

Mit welcher Technik kann Silage effizient und schlagkräftig verdichtet werden?
Die Landmaschinenschule in Triesdorf hat dazu umfangreiche Praxiserprobungen durchgeführt?

Der Strukturwandel und auch der Biogasboom führen dazu, dass immer größere Mengen an Silagen in engen Zeitfenstern eingebracht werden. Die leistungsfähigen Häcksler erfordern hohe „Verdichtungskapazitäten“ im Silo. Das Walzfahrzeug hat dann neben der klassischen Verdichtung auch eine enorme Schub- bzw. Verteilleistung zu erbringen. Silohöhen bis zu 8 m und mehr sind keine Seltenheit.

Um diesen neuem Anforderungsprofil gerecht zu werden, kommen zu den klassischen Walzfahrzeugen wie Lader und Standardtraktoren auch ungewöhnlichere Fahrzeuge wie Pistenfahrzeuge oder Raupenfahrzeuge zum Einsatz.

In einem ersten Versuch der Landmaschinenschule im Jahr 2009 konnte nachgewiesen werden, dass Raupenfahrzeuge durchaus in der Lage sind die geforderten Richtwerte bei der Dichte zu erreichen.

In einem Praxisversuch der Landmaschinenschule im Herbst 2010 und 2011 wurde nicht nur die Dichte ermittelt, sondern auch der Dieserverbrauch je t verdichtete Silage. Grundsätzlich werden in der Praxis derzeit zwei unterschiedliche Wege bei der Silageverdichtung bestritten.

- Einsatz einer speziellen Verteil- bzw. Schubtechnik und zusätzlich Fahrzeuge die verdichten. (z.B. Pistenfahrzeuge zum Verteilen, Traktoren zum Verdichten)
- Einsatz eines Fahrzeuges, welches mit ausreichend Einsatzgewicht verteilen und verdichten kann.

Im Rahmen des Triesdorfer Versuches wurden Verdichtungsfahrzeuge ausgewählt, die sowohl schieben als auch verdichten können.

Der Versuch 2010 wurde begleitet durch eine Diplomarbeit von Herrn Christoph Völkl und in Kooperation mit dem Lohnunternehmen Appold, der Fa. Agrikomp und der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf durchgeführt.

Versuchsanstellung 2010:

Im Oktober 2010 wurde an drei Tagen nahezu 3.000 t Mais mit vier unterschiedlichen Walzfahrzeugen verdichtet. Die enormen Mengen ermöglichten es praxisnahe Ergebnisse zu erhalten.

Die Transportfahrzeuge kippten vor den Silos ab. Die Walzfahrzeuge hatten die Aufgabe über die gesamte Silolänge (ca. 40 m) zu verteilen und zu verdichten. Gehäckselt wurde mit einem achtreihigen John Deere Häcksler mit 560 PS. Der Häcksler war mit einer Ertrags- und Trockenmasseerfassung (NIR-Sensor) ausgestattet. Die durchschnittliche Leistung (Umsetzzeiten wurden berücksichtigt) lag bei nahezu 100 t/Frischmasse je h. Das Gewicht der Transportfahrzeuge wurde in regelmäßigen Abständen über eine Fuhrwerkswaage mit den Ergebnissen der Häcksleranzeige überprüft. Alle eingesetzten Fahrzeuge konnten die anfallende Silagemenge verarbeiten. Die Trockenmasse wurde durch den Häcksler ermittelt. In nachfolgender Tabelle sind die wichtigsten Daten der Walzfahrzeuge dargestellt.

Tabelle 1: Technische Daten der Walzfahrzeuge 2010

Einheit	Challenger Raupe	Claas Xerion	Liebherr Lader	Fendt Vario
Bezeichnung	MT 765 C	3800 Trac VC	544 2Plus 2	927
Getriebe	Lastschaltgetr.	Stufenlos	Hydrostatisch	Stufenlos
Nennleistung in PS	320	344	165	240
Bereifung	Laufband Breite 635 mm	800/70 R 38	23,5 R 25	Hinten 650/85 R38

				Vorne 600/65 R 34
Einsatzgewicht in t (voll getankt o. Fahrer)	19,72	19,96	16,10	17,26
Frontschild	Fa. Neumaier, beidseitig klappbar 4 m	Fa. Holaras beidseitig klappbar 5 m		Fa. Stehr teleskopierbar bis 5 m
Heckgewicht	2,5 t	2,2 t		Compactor (Walzen- segmente 3 m)
Besonderheiten		Verdichtungsfahrt im Hundegang Einsatz in Schubfahrt, Reifen gedreht	Schaufel 4 m ³	

Folgende Messungen wurden durchgeführt:

- Ermittlung der Dichte im Silo in kg/t -Frischmasse
- Erfassung der Schub- bzw. Verteilleistung und
- Feststellung des Kraftstoffverbrauches je t Frischmasse.

Messtechnik:

Mit Hilfe eines Kernbohrgerät (Ø Bohrkronen 130 mm) wurden an definierten Positionen im Silo ausschließlich an der Silooberfläche Bohrungen durchgeführt. Auf Messungen in der Anschnittfläche wurde verzichtet, da bei einer ausreichenden Dichte an der Oberfläche davon auszugehen ist, dass in tieferen Schichten noch bessere Werte erzielt werden. Die Bohrtiefe betrug ca. 40 cm. Das Gewicht der Probe wird in Relation zum Volumen des Bohrkernes gesetzt und die Dichte errechnet. Ergänzend erfolgt die Bestimmung der Trockenmasse, um die Dichte auf die Trockenmasse beziehen zu können. Jeweils 7 Bohrungen wurden an definierten Stellen bei allen vier Silos durchgeführt. Dabei wurden auch Randbereiche beprobt.

(Bild: Kernlochbohrgerät)

Verdichtungsleistungen:

Die Fahrzeuge konnten im Durchschnitt nahezu 700 t Silage verteilen und verdichten. Die Trockenmassegehalte variierten nur geringfügig zwischen 29,4 % bis 31,5 %. Die beteiligten Firmen stellten die Fahrer und versuchten die technischen Möglichkeiten der Fahrzeuge bzgl. Motordrückung, Reifendruck, Hundegang bzw. Ballastierung zu nutzen.

Nachfolgende Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Kernlochbohrungen.

Tabelle 2: Ergebnisse der Kernlochbohrungen an der Oberfläche der Silos bei Mais 2010

Einheit	Challenger Raupe	Claas Xerion	Liebherr Lader	Fendt Vario 927
Trockensubstanz	30,8%	31,5%	29,4%	29,9%
Ø kg FM/m ³	803	812	855	816
Ø kg TM/m ³	247	256	251	244
Richtwerte lt LfL *)	240			
Standardabweichung	12	18	17	17

Quelle: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Schriftenreihe, Hygiene bayerischer Silagen, 2009, S.79

Die Dichtemessungen erbrachten homogene Ergebnisse und lagen bei allen Fahrzeugen über den Richtwerten der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft von 240 kg TM/m³ für stabile Maissilagen bei den vorliegenden Trockenmassegehalten. Alle Fahrzeuge konnten somit nachweisen, dass sie die Anforderung bzgl. Verdichtungsleistung problemlos erfüllen konnten. Dabei ist anzumerken, dass die Messungen an der Oberfläche des Silos durchgeführt wurden. In den tieferen Schichten wären deutlich höhere Ergebnisse anzutreffen. Bei der Berechnung der Standardabweichungen wurden bei allen Walzfahrzeugen niedrige Werte erzielt. Die Schwankungsbreite war bei der Raupe am niedrigsten und folglich die Verdichtung am einheitlichsten.

Schubleistung:

Grundsätzlich ist zwischen Verdichtungs- und Schubleistung zu unterscheiden. Die eingesetzten Fahrzeuge wurden mit der Zielsetzung ausgewählt, dass die Anforderungen einer hohen Verdichtung erreicht werden und dies bei einer möglichst hohen Schub- und Verteilleistung.

Eine exakte quantitative Messung der Schubleistung konnte nicht durchgeführt werden, da der Häcksler im Praxiseinsatz bei den wechselnden klein strukturierten Feldstücken, die Walzfahrzeuge bzgl. Schubleistung nicht an die Leistungsgrenze bringen konnte.

Im Rahmen einer subjektiven Einschätzung können folgende Aussagen getroffen werden:

- Die Challenger-Raupe überzeugte bzgl. Schubleistung und Steigfähigkeit. Mit eineinhalb Fahrten konnten 35 m³ Mais (Volumen eines Transportfahrzeuges) verteilt werden.
- Der Claas Xerion erreichte die Leistung der Raupe. Von allen radgetriebenen Walzfahrzeugen hatte der Xerion die höchste Schubleistung.
- Der Liebherr Lader brauchte für die 35 m³ Mais zwei bis drei Anläufe um den Mais zu verteilen. Mit steigender Höhe des Silostockes wurden zunehmend Traktionsprobleme erkennbar.
- Der Fendt 927 war bei niedriger Silostockhöhe dem Xerion ebenbürtig. Mit steigender Stockhöhe konnte der Fendt die Schubleistungen des Xerions und der Raupe nicht erreichen, übertraf jedoch den Lader deutlich.

Die Schubleistung wird nicht ausschließlich vom Fahrzeug beeinflusst. Eine angepasste Ballastierung im Heck bzw. ein flexibles Räumschild spielen eine entscheidende Rolle. Die gleichmäßigste Gewichtsverteilung wurde beim Xerion erreicht. Bei der Callenger Raupe wurde aufgrund der Erfahrungen des Vorjahres der Heckballast auf 2,5 t reduziert. Da es sich bei der Schub- und Verdichtungs-ausrüstung des Fendt 927 um einen ersten Erprobungseinsatz handelte, war die Ballastierung für den Arbeitseinsatz noch nicht ideal. Zudem konnte der Prototyp des Schiebeschildes in der Front nicht hoch genug ausgehoben werden, sodass Material mit zurückgezogen wurde.

Kraftstoffverbrauch je t Silage

Die beim Verdichten erreichten Werte lagen bei allen Walzfahrzeugen über dem Richtwert. Bei den Schubleistungen gab es Unterschiede. Alle Fahrzeuge waren jedoch problemlos in der Lage die anfallenden Mengen eines 560 PS Häckslers zu verarbeiten.

Damit kommt der Frage der Effizienz des Vorganges eine entscheidende Bedeutung zu. Als wichtiges Kriterium wird dazu der Kraftstoffverbrauch je t Mais herangezogen. Da die Trockenmasse annähernd gleich hoch, wurde auf eine Umrechnung je t Trockenmasse verzichtet. Die Fahrzeuge wurden bei Versuchsbeginn und -ende voll getankt. Bei

Umsetzvorgängen des Häckslers und den daraus resultierenden Wartezeiten wurden die Motoren abgestellt Die Standzeiten wurden gestoppt und korrigiert.

Tabelle 3: Kraftstoffverbrauch in l je h bzw. je t Mais 2010

Einheit	Challenger Raupe	Claas Xerion	Liebherr Lader	Fendt Vario 927
Kraftstoffverbrauch in l/h	18,9	21,0	23,4	25,4
Kraftstoffverbrauch in l/Tonne	0,20	0,18	0,23	0,29
Erntemengen im Versuch in t FM	615	819	376	380
Walzzeit netto in h	6,5	6,9	3,7	4,4

Der Kraftstoffverbrauch lag bei der Challenger Raupe und dem Class Xerion am niedrigsten. Die hohe Schubleistung, entsprechende Kraftreserven und die gute Traktion kombiniert mit einem hohen Einsatzgewicht sind als Begründung anzuführen. Beide Fahrzeuge waren bzgl. Schiebeschild und Ballastierung perfekt abgestimmt. Die Fahrer nutzten das technische Potential voll aus. Der Lader schnitt erwartungsgemäß schlechter ab. Der schlechtere Wirkungsgrad des hydrostatischen Antriebes kommt hier zum Ausdruck, obwohl der eingesetzte Liebherr 2plus2 über zwei unterschiedlich große Ölmotoren verfügt. Das Ergebnis des Fendt 927 wäre mit optimierter Ballastierung, Verbesserung des Schiebeschildes und mehr Einsatzerfahrung des Fahrers sicher besser ausgefallen.

Versuchanstellung 2011

Aufgrund der großen Unterschiede im Dieserverbrauch und der Schubleistung, insbesondere beim Fendt 927 erfolgte eine Wiederholung des Versuches im Jahr 2011. Ziel war es herauszufinden wie groß der Effekt einer optimalen Ballastierung und der Einfluss des Fahrers ist. Neu aufgenommen wurde zusätzlich ein Pistenfahrzeug der Fa. Prinoth. Die grundsätzliche Versuchsanstellung wurde nicht verändert. Die gleichen Silos wie im Vorjahr wurden befüllt. Gehäckselt wurde im Jahr 2011 mit einem Claas 960 mit 653 PS.

Die Fa. Fendt setzte im Vergleich zum Vorjahr einen Fendt 936 ein, der mit einem Schiebeschild der Fa. Silberhorn, Radgewichten mit einem Gewicht von jeweils 1 Tonne und einem zusätzlichem Heckgewicht von 2,5 t ausgestattet war.

Die Pistenfahrzeuge haben im Jahr 2011 stark an Popularität beim Schieben von Silagen gewonnen. Die ersten positiven Berichte bzgl. der Schubleistung von Praktikern waren für die Landmaschinenschule Anlass dieses Fahrzeug zu testen. Ausgewählt wurde ein umgerüstetes Pistenfahrzeug der Fa. Prinoth. Im Vergleich zum Pistenfahrzeug wurde die Kette gewechselt und eine Kunststoffkette mit einer Breite von 770 mm aufgelegt. Eine Straßenzulassung für dieses Fahrzeug lag nicht vor. Besonderheit bei der Fa. Prinoth ist die Möglichkeit die Laufrollen hydraulisch vorspannen zu können, bzw. die beiden äußersten Laufräder beim Verdichten abzusenken, sodass die Lauffläche verringert wird, um einen größeren Druck auf die Silage ausüben zu können. Zusätzlich ist die Laufkette so ausgestattet dass in jedem zweiten Glied eine Erhöhung integriert ist. Dies führt dann zu einer Art „Rüttel-effekt“ der sich positiv auf die Verdichtungsleistung auswirken soll. In Tabelle 4 sind die wichtigsten technischen Daten zusammengefasst.

Tabelle 4: Technische Daten der Walzfahrzeuge 2011

Einheit	Fendt 936	Prinoth
---------	-----------	---------

Bezeichnung	936	LH500
Getriebe	Stufenlos	Hydrostatisch
Nennleistung in PS	360	360
Bereifung	Hinten 710/75 R38 Vorne 600/70 R 34	Laufband Breite 770 mm
Einsatzgewicht in t (voll getankt o. Fahrer)	16,77	9,04
Frontschild	Fa. Silberhorn 3 m ca.1,4 t	Prinoth Schild 12 Wege Räumschild 5,36 m breit
Heckgewicht	Fendt Gewicht 2,5 t	
Besonderheiten	Radgewicht im Heck je 1 t	verstellbares Laufwerk (Schieben = viel Auflagefläche, Walzen wenig Fläche)

Die Ergebnisse der Kernlochbohrungen erbrachten gute Ergebnisse. Sowohl der Fendt als auch das Pistenfahrzeug der Fa. Prinoth konnten die Anforderungen erfüllen. Die niedrigere Standardabweichung des Prinoth-Fahrzeuges lässt auf eine sehr gleichmäßige Verteilung schließen, die über eine Vielzahl an Verstellmöglichkeiten beim Schild hervorgerufen wird.

Tabelle 5: Ergebnisse der Kernlochbohrungen an der Oberfläche der Silos bei Mais 2011

Einheit	Fendt 936	Prinoth LH 500
Trockensubstanz	33,13 %	30,05 %
Ø kg FM/m ³	816	876
Ø kg TM/m ³	270	263
Richtwerte lt LfL *)	240	
Standardabweichung	17	11

Quelle: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Schriftenreihe, Hygiene bayerischer Silagen, 2009, S.79

Bei der subjektiven Einschätzung der Schubleistung lag der Fendt 936 vorne. Die optimale Ballastierung, das hohe Einsatzgewicht von 16 t und ein geübter Fahrer konnte das Potenzial des Traktors realisieren. Mit dem 3 m Silberhornschild konnten das Volumen der Transportfahrzeuge nahezu in einer Fahrt verteilt werden. Das Pistenfahrzeug der Fa. Prinoth brauchte dazu eine zusätzliche Fahrt. Aufgrund der vielfältigen Steuerungsmöglichkeiten des Schildes ermöglicht das Pistenfahrzeug jedoch eine perfekte Verteilung und Einebnung der Silage.

Tabelle 6: Kraftstoffverbrauch in l je h bzw. je t Mais 2011

Einheit	Fendt 936	Prinoth LH 500
Kraftstoffverbrauch in l/h	20,7	18,1
Kraftstoffverbrauch in l/Tonne	0,11	0,15
Erntemengen im Versuch in t FM	650	501
Walzzeit netto in h	3,5	4,3

Der Kraftstoffverbrauch je h lag beim Fendt 936 deutlich unter dem Vorjahreswert, obwohl der Schlepper über eine höhere Leistung verfügte. Mit diesem Ergebnis konnte eindeutig nachgewiesen werden, dass hochwertigste Technik nur in Verbindung mit einem professionellen Fahrer und einem abgestimmten Gesamtkonzept bzgl. Ballastierung und Schiebeschild zu optimalen Ergebnissen führen kann. Voraussetzung ist, dass die Fahrer die Motorkennlinien in Verbindung mit den Kraftstoffverbrauchslinien kennen und damit die Möglichkeiten moderner Motoren nutzen können. Schulung ist aus unserer Sicht dafür unverzichtbar. Gleichzeitig braucht der Fahrer ein feines Gespür für die Steuerung des Schiebeschildes, damit eine möglichst gleichmäßig dünne Schicht auf die gesamte Silolänge verteilt wird, ohne ständig bereits verdichtetes Material mit viel Energieaufwand wieder zu lockern. Diese Aussagen gelten für alle eingesetzten Fahrzeuge.

Der Fendt 936 erreichte beim Dieselverbrauch je t Frischmasse eine neue Bestmarke. Das optimierte Fahrverhalten und die perfekte Abstimmung von reiner Walzzeit und der erzielten Verdichtungsleistung trugen dazu bei.

Das Pistenfahrzeug brachte bzgl. des Dieselverbrauchs je t Silage gute Ergebnisse. Im Vergleich zum Fendt 936 benötigte der Prinoth LH 5000 mehr Zeit für die reine Verdichtung. Dies wirkte sich auf den Dieselverbrauch je t negativ aus.

Fazit:

Die Verdichtungsergebnisse der Fahrzeuge konnten im praktischen Einsatz überzeugen. Die erbrachten Schub- und Verdichtungsleistungen konnten das anfallende Material eines 560 PS, bzw. 650 PS Häckslers problemlos verarbeiten. Alle bisher eingesetzten Verdichtungsfahrzeuge konnten bzgl. ihrer Verdichtungsleistung nicht an die Grenzen gebracht werden. Es zeigt sich, dass Fahrzeuge mit einem Einsatzgewicht von über 16 Tonnen, entsprechender Kraft und Traktion in der Lage sind höchst effizient Silage zu verteilen und zu verdichten. Ein einzelnes Fahrzeug im Silo - mit einem professionellen, verstellbaren Schiebeschild und angepasster Heckballast- ist für einen Häcksler ausreichend. Eine möglichst gleichmäßige Gewichtsverteilung ist dafür notwendig. Die Schiebeschilder sollten nicht zu breit sein und entsprechend Verstellmöglichkeit bieten. Pistenfahrzeuge stehen zudem zur Verfügung und glänzen besonders bei der Verteilgenauigkeit und der Einsatzsicherheit bei starker Neigung der Silooberfläche. (Der Nutzen und das Gefährdungspotenzial extrem überfüllter Silos wird hier nicht diskutiert!)

Dem Fahrer kommt aber nach wie vor entscheidende Bedeutung zu, da er mit Geschick und entsprechend verhaltenem Gebrauch des Gaspedals, den größten Einfluss auf eine effiziente Verdichtung hat.

Die Versuche haben eindrucksvoll aufgezeigt, dass Walzfahrzeuge, die primär für den schweren Einsatz in der Bodenbearbeitung konzipiert wurden, hervorragende Verdichtungs- und Verteilarbeit leisten. Die Maschinen werden i.d.R. von Lohnunternehmern zur Verfügung gestellt. Der Einsatz im Silo ermöglicht es die Auslastung der Maschinen zu verbessern. Für den Auftragnehmer spricht der niedrige Dieselaufwand je t Frischmasse in Verbindung mit einem attraktiven Verrechnungssatz für den Einsatz. Zudem ist es von Vorteil, dass nur ein Fahrzeug benötigt wird. Der „Verkehr im Silo“ bleibt überschaubar.

Markus Heinz, Norbert Bleisteiner Landmaschinenschule in Triesdorf

