zum Marktfruchtbetrieb mit Pferdepensthaltung um. Der ehemalige Bürgermeister von Wallern war viele Jahre Obmann der Bezirksbauernkammer Grieskirchen und auch Obmann des Bäuerlichen Waldbesitzerverbandes Grieskirchen sowie Obmann-Stv. des BWV OÖ. Wichtig waren ihm die Erhaltung der bäuerlichen Strukturen im Bezirk, wo die Betriebe durch bescheidene Flächenausstattung mit starker Veredelung gekennzeichnet sind.

Schulen

abz Lambach

Willkommen zurück in der Schule hieß es für 400 Schüler der drei Fachrichtungen Landwirtschaft, Ländliches Betriebs- und Hausmanagement und Pferdewirtschaft am Agrarbildungszentrum Lambach. 150 davon sind neu ins abz eingezogen und starten in fünf ersten Klassen ihre Ausbildung, diese wurden aus 200 angemeldeten ausgewählt.



Ernte und energetische Verwertung von Maisspindeln

Projekt der Leaderregion und Energiemodellregion Wels-Land: Stellen Maisspindeln eine Alternative zu Hackschnitzeln als Brennstoff dar bzw. erhöht ihre Verwertung die Wertschöpfung landwirtschaftlicher Betriebe?

Die Leaderregion Wels-Land LEWEL hat in ihrer Entwicklungsstrategie das Aktionsfeld Energie verankert und ist Träger des Projekts „Energiemodellregion Wels Land“. 14 Gemeinden der Leaderregion Wels-Land sind vom österreichischen Klima- und Energiefonds als Klima- und Energiemodellregion anerkannt. Im Umsetzungskonzept der Energiemodellregion Wels-Land sind die Themen „Energiewirtschaft“ und „Energetische Verwertung von Agrarnebenprodukten“ als Schwerpunkte identifiziert worden.

Aufgrund des hohen Maisanteils in der Region sind Maisspindeln von besonderem Interesse. Ein Leitprojekt der Energiemodellregion Wels-Land befasst sich mit der Frage, wie weit Maisspindeln eine Alternative zu Hackschnitzeln als Brennstoff darstellen und wie ihre Verwertung die Wertschöpfung landwirtschaftlicher Betriebe erhöhen kann. Beteiligte im Leitprojekt sind das Lehr- und Forschungszentrum Francisco Josephinum aus Wieselburg und das Josephinum Research, welche als wissenschaftliche Projektpartner des von der FFG geförderten Projekts „Grundlagenuntersuchung zur Verwertungsmöglichkeit von Maisspindeln“ tätig sind.

Als Unternehmenspartner ist der oberösterreichische Heizkesselhersteller Hargassner in das FFG-Projekt eingebunden. Bei der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) handelt es sich um eine nationale Förderungsinstituti-



Die Verwertung von Maisspindeln wurde in einem Versuch getestet – gegen die Feuchtigkeit gilt es Lösungen zu finden. BLUMAUER

on für die unternehmensnahe Forschung und Entwicklung in Österreich.

Ernte und Lagerversuch bei Familie Lachmair/Steinhaus

Landwirtschaftlicher Partner ist die Familie Johann Lachmair aus Steinhaus bei Wels, auf deren Hof heuer ein Ernte- und Lagerversuch stattfindet. Die Familie Lachmair betreibt einen landwirtschaftlichen Betrieb mit den Betriebsschwerpunkten Schweinehaltung und Lohndrusch.

Sie verfolgt das Thema „Maisspindeln“ schon länger und hat damit bereits Erfahrungen gesammelt.

Nach ersten positiven Selbstversuchen vor drei Jahren mit zugekauften Maisspindeln zum Verbrennen in der eigenen Hackgutanlage begann sie 2012 selbst Spindeln zu ernten.

Für die Ernte 2013 hat Johann Lachmair einen Mähdescher mit einem Bunkersystem für

die Maisspindelabtrennung angeschafft.

Das Lehr- und Forschungszentrum Francisco Josephinum aus Wieselburg und das Josephinum Research werden die heurige Maisspindelerte wissenschaftlich begleiten und die gewonnenen Erkenntnisse veröffentlichen. Bisherige eigene Untersuchungen bestätigen, dass die Maisspindel bei der Ernte deutlich feuchter als das Maiskorn ist.

Somit gilt es, kostengünstige Lösungen für die Trocknung der Maisspindel näher zu beleuchten.

In der derzeitigen Phase ist das Projekt auf dem besten Weg, den Landwirten aus der Region neue Möglichkeiten zur energetischen Verwertung des agrarischen Nebenprodukt Maisspindeln zu zeigen.

EMIL BLUMAUER
LUKAS SULZBACHER
FRANZ HANDLER
UTE HAAGE
NORBERT ELLINGER

2.4 “Logistics and costs of harvesting of corn cobs”, Handler F., Sulzbacher L., Blumauer E., 2014

Proceedings 4. Mitteleuropäische Biomassekonferenz, 15.-18. 1. 2014, Graz, S. 198 (Poster).

Logistics and costs of harvesting corn cobs

Franz Handler
BLT Wieselburg, Ifz Francisco Josephinum
Rottenhauser Straße 1
3250 Wieselburg, Austria
franz.handler@josephinum.at
<http://www.josephinum.at/>

Co-Authors: Lukas Sulzbacher, Emil Blumauer



The poster analyzes working time requirement, logistics and costs of three procedures for harvesting corn cobs.

Procedure 1 bases on an adapted combine harvester, which collects the corn cobs in a separate tank. The cob tank is unloaded into a trailer. Procedure 2 separates the cobs by means of sieves and fan. A blower conveys the cobs into a parallel driving trailer. The separation device is mounted on the combine harvester instead of the chopper. The combine harvester of procedure 3 is equipped with special sieves that let pass kernels as well as cobs. Both are collected in the grain tank. Kernels and cobs are separate by means of a drum screen before storage.

The determined bulk density of the corn cobs ranges from 87 to 138 kg DM/m³ depending on particle size and ears content. The proportion of ears mainly depends on the corn variety and harvesting machines. Normally a high proportion of ears in the harvested cobs is related with high cobs losses during harvest.

Table 1 shows the costs for harvesting corn cobs. The costs contain the fixed and variable machinery costs and the labor costs for the separation of the cobs and their transport to the storage. Depending on the capability, the investment costs and the annual utilization of the separation system the costs vary within a wide range. The cheapest separation system is used in procedure 2. However, the transport costs of procedure 2 are relatively high because a tractor with trailer must follow the combine harvester during the complete harvest. In procedure 3 two different drum sieves are calculated. The cheaper version is a self-built prototype by farmers. The more expensive version is a commercially available drum screen for compost. Widely the total costs for harvesting corn cobs are in the same range for all procedures except the cheap version of procedure 3 is cheaper for short haul distances.

	Procedure 1	Procedure 2	Procedure 3	
			Investment in equipment for separation of kernels and cobs	
			10.000 €	45.000 €
Separation of the cobs ¹ [€/t DM]	62 - 74	21 - 44	27 - 41	55 - 98
Transport 10 km haul distance [€/t DM] (1 km haul distance)	37 - 45 (19 - 24)	48 - 63 (35 - 46)	50 - 63 (6 - 8)	50 - 63 (6 - 8)
Total for separation and transport - 10 km haul distance [€/t DM] (1 km haul distance)	99 - 119 (81 - 98)	69 - 107 (56 - 91)	77 - 104 (33 - 49)	105 - 151 (61 - 106)

Table 1: Total costs for harvesting corn cobs (excl. VAT)

¹ Annual utilization of the separation 150 - 300 h, average plot size 5 ha, yield kernel 10 t DM/ha, useful life 10 years, harvested corn cobs: procedure 1 1.0 t DM/ha, procedure 2 0.9 t DM/ha, procedure 3 0.36 t DM/ha; DM ... dry matter

2.5 „Lagerung und Trocknung von Maisspindeln“, Sulzbacher L., 2014

Mais - Die Fachzeitschrift für Spezialisten, Heft 03/2014, S.120.

TECHNIK

Lagerung und Trocknung von Maisspindeln

Da die Ernte zeitlich nicht immer mit der Verwertung der Maisspindeln übereinstimmt, ist die Lagerung größerer Mengen oftmals zwingend notwendig. Während der Lagerung von feuchter Biomasse kommt es durch die Stoffwechsellätigkeit in lebenden Pflanzenzellen und durch das Einwirken von Bakterien, Pilzen und tierischen Schaderregern zu Materialabbau und maßgeblichen Qualitätsverlusten. Weitere Folgen dieser biologischen Prozesse sind die Bildung von CO₂ und Wasser sowie die Entwicklung von Wärme in der Schüttung.

Zur Erhebung des Lagerverhaltens von Maisspindeln wurden experimentelle Untersuchungen bei unterschiedlichen Bedingungen geführt. Wichtige Untersuchungsfragen waren hierbei

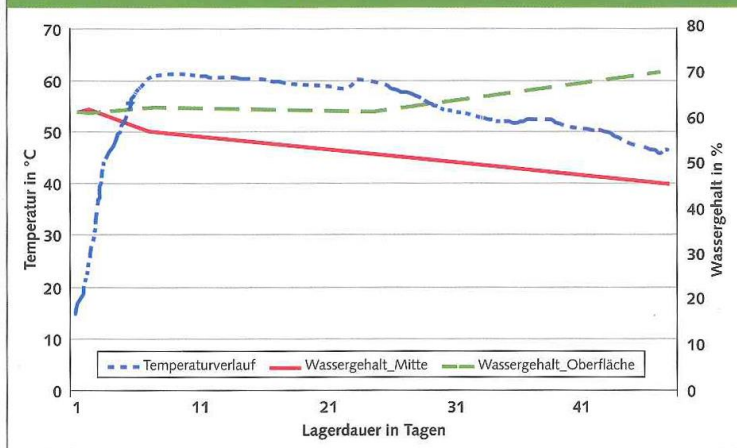
- die Eigenerwärmung der Maisspindeln während der Lagerung,
- der Substanzabbau und die Trockenmasseverluste,
- der Trocknungsverlauf des Lagermaterials und
- die Schimmelbildung.

Die Qualität des Lagergutes wird maßgeblich durch die Temperaturentwicklung im Lagerhaufen und den Trocknungserfolg bestimmt. Die folgende Abbildung zeigt den Temperaturverlauf sowie den Trocknungsverlauf eines Lagerungsversuches mit Maisspindeln in Oberösterreich im Jahr 2013. Die Lagerung erfolgte überdacht auf einer betonierten Fläche. Zum Zeitpunkt der Einlagerung wiesen die Maisspindeln einen Wassergehalt von rund 55 Prozent auf.

Lagerungsversuch mit Maisspindeln, Oberösterreich 2013

Das Ergebnis der Temperaturentwicklung (Abbildung) ist typisch für die Lagerung von feuchter Biomasse und deckt sich mit Ergebnissen bei der Lagerung von Holzhackgut aus ähnlichen Versuchsdurchführungen. Die rasche Erwärmung wenige Tage nach der Einlagerung ist auf aerobe Stoffwechselprozesse von Mikroorganismen zurückzuführen. Während im Bereich des Temperaturanstieges vor allem mesophile Organismen aktiv sind, werden diese bei weiterer Erwärmung von thermophilen Or-

Lagerungsversuch mit Maisspindeln, Oberösterreich 2013



ganismen abgelöst. Die Erwärmung auf rund 60 °Celsius war nach 21 Lagerungstagen rückläufig, was darauf zurückzuführen ist, dass die thermophilen Organismen bei Temperaturen um 60 °Celsius absterben. Die Trocknungserfolge in den unbelüfteten Lagerhaufen sind vor allem auf die Eigenerwärmung zurückzuführen, die eine freie Konvektionsströmung im Lagerhaufen aufgrund des Dichteunterschiedes zwischen der Luft in der Lagerung und der Außenluft in Gang setzt. Durch die teilweise feine Struktur der Maisspindeln ist diese stark gebremst, weshalb auch die Abtrocknung gering war. Zudem wurden auch besonders am Haufenboden und etwas unterhalb der Oberfläche Bereiche beobachtet, in denen keine Trocknung, sondern eine Befeuchtung erfolgte. Diese sogenannten Kondensationsbänder wiesen sehr hohe Was-

sergehalte und ein verstärktes Pilzwachstum auf. Zudem traten bei der Lagerung von Maisspindeln in Abhängigkeit des Wassergehaltes auch Trockenmasseverluste von 4 bis 33 Prozent auf. Sehr gute Erfolge hinsichtlich der Konservierung der Materialqualität konnten bei der Verwendung eines semipermeablen Vlieses zur Abdeckung im Freien und einem Wassergehalt bei der Einlagerung von 25 Prozent festgestellt werden. Bei diesem Lagerverfahren konnte auch eine Abtrocknung unterhalb der Oberfläche im Bereich des „Schwitzkopfes“ erzielt werden. Auch die Bildung von Kondensationsbändern war trotz einer Abtrocknung von nahezu 10 Prozent in der Lagerhaufenmitte kaum zu beobachten.

Fazit

Durch die Nachtrocknung, idealerweise mit Abwärme einer Biogasanlage oder eines Heizkraftwerkes, lässt sich die Qualität der Maisspindel für eine anschließende thermische Verwertung verbessern und vermindert auch das Gesundheitsrisiko beim Hantieren mit verschimmeltem Lagergut. Für eine stoffliche Anwendung, insbesondere bei der Verwendung als Tiereinstreu, ist eine Trocknung gleich nach der Ernte unumgänglich.



Trocknung verbessert die Qualität.

Lukas Sulzbacher, BLT Wieselburg,
AT 3250 Wieselburg

<<

2.6 „Technik und Kosten der Ernte von Maisspindeln – Umbauten gestalten sich je nach System unterschiedlich aufwendig“, Handler F., Blumauer E., Sulzbacher L., 2014

Mais – Die Fachzeitschrift für Spezialisten, Heft 03/2014, S.118-119 und S. 121.

TECHNIK



Die Reinheit der Spindeln hängt wesentlich vom Erntesystem bzw. dessen Einstellung und der Sorte ab.

Fotos: Autoren

Technik und Kosten der Ernte von Maisspindeln

Umbauten gestalten sich je nach System unterschiedlich aufwendig

Ausgehend von der Südsteiermark hat es in den vergangenen Jahren in Österreich zahlreiche Versuche zur Ernte von Maisspindeln gegeben. Hauptmotivation ist die Verwendung zur Verfeuerung als Alternative zu Hackschnitzeln. Die Anforderungen hierfür sind in der ÖNORM C 4003 festgelegt. Andere erfolgreich erprobte Verwertungsmöglichkeiten sind beispielsweise Einstreu in der Geflügel- und Kleintierhaltung, Ölbindemittel, Poliermittel, Dämmstoff und in der Plattenindustrie.

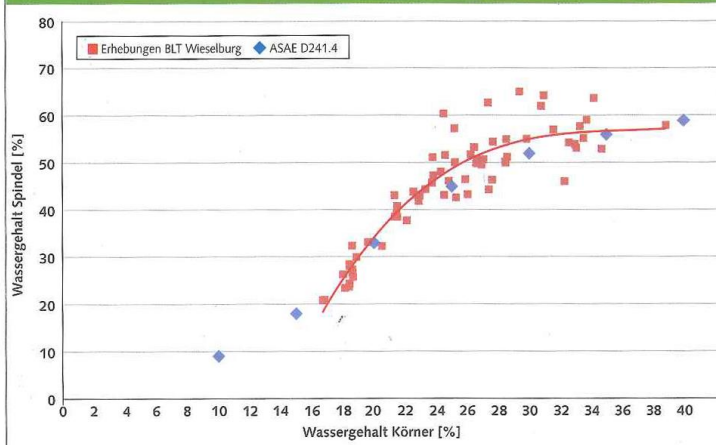
Franz Handler, Emil Blumauer und Lukas Sulzbacher, Wieselburg

Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Ernte ist das Lösen der Lieschen von der Spindel. Dies hängt von der Bauart und Einstellung der Erntemaschine, der Sorte und vom Erntezeitpunkt ab. Lösen sich die Lieschen von den Spindeln nicht, kommt es zu erhöhten Spindelverlusten (> 50 Prozent) und zu einem erhöhten Lieschenanteil in den geernteten Spindeln.

Ein weiteres Problem ist der Wassergehalt der Maisspindel. Wie Abbildung 1 zeigt, ist er durchwegs höher als im Maiskorn, wobei der Unterschied mit zunehmender Reife abnimmt. Die große Streuung deutet auf einen Einfluss der Sorte und des Standortes hin. Bei einem Wassergehalt von über 30 Prozent kommt es innerhalb weniger Tage zu Schimmelbildung und Erwärmung im Lager. Die Spindeln müssen entweder sofort getrocknet oder einer geeig-

Abb. 1: Zusammenhang zwischen dem Wassergehalt (Nassbasis) im Maiskorn und der Maisspindeln

Auf Basis eigener Erhebungen und Werten einer Norm in den USA





Mähdrescher mit aufgebautem Spindeltank.

neten Großfeuerung zugeführt werden. Auch bei Wassergehalten von 15 bis 30 Prozent kommt es zu Schimmelbildung, weshalb auch eine Trocknung erforderlich ist, wenn die Spindeln stofflich genutzt werden sollen.

Der Spindelanteil am Kolben ohne Lieschen liegt im Bereich von 9 bis 13 Prozent der Trockenmasse. Die Schüttdichte der Maisspindeln bewegt sich in einer Größenordnung von 87 bis 138 kg TM/m³, abhängig vom Zerkleinerungsgrad und der Reinheit. Im Wesentlichen stehen in Österreich drei verschiedene Systeme zur Maisspindelernte im Einsatz, die von innovativen Landwirten und Werkstätten entwickelt wurden:

- Mähdrescher mit hochklippbarem Spindeltank,
- Mähdrescher mit eingebautem Maisspindelwerfer,
- Ernte von Corn-Cob-Mix (CCM) mit Spindelabtrennung über ein Trommel-sieb am Hof.

Mähdrescher mit Spindeltank

Beim Mähdrescher mit Spindeltank werden die Spindeln über Siebe von den Lieschen und Strohteilen abgetrennt. Nach der Passage einer in ihrer Intensität verstellbaren Zerkleinerungseinrichtung werden die Maisspindeln über einen Elevator oder Gebläse in den bis zu 10 m³ fassenden Spindeltank befördert. Der Spindeltank wird durch Hochkippen auf bereitgestellte Anhänger entleert.

Aufgrund des zusätzlichen Gewichtes und Leistungsbedarfes sowie der begrenzten Kapazität des Spindelerntesystems kann die Fahrgeschwindigkeit beim

Dreschen absinken. Zusätzlicher Zeitbedarf ist für das Abtanken der Maisspindeln einzuplanen, da ein Überladen während der Fahrt nicht möglich ist. Dies hat zur Folge, dass die mögliche Flächenleistung des Mähdreschers abfällt. Weiterentwicklungen der Maschinen konnten die Leistungseinbußen auf unter 5 Prozent minimieren.

Mähdrescher mit Maisspindelwerfer

Der Spindelwerfer wird anstelle des Strohhäckslers montiert. Über Siebe und Gebläse werden die Spindeln abgetrennt. Ein Wurfgebläse mit integrierter Zerkleinerungseinrichtung fördert die Spindeln auf einen neben dem Mähdrescher fahrenden Anhänger.

Die Rüstzeit erhöht sich durch das hydraulische Aus- bzw. Einklappen des Auswurfrohres des Spindelwerfers. Die Fahrgeschwindigkeit beim Dreschen mit und ohne Maisspindelwerfer ist gleich. Die mittlere Wendezeit am Vorgewende erhöht sich durch das nebenherfahrende Spindeltransportfahrzeug. Beim Anmä-



Mähdrescher mit Spindelwerfer.

hen eines Schlages könnten die Spindeln auch über den Traktor hinweg auf den Anhänger befördert werden. Um Zeit zu sparen, werden die Spindeln bei der ersten Umfahrt meist nicht geerntet. Die Flächenleistung des Mähdreschers mit Maisspindelwerfer wird je nach Schlaggröße um 1 bis 5 Prozent vermindert. Die Kosten für die Spindelabscheidung sind aufgrund der geringeren Investitionskosten und Schlagkraftverringering des Mähdreschers deutlich geringer als beim System mit dem Spindeltank. Da während der Spindelernte ständig ein Transportfahrzeug neben dem Spindelwerfer herfahren muss, stehen selbst bei kurzen Transportentfernungen mindestens 2 Transportfahrzeuge für den Spindeltransport im Einsatz. Dies bedeutet, dass im Vergleich zum System mit dem Spindeltank ein zusätzliches Transportfahrzeug erforderlich ist. Dadurch wird der Kostenvorteil des Spindelwerfers größtenteils kompensiert.

Inzwischen wird auch für den Maisspindelwerfer ein Nachlauf-Bunker angeboten. Dieser wird vom Mähdrescher gezogen und am Feldrand durch Hochkippen auf einen bereitgestellten Anhänger überladen.



Kamps SEPPI M. Deutschland GmbH - Unterer Hammer 3 - D-64720 Michelstadt
Tel.: 06061 968 894 0 - info@kamps-seppi.de - www.kamps-seppi.de

Ernte von Corn-Cob-Mix (CCM)

Durch die CCM-Einstellung des Mähdreschers und den Einbau entsprechender Siebe können laut Lohnunternehmer bis zu 50 Prozent der Maisspindeln im Korntank gesammelt werden. Soll ein höherer Anteil geerntet werden, müsste der Mähdrescher eigens umgebaut (Schüttler, Dreschtrommel, Verwendung grobmaschiger Siebe etc.) werden.

Bei der CCM-Ernte wird die gleiche Druschgeschwindigkeit wie bei der Körnermaisernte erzielt. Bei einem Abscheidegrad der Spindeln von 31 bis 35 Prozent erhöht sich das Erntevolumen im Vergleich zur reinen Körnermaisernte um 15 bis 20 Prozent. Das bedeutet, dass sich in diesem Ausmaß die mögliche Druschstrecke bis zum Abtanken des CCM-Gemisches reduziert und der Zeitbedarf für das Abtanken aufgrund der schlechteren Fließfähigkeit des CCM-Gemisches steigt. Je nach Rahmenbedingungen verringert sich die mögliche Flächenleistung des Mähdreschers um 4 bis 7 Prozent.

Am Hof erfolgt die Trennung von Korn und Spindel mit einem Trommelsieb, ähnlich wie es auch für das Sieben von Kompost oder Hackschnitzel verwendet wird. In den untersuchten Betrieben können pro Stunde 50 bis 60 m³ Korn-Spindel-Gemisch gesiebt werden. Bei sehr geringen Transportentfernungen (1 km) sind die Transportkosten im Vergleich zu den anderen Systemen relativ gering, da zwar mehr Masse und Volumen transportiert werden muss, dies aber durch eine bessere Auslastung der für den Körnertransport vorhandenen Fahrzeuge bewerkstelligt werden kann. Bei der großen Transportentfernung (10 km) ist ein zusätzliches Transportfahrzeug erforderlich, wodurch die Kosten stark steigen (Tabelle).

Vom Mähdrescher gezogene Maisspindelernter

In Nordamerika bietet die Firma Vermeer vom Mähdrescher gezogene Maisspindelernter an. Dabei werden die vom Mähdrescher ausgeschiedenen Ernterückstände über ein Förderband einer Abscheideeinrichtung zugeführt, wo die Maisspindeln separiert und in einem hochklippbaren Bunker befördert werden. Der Antrieb erfolgt über einen eigenen Dieselmotor. Abgetankt wird durch Hochkippen des Spindeltanks. Gezogene



Selbst gebaute Siebanlage zum Trennen von Korn und Spindel.

Arbeiterledigungskosten³ der Maisspindelernte (exkl. MwSt.)

	System Spindeltank	System Maisspindelwerfer	System CCM-Ernte und Trommelsieb	
Investitionskosten [€]	41.200	24.000	10.000 ¹	45.000
Abscheiden der Spindel ² [€/t TM]	30–69	21–44	27–41	55–98
Transportkosten [€/t TM] bei 10 km Transportentfernung (1 km Feld-Hof-Entfernung)	37–45 (19–24)	48–63 (35–46)	50–63 (6–8)	50–63 (6–8)
Gesamtkosten bis Lager (10 km Transportentfernung) [€/t TM]	67–113	69–107	77–104	105–151

¹ Eigenbau
² Jährliche Auslastung der Spindelerntertechnik 150 bis 300 h, Kornertrag 10 t TM/ha Korn, Nutzungsdauer 10 Jahre, geerntete Maisspindeln: 1 t TM/ha mit Maisspindelbunker, 0,9 t TM/ha mit Maisspindelwerfer, 0,36 t TM/ha bei CCM-Ernte und Abtrennung über Trommelsieb
³ Fixe und variable Maschinenkosten sowie Lohnkosten

Maisspindelernter erfordern große Flächen, da ansonsten die Anmähverluste sehr hoch sind.

Zusammenfassung

Ohne Trocknung sind die Maisspindeln in der Regel nicht lagerfähig.

Im Wesentlichen stehen vier verschiedene Systeme zur Maisspindelernte zur Verfügung. Die geringsten Umbauten am Mähdrescher erfordern gezogene Spindelernter. Bei Mähdreschern mit hochklippbaren Spindeltanks sind in der Regel erhebliche Umbauten erforderlich. Der Maisspindelwerfer kann anstatt des Häckslers montiert werden. Bei der Ernte

von Corn-Cob-Mix ist für die Trennung eine Siebanlage erforderlich.

Die Kosten der Spindelernte setzen sich hauptsächlich aus der Reduktion der Flächenleistung des Mähdreschers infolge Spindelernte, dem Abscheidesystem und dem Transport zusammen. In Abhängigkeit von den Investitionskosten, der Auslastung der Abscheidesysteme, der Feldverluste und der Transportentfernung liegen die Kosten zwischen 49 und 151 Euro/t TM. <<

■ KONTAKT ■ ■ ■ ■

Franz Handler, Emil Blumauer,
Lukas Sulzbacher
BLT Wieselburg, AT 3250 Wieselburg
Telefon: +43 (0)7416 52175615
Telefax: +43 (0)7416 52175645
franz.handler@josephinum.at

www.maisspindelgranulat.de
Maisspindelprodukte

2.7 „Maisspindeln für die energetische Nutzung – Eigenschaften und Herausforderungen“, Rathbauer J., Sulzbacher L., 2014

Vortrag bei der 4. Mitteleuropäischen Biomassekonferenz, Session Brennstoffcharakteristik, 15. – 18. 01.2014, Graz

Maize cobs for energetic use – Properties and challenges

Josef Rathbauer

BLT Wieselburg, HBLFA Francisco Josephinum, Rottenhauserstrasse 1, AT 3250 Wieselburg

josef.rathbauer@josephinum.at, <http://www.josephinum.at/blt.html>

Co-Author: Lukas Sulzbacher

Josephinum Research, Rottenhauserstrasse 1, AT 3250 Wieselburg

lukas.sulzbacher@josephinum.at

Introduction

Maize cobs are more and more under consideration as competitive agricultural solid biofuel. Especially in regions which are dominated by arable land, with a low forest percentage this biomass source will be used for the production of heat in biomass boilers. In Austria approximately 200.000 ha of maize for corn production are cultivated [1]. As rough estimation 1 t of maize cobs per ha can be harvested. This makes an overall potential of 200.000 t per year of maize cobs for the use as raw material and for energy purposes.

Ripening and development of the water content

The water content of the cobs is nearly the double of the kernels. The kernels are affecting like a tight cover and the water of the cobs cannot evaporate. In figure 1 the water contents of the kernels and the cobs at different harvest dates are shown. Under the local weather conditions in the year 2009 the moisture content of the cobs was nearly twice the respective value of the kernels. Not before the end of October a strong decrease of the water content of the cobs has been observed.

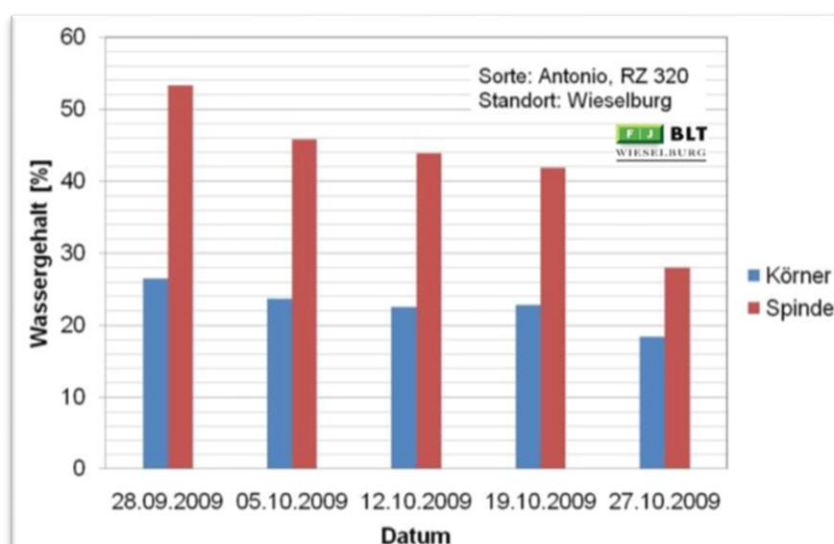


Figure 1: Comparison of the moisture content of the kernels and the cobs at different harvest dates [2]

Harvest Systems

Four different types of maize cobs were available and have been analyzed. As by-product of the maize seeds production very pure cobs are available. The whole maize ear is harvested with a maize-picker-husker. After artificial drying the maize ear is shelled, the kernels and the cobs are separated. The water content of these cobs is in the height of approximately 12 to 14 weight-%. These cobs have more or less the full length and are free of husks. In figure 2 such a maize cob sample is shown.



Figure 2: Maize cobs as by-product of the maize seeds production

A rather advanced harvesting system produces maize cobs as illustrated in figure 3. This system has been developed by Mr. Tschiggerl in South Styria. In average 90 weight-% on dry matter basis are maize cobs. The portion of the husks is rather low, in the range of 0,9 to 4,8 weight-%, depending on the cultivar and stage of maturity [2].



Figure 3: Maize cobs harvested parallel to the kernels with the “Tschiggerl-System”

From the Biso Schrattecker Company the “Spindelwerfer-System” is offered. The separation of the maize cobs and the husks has to be improved. A sample from harvest tests under practical conditions in Upper Austria is shown in figure 4.



Figure 4: Maize cobs harvested parallel to the kernels with the “Biso-Spindelwerfer-System”

The last example shows maize cobs which have been harvested as corn cob mix. The kernels and the broken maize cobs are collected in the kernel tank of the combined harvester. As after harvest treatment this mixture is sieved, the cobs are separated from the smaller kernels and fine particles. The maize cobs are rather pure (see figure 5).



Figure 5: Separated cobs harvested as Corn-Cob-Mix (CCM) with a combined harvester

ÖNORM C 4003 [3]

This Austrian standard ÖNORM C 4003: Maize cob – Requirements and test methods has been developed on the basis of the European standard EN 14961-1: 2010-04-01 Solid Biofuels – Fuel specifications and classes – Part 1: General requirements. The included general master table has been adapted, the most meaningful parameters have been chosen. The maize cobs are traded in bulk. The normative parameters are reduced to as few as possible. These parameters are the length, the amount of fines (particles < 3,15 mm), portion of husks and stalks, water content, ash content, content of nitrogen, chlorine and sulphur. The so called informative parameters are the ash melting behaviour (deformation temperature, DT), the bulk density, the net calorific value and the contents of major and minor elements.

Analysis methods

In table 1 the standards of the analysis methods are listed which have to be used for the determination of the respective property.

Table 1: Analysis parameters and their corresponding determination standard

	Parameter	Analysis standard
normative	Length [mm]	Manual measurement
	Amount of fines < 3,15 mm [weight-%]	EN 15149-1
	Portion of husks and stalks [weight-%]	Description in ÖNORM C 4003
	Moisture content [weight-% as received]	EN 14774-2
	Ash content [weight-% of dry basis]	EN 14775
	Nitrogen content [weight-% of dry basis]	EN 15104
	Chlorine and sulphur content [weight-% of dry basis]	EN 15289
informative	Ash melting behaviour [°C], Deformation temperature (DT)	CEN/TS 15370-1
	Bulk density as received [kg.m ⁻³]	EN 15103
	Net calorific value on dry basis [MJ.kg ⁻¹]	EN 14918
	Content of major and minor elements [mg.kg ⁻¹]	EN 15290, EN 15297

49 different maize cob samples have been analysed so far. In the following table no single values are listed. For the respective parameter the number of analysed samples, the average value, the minimum and the maximum and the limit values of the ÖNORM C 4003 are registered.

Table 2: Analysis results versus the limits of the ÖNORM C 4003

Parameter	Limits	Analysis samples	Average	Minimum	Maximum
Amount of fines < 3,15	≤ 1,0 w-%	25	2,1	0,4	11,1
Portion of husks and stalks	≤ 5,0 w-% ≥ 5,0 w-%	11	6,6	0,2	18,2
Moisture content	≤ 20 w-% 20 % < x ≤ 30 w-% > 30 w-%	49	35,7	14,5	63,8
Ash content	≤ 4,0 w-%	44	1,91	1,09	3,56
Nitrogen content	≤ 0,70 w-% ≤ 1,50 w-%	4	0,44	0,08	0,79
Sulphur content	≤ 0,10 w-%	4	0,029	< 0,02	0,048
Ash melting behaviour					
SST		34	732	525	952
DT	---	34	818	650	1125
HT		34	1075	935	1343
FT		34	1160	990	1408
Bulk density	---	7	173	116	244
Net calorific value	---	44	17,56	17,26	17,83

Further analysis will be carried out concerning the content of major and minor elements.

Summary and Conclusion:

- In general the set limits for the respective parameter in the Austrian Standard ÖNORM C 4003 are suitable for the characterisation of the maize cobs.
- In the maize production regions of western Lower Austria and Upper Austria the biggest challenge is to get the maize cobs dry enough for avoiding storage losses. In most cases an artificial drying is necessary.
- In the case that the portion of husks is over 5 % a suitable feeding system from the storage to the biomass boiler is needed.
- The ash melting behaviour is varying heavily. It is challenging the boiler manufacturers.

Literature:

- [1] Statistisches Jahrbuch 2013, Statistik Austria, Kapitel 18: Pflanzliche Produktion; http://www.statistik-ustria.at/web_de/services/stat_jahrbuch/index.html 131030.
- [2] Handler, F.; Blumauer, E.; Kindler, A.; Holzerbauer, A.: Analysis of a procedure for harvesting maize cobs; Page 313 – 318, Proceedings of the Agricultural Engineering Conference, VDI-Verlag, ISBN 978-3-18092111-2, Düsseldorf, 2010.
- [3] ÖNORM C 4003: 2012-08-01 Maize cob – Requirements and test methods - National amendment referring to ÖNORM EN 14961-1 and ÖNORM EN 15234-1.

2.8 “Maize cobs for energetic use – properties and challenges as fuel for small scale combustion”, Sulzbacher L., Rathbauer J., 2014

Vortrag bei der AgEng 2014 – International Conference for Agricultural Engineering, 06. – 10. Juli 2014, Zürich.

Maize cobs for energetic use – Properties and challenges as fuel for small scale combustion

Lukas Sulzbacher, Josephinum Research, AT-3250 Wieselburg

Dr. Josef Rathbauer, BLT Wieselburg, HBLFA Francisco Josephinum, AT-3250 Wieselburg

Abstract

Recently, there has been increased interest and research in the bioenergy sector for the development of new energy resources to meet the demand of modern standard of living. While there are numerous types of biomass, certain characteristics make some biomass materials more desirable for energy production. Moisture content, chemical composition, particle size, energy content as well as energy density of the feedstock are the major factors that should be considered in the selection and evaluation of a desirable fuel for energy production. In addition to other agricultural residues, the use of maize cobs as a biomass feedstock offers promising possibilities for renewable energy production and is getting more and more under consideration as competitive agricultural solid biofuel. Especially in regions which are dominated by arable land, with a low forest percentage, this biomass source might be used for the production of heat in biomass boilers. In Austria approximately 200.000 ha of maize for maize kernel production are cultivated. As rough estimation 1 t of maize cobs per ha can be harvested. This makes an overall potential of 200.000 t per year of maize cobs for the use as raw material and for energy purposes. Based on the master table of the European standard EN 14961-1:2010 Solid Biofuels – Fuel Specifications and Classes – Part 1: General Requirements an Austrian standard has been developed. The specific Austrian standard is titled: ÖNORM C 4003: Maize cob – Requirements and test methods. This document comprises as many as necessary but as few as possible normative and informative parameters and limits. A national funded research project works on procedural analyses of maize cobs usability. Within this project, a comprehensive fuels evaluation based on fuel analyses according to ÖNORM C 4003: Maize cob – Requirements and test methods with nearly 50 different maize cob samples, as well as combustion trials at two different biomass combustion plants have been performed. While the net calorific value of maize cobs based on dry matter is comparable to wood fuels, the energy density is significantly lower, which influences the fuel transport and storage as well as the feeding system of the combustion plant. Beside comparably high contents of N, S and Cl, the adverse ash melting behavior of maize cobs put high requirements on fuel bed temperature control to avoid slagging problems. Special respect must be regarded to the total dust emissions. Due to their high level further filter concepts will be needed to reach the emission targets of applicable regulations. In summary, it can be stated that maize cobs could be a desirable alternative to wood fuels. Especially in small scale biomass boilers, further research and development is needed to adapt the existing thermochemical conversion technologies and to gain low dust emissions as well as an acceptable slagging behavior.

Keywords: maize cobs, combustion, biomass, bioenergy

1. Introduction

Presently, the market of fossil fuels is unstable and their prices are constantly rising. As a consequence there is an increased awareness for CO₂-neutral biomass as fuels for heat production. Furthermore, the European Commission recently presented the 2030 policy framework for climate and energy, where expectations are that by 2030, the share of renewable energy will be of at least 27% and biomass can play an important role

[1]. In this respect, the recent European policies on biomass have driven consumption of solid biofuels up to new records every year. However, the growing competition for woody biomass in the heating sector, sawmills and pulp industries are increasing the price of wood [2]. Therefore the utilization of alternative, so called “new” biomass fuels in combustion processes, covering energy crops and agricultural residues, has gained rising relevance. Within the broad variety of agricultural residues, maize cobs represent an interesting source of biomass with high potential in many European countries. New developments in harvesting technology have created the possibility to harvest maize cobs as a by-product of maize harvesting. Since that time maize cobs are more and more under consideration as competitive agricultural solid biofuel. Especially in regions which are dominated by arable land, with a low forest percentage, this biomass source might be used for the production of heat in biomass boilers. In Austria approximately 200.000 ha of maize for corn production are cultivated [3]. As rough estimation 1 t of maize cobs per ha can be harvested. This makes an overall potential of 200.000 t per year of maize cobs for the use as raw material and for energy purposes.

Depending on the cultivation and harvesting technology, the corn variety and the climatic conditions, maize cobs have several varying characteristics when compared with other agricultural biomass feedstock. The Austrian standard ÖNORM C 4003: Maize cob – Requirements and test methods has been developed on the basis of the European standard EN 14961-1: 2010-04-01 Solid Biofuels – Fuel specifications and classes – Part 1: General requirements. This national standard includes a general master table with the most relevant quality parameters. These parameters are the length, the amount of fines (particles < 3,15 mm), portion of husks and stalks, water content, ash content, content of nitrogen, chlorine and sulphur. The so called informative parameters are the ash melting behavior (deformation temperature, DT), the bulk density, the net calorific value and the contents of major and minor elements [4].

There are several benefits from expanding the spectrum of biomass raw materials used in small-scale combustion systems. Agricultural residues have a huge potential due to their wide range and large quantities produced annually. Furthermore the use of agricultural residues can provide an additional source of income for farmers and more job opportunities for green jobs and agricultural engineering industry. Beside the economic benefits, the utilization of agricultural residues show the ecological potential of restoring degraded lands and preventing soil erosion [5].

While small-scale wood combustion systems have been well developed and reached a high quality level in Europe, the utilization of agricultural residues as a fuel is an ongoing challenge. The elemental composition of new biomass fuels is often rich in alkali metals as well as N, S, and Cl [6]. Compared to wood fuels, the combustion of these new biomass fuels of agricultural origin lead to higher NO_x, HCl and SO₂ emissions and may also cause the formation of dioxins and furans [7]. Due to higher contents of critical inorganic elements, ash related problems like aerosol and deposit formation, corrosion and slagging can be expected. Especially the higher dust emissions and the slagging can disturb the combustion process and lead to higher CO emissions or unwanted shutdowns of the boiler [8].

The emissions and ash related problems in the line of the combustion of maize cobs in large scale combustion plants are well investigated and under control due to technical measures. But there is still insufficient information available regarding the suitability in small-scale systems. The introduction of new biomass fuels like maize cobs that potentially may cause higher emissions as conventional fuels should be first evaluated based on results from combustion tests. In order to investigate relevant combustion related characteristics of maize cobs, combustion tests as well as comprehensive fuel quality analyses have been performed by Josephinum Research in cooperation with the Austrian biomass boiler manufacturer Hargassner and the BLT Wieselburg within a national project financed by The Austrian Research Promotion Agency (FFG).

2. Materials and methods

2.1. Fuels Properties

All conducted fuel quality analyses were done according to the relevant standard methods. A list of all properties is presented in Table 1.

Table 1: Analysis parameters and their corresponding determination standard

	Parameter	Analysis standard
	Length [mm]	Manual measurement
	Amount of fines < 3,15 mm [weight-%]	EN 15149-1
	Portion of husks and stalks [weight-%]	Description in ÖNORM C 4003
	Moisture content [weight-% as received]	EN 14774-2
	Ash content [weight-% of dry basis]	EN 14775
	Nitrogen content [weight-% of dry basis]	EN 15104
	Chlorine and sulphur content [weight-% of dry basis]	EN 15289
	Ash melting behaviour [°C], Deformation temperature (DT)	CEN/TS 15370-1
	Bulk density as received [kg.m ⁻³]	EN 15103
	Net calorific value on dry basis [MJ.kg ⁻¹]	EN 14918
	Content of major and minor elements [mg.kg ⁻¹]	EN 15290, EN 15297

The physical and thermo-chemical properties of the maize cobs mostly were done in the laboratories of the BLT in Wieselburg Austria. The laboratory in Wieselburg is accredited as test lab for liquid and solid biofuels according to EN ISO/IEC 17025:2007.

2.2. Combustion equipment

The combustion tests were performed with two different biomass boilers originally designed for wood chips and wood pellets. Both boilers, commercially available for standard wood fuels, have not been redesigned or modified for the utilization of maize cobs. The first boiler had a nominal thermal capacity of 150 kW and was equipped with a lambda sensor, a screw feeder and a horizontally moving grate, a water cooled furnace consisting of a primary and a secondary combustion zone as well as a multi-cyclone for fly ash precipitation. The second boiler had a nominal thermal capacity of 60 kW and was equipped with a lambda sensor and a rotating grate for ash removal. This boiler was without any secondary measure for reduction of dust emissions. In order to control the combustion temperature both boilers were applied with flue gas recirculation below the grate.

2.3. Experimental test setup

The combustion plants were installed at the BLT boiler test bench in Wieselburg, Lower Austria. The heating tests were performed with different maize cob fuels cropped by different harvesting systems in autumn 2011, 2012 and 2013. The combustion tests were carried out according to the standard EN 303-5:2012-10: Heating boilers - Part 5: Heating boilers for solid fuels, manually and automatically stoked, nominal heat output of up to 500 kW - Terminology, requirements, testing and marking [9]. During the test runs the combustion plants have been operated with maize cobs from the beginning and the tests have been performed at full and partial load (30 % of full load). A schematic layout of the experimental setup is presented in Figure 1.

During the test runs relevant data such as flue gas temperature, boiler load, combustion air and flue gas flows were recorded. A constant flow of flue gas was extracted and continuously measured using standard flue gas analyzers for O₂, CO₂, CO (NGA), NO_x (CLD), and OGC (FID). The particle matter was sampled isokinetically using a gravimetric method according to EN 303-5:2012, Annex A - Manual measurement of particles in the

gas flow, gravimetric determination of particle load with filter systems. The particle size distribution has been measured by using an ELPI (Electrical Low Pressure Impactor).

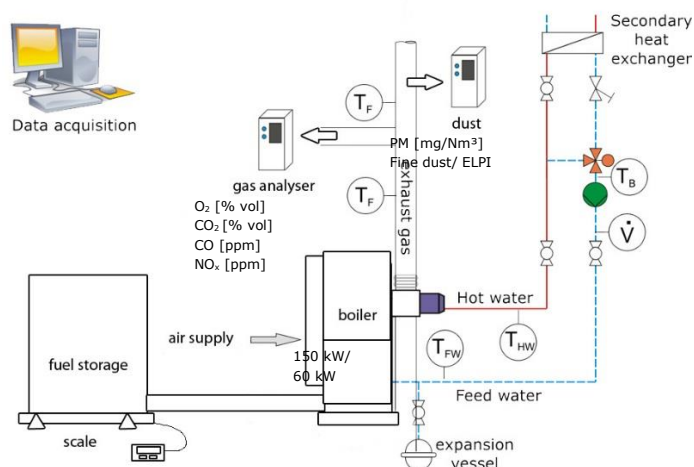


Figure 1: Scheme of the experimental setup used and positions of measurement points.

3. Results

3.1. Combustion related fuel characteristics

The whole process of the thermochemical conversion of biomass fuels, including combustion system, solid and gaseous emissions are strongly influenced by their physical characteristics and chemical composition. Therefore the investigation of the fuel quality of maize cobs compared to conventional wood fuels is an important issue addressed in this publication. Almost 55 different maize cob samples, coming from different maize varieties and harvesting technologies, have been analysed within the project. In Table 2 the results of the fuel analyses are summarised as well as the limits within the ÖNORM C 4003:2012 are presented.

Table 2: Analysis results versus the limits of the ÖNORM C 4003:2012

Parameter	Limits	Analysis samples	Average	Minimum	Maximum
Amount of fines < 3,15	$\leq 1,0$ [w-%]	28	2.20	0.40	11.10
Portion of husks and stalks	$\leq 5,0$ [w-%] $\geq 5,0$ [w-%]	13	5.55	0.16	18.23
Moisture content	≤ 20 [w-%] $20 \% < x \leq 30$ [w-%] > 30 [w-%]	55	37,8	14,5	67,50
Ash content	$\leq 4,0$ [w-%]	55	1,93	1,09	3,56
Nitrogen (N) content	$\leq 0,70$ [w-%] $\leq 1,50$ [w-%]	5	0.46	0.08	0.79
Chlorine (Cl) content	$\leq 0,15$ [w-%]	9	0.20	0.17	0.26
Sulphur (S) content	$\leq 0,10$ [w-%]	9	0.04	< 0.02	0.06
Ash melting behaviour	---				
SST	[°C]	39	741	525	1137
DT		39	831	935	1137
HT		39	1086	935	1342
FT		39	1167	990	1408
Bulk density (wf)	--- [kg/m³]	15	112	50	165
Net calorific value	--- [MJ/kg]	55	17.54	16.99	17.88
Carbon content	--- [w-%]	5	47.07	45.80	48.57
Hydrogen content	--- [w-%]	5	6.21	6.07	6.59

The data clearly show the differences of maize cobs compared to wood fuels. Maize cobs show a lower bulk density with an average value of 112 kg/m³ whereas wood chips have a typical bulk density of about 200 kg/m³ and wood pellets more than 600 kg/m³. Furthermore the N and S content of maize cobs are higher and especially for Cl, the results show values 10 times higher than the one usually measured for wood fuels. These concentrations show a high risk of high temperature corrosion, HCl and SO_x emissions. While the net calorific value is in a similar magnitude, the ash content is higher than for wood chips or pellets. Due to the high content of ash forming elements, like Si and K as well as the low Ca concentration, maize cobs show a significant different ash melting behavior. The average deformation temperature of below 850 °C could lead to problems during the combustion process in the heating boiler.

One of the major problems regarding the thermal use of maize cobs is the water content at the time of harvest, especially in region north of the Alps. In Lower and Upper Austria, the measured water content of maize cobs ranges between 40 and 65 %, depending on climatic conditions and Maize variety, with the consequence that maize cobs have to be dried before storage and combustion. Otherwise mold growth and deteriorating fuel quality result within a few days.



Figure 2: Pictures of maize cobs with low and high content of husks and molded cobs during storage of non-dried material.

3.2. Emissions

Strongly related to the properties of biomass are gaseous and particulate emissions generated by the combustion process.

3.2.1. Gaseous emissions

The CO emissions varied significantly among the performed combustion tests and were in general higher than in the case of wood combustion. The graph below shows, that the CO-emissions are lower with higher heat capacity, in case of the 150 kW boiler as well as for the 60 kW heating boiler. The red line is marking the legal requirements defined in the EN 303-5:2012 Appendix C.2 for Austria with 500 mg/MJ. All performed combustion tests with both boilers, different maize cob fuels (shown with different colors of the bars) and heat capacities fulfill the CO emissions legal requirements. The enhanced CO concentration of one combustion test could be partly explained, that slag formation during combustion could have caused an uneven flow of combustion air through the fuel bed and therefore affects the char and gas-phase burnout.

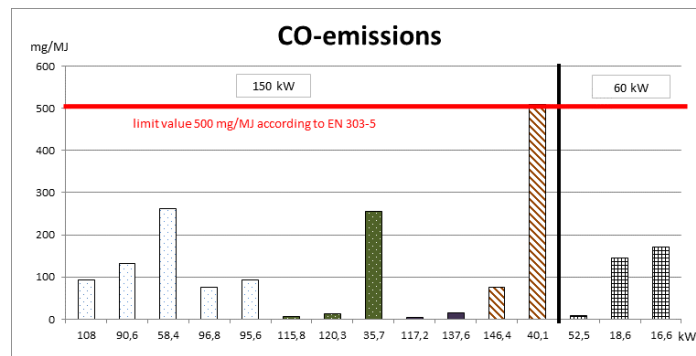


Figure 2: CO-emissions in mg/MJ referring to the EN 303-5:2012 Appendix C.2 for Austria.

Figure 3 shows the NO_x emissions and the nitrogen conversion rate as the correlation of different nitrogen contents of the used maize cob fuels and the NO_x-emissions. Under normal operating conditions, the combustion temperatures are below 1300 °C and therefore the NO_x-emissions are expected to be due to the nitrogen bound in the fuel [10].

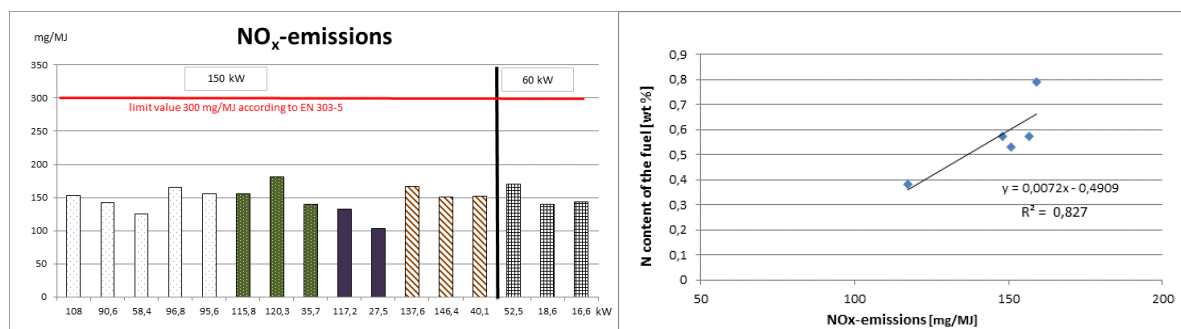


Figure 3: NO_x-emissions in mg/MJ referring to the limit value of EN 303-5:2012 Appendix C.2 for Austria and in correlation with the N content of the maize cob fuels.

The EN 303-5:2012 does not define NO_x emission limits, but in Austria, one of the only European country with legal NO_x emissions regulations for agricultural fuels, the legal requirements for NO_x are defined with maximum 300 mg/MJ. With measured values between 105 and 180 mg/MJ NO_x all the performed combustion tests fulfill the legal requirements according to the Austrian law.

3.2.2. Dust emissions

The particle emissions are a critical point regarding the combustion of agricultural fuels. The alkaline metals are the responsible fuel components for the inorganic fraction of dust emissions. Further relevant elements are S, Cl, and heavy metals such as Zn [8]. Compared with CO and NO_x, the emissions of particulate emissions during the maize cobs combustion tests were in general much higher than in the case of woody fuels. The high dust emissions observed during tests are connected to the high contents of alkali metals and sulfur. A strong correlation between dust emissions and ash contents of the used fuels, as often mentioned in literature, could not be observed. The legal requirements for dust emissions of automatically stoked boilers with standardized non-woody fuels are restricted in Austria with 60 mg/MJ and from 2015 with 35 mg/MJ, in Germany even lower with approximately 13 mg/MJ. None of the performed tests with maize cob fuels fulfilled these restrictive limits. In general, to reach the critical level of legal requirements, secondary measures for controlling particle emission might be indispensable.

In Figure 4 the particle size distribution of the aerosol emissions are presented. The graphs show the distribution by number of hits and diameter, with a well-marked peak located on the sixth impactor stage between 0.263 and 0.384 μm.

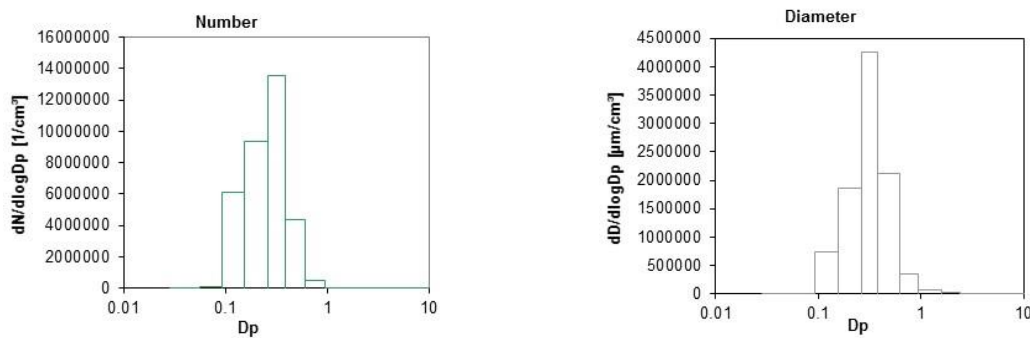


Figure 4: Particle size distributions of fine dust emissions measured during a combustion test with maize cobs.

3.2.3. Ash and slagging

The higher ash content is responsible for the ash deposition. As presented in 3.1 the ash content of maize cobs is two to four times higher than in wood fuels. Therefore the work for ash deposition is increased in the same ration. That the combustion of maize cobs carries the risk for slagging could be derived from the changed ash melting behavior. Especially in case of thermal output of higher than 130 kW (boiler 1) ash sintering as well as slag formation could be observed. However with lower heat capacity and lower grate temperature, only minor sintering and slagging occurred, which had no noticeable effect on the combustion process or operational reliability of the boiler.

4. Conclusions

In practice maize cobs are used to replace wood chips as fuel for heat production. In order to evaluate the suitability of maize cobs as fuel for small scale heating boilers, it is important to investigate the combustion related fuel properties as well as the capability of the existing small-scale combustion technology. Therefore comprehensive fuel quality analyses with several different maize varieties have been carried out and commercially obtainable wood fuel boilers have been used to investigate the gaseous and particulate emissions, the slag tendency as well as the reliability of boiler operation in case when wood chips are replaced by maize cobs without any technical modifications. Following conclusions can be drawn:

- In the maize production regions of western Lower Austria and Upper Austria the biggest challenge is to get the maize cobs dry enough for avoiding storage losses. In most cases an artificial drying is necessary. But at the harvest time the dryer capacities are fully covered with the maize kernels.
- In general the set limits for the respective parameter in the Austrian Standard ÖNORM C 4003 are suitable for the characterisation of the maize cobs with the exception of the chlorine content, this value is mostly over the set limit stated in the Austrian standard.
- The emissions from maize cob combustion are in general higher than during the combustion of woody biomass. The legal requirements defined in the EN 303-5 could partly satisfied. The particle emissions are a critical issue and further investigations with secondary measures for the reduction of particle emission are needed.
- The high dust emissions result in ash accumulation on the heat exchanger walls, which reduced the boiler efficiency and decreased the cleaning interval.

The results and experiences of these investigations show the limitations of the existing technology and provide important information for development of special maize cob fueled small scale combustion systems.

5. Acknowledgements

The results presented have been carried out in a national project called “Maisspindeln – Grundlagenuntersuchung zu Verwertungsmöglichkeiten von Maisspindelnutzung (FFG No. 832117)” in cooperation with Josephinum Research and Hargassner GmbH. The project was financially supported by The Austrian Research Promotion Agency (FFG). The authors are gratefully acknowledged for the collaboration and the funding.

6. References

- [1] European Parliament, Council conclusions on 2030 framework for climate and energy policies. EUCO 7/1/14 REV1. http://ec.europa.eu/clima/policies/2030/documentation_en.htm [accessed 05.05.2014]
- [2] Uslu A., Gomez N.C., Belda M.S. (2010). Demand for lignocellulosic biomass in Europe. Policies, supply and demand for lignocellulosic biomass. Elobio. Energy research Centre of the Netherlands (ECN)
- [3] Statistisches Jahrbuch 2013, Statistik Austria, Kapitel 18: Pflanzliche Produktion; http://www.statistik-ustria.at/web_de/services/stat_jahrbuch/index.html 131030.
- [4] ÖNORM C 4003: 2012-08-01 Maize cob – Requirements and test methods - National amendment referring to ÖNORM EN 14961-1 and ÖNORM EN 15234-1.
- [5] Saidur R., Abdelaziz E.A., Dermibas A., Hossain M.S., Mekhilef S.(2011). A review on biomass as a fuel for boilers. *Renew Sustain Energy Rev* 2011; 15(5):2262–89.
- [6] Sander B. (1997). Properties of Danish biofuels and the requirements for power production. *Biomass and Bioenergy*. Volume 12, Issue 3, 1997, Pages 177–183.
- [7] Obernberger I., Brunner T., Bärnthaler G. (2006). Chemical properties of solid biofuels significance and impact. *Biomass Bioenergy*; 30(11), Pages 973–82.
- [8] Öhman M., Boström D., Nordin A., Hedman H. (2004). Effect of kaolin and limestone addition on slag formation during combustion of wood fuels. *Energy Fuels* 18. Pages 1370–6.
- [9] ÖNORM EN 303-5: 2012-15-11 Heating boilers - Part 5: Heating boilers for solid fuels, hand and automatically stocked, nominal heat output of up to 300 kW - Terminology, requirements, testing and marking.
- [10] Stubenberger G., Scharler R., Zahirovic S., Obernberger I.(2008). Experimental investigation of nitrogen species release from different solid biomass fuels as a basis for release models. *Fuel* 87(6). Pages 793–806.

ISBN 978-3-902451-14-9