

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 Pistenbullys 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 wurde nicht nur die Dichte ermittelt, sondern auch der Dieselverbrauch 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. Pistenbully 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 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:

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.

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. Steier 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 <sup>3</sup>	

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. Motordrücke, 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 <sup>3</sup>	803	812	855	816
Ø kg TM/m <sup>3</sup>	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/m<sup>3</sup> 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 der 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 Verdichtungsleistung 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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 Verdichtungsausrüstung 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

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.

#### Fazit:

Die Verdichtungsergebnisse der Fahrzeuge konnten im praktischen Einsatz überzeugen. Die erbrachten Schub- und Verdichtungsleistungen konnten das anfallende Material eines 560 PS Häckslers problemlos verarbeiten. 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 ausreichend breit sein und entsprechend Verstellmöglichkeit bieten.

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.

Der Versuch hat 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.