

Silotrockner

Dr. Harald von Keiser, RKL

Silotrockner | 4.3.1.1 | Seite 1125

Silotrockner

September 2004

Dr. Harald von Keiser, ist Berater des RKL.

Gliederung	Seite
1. Einleitung.....	1128
2. Anlagenaufbau.....	1130
3. Arbeitsverfahren.....	1133
3.1 Trocknen.....	1133
3.2 Mischen.....	1133
3.4 Reinigen.....	1134
3.5 Schwitzen.....	1134
4. Satz Trocknung.....	1135
4.1 Planungsdaten Satz Trocknung.....	1135
4.2 Praxisergebnisse.....	1136
4.2.1 Siloauswahl.....	1136
4.2.2 Förderleistung.....	1138
4.2.3 Verteilschleuder.....	1141
4.2.4 Röhreinrichtung.....	1143
4.2.5 Belüftungsboden.....	1146
4.2.6 Warmlufterzeuger.....	1150
4.2.7 Trocknungstemperaturen.....	1152
4.2.8 Feuchtigkeitsverlauf.....	1154
4.2.9 Leistung.....	1156
4.2.10 Regelung der Anlage	1158
4.2.11 Arbeitsaufwand.....	1160
4.2.12 Energieverbrauch	1161
4.2.13 Kosten.....	1164
5. Satzumlauftrockner.....	1166
6. Durchlauftrockner.....	1167
7. Sonderbauformen.....	1170
7.1 Flachsiloanlagen.....	1171
7.2 Kornknecht.....	1172
8. Bezugsadressen.....	1174
9. Zusammenfassung.....	1175
10. Literatur.....	1176

1. Einleitung

Die Entwicklung von Silotrocknern kommt aus den USA. Sie wurde dort vor ca. 40 Jahren betrieben. Bis heute hat sich die Technik kaum verändert. Ursprünglich wurden in den USA mit diesen Trocknern vor allem Körnermais und Sojabohnen getrocknet; Früchte also, die mit einem höheren Feuchtegehalt geerntet werden und sehr großkörnig sind.

Seit dem Jahr 2000 steigt auch bei uns das Interesse an Silotrocknern - vor allem für die Trocknung von Getreide und Raps. Allein in den letzten vier Jahren sind etwa 65 dieser stationären Trocknungsanlagen aufgebaut worden und ca. 100 mobile Kornknechtanlagen auf den Markt gekommen (Seite 1172). In der vorliegenden Schrift soll nun die Silotrocknung beschrieben und mit anderen Trocknungsverfahren verglichen werden. Dabei wird den Erfahrungen aus der Praxis ein hoher Stellenwert eingeräumt.

Die bei uns eingesetzte Technik im Verfahren Silotrocknung kann weit mehr als nur das Erntegut trocknen. Folgende Vorteile werden aus der Praxis genannt:

- Geringerer Arbeitsaufwand während der Trocknung als bei Durchlauf-, Satz- und Belüftungstrocknung
- Gute Homogenisierung unterschiedlicher Erntefeuchtigkeiten durch die Röhreinrichtung
- Gute Entgrannung und Entspelzung der Körner durch die Röhreinrichtung
- Reduzierung des Mykotoxingehaltes auf den Körnern durch die Röhreinrichtung
- Einrichtung einer Schwitzphase während der Trocknung zur Reduzierung des Energieverbrauches
- Schaffung eines zusätzlichen Lagerraumes
- Intensive Kühlmöglichkeit des Lagergutes mit dem eingebauten Trocknungsgebläse.

Ähnlich wie bei der Lagerbelüftungstrocknung (RKL-Schrift 4310, S. 1021-1098) erfolgt die Trocknung des Entegutes im Lager selbst und nicht wie bei Satz- und Durchlaufstrocknung in einem separaten Trocknungsbehälter. Die kompakte Bauweise der Silotrockner erlaubt auch solche Anlagen in vorhandene Belüftungsanlagen einzuplanen, ohne die Lagerzellen umbauen zu müssen.

Nahezu alle bisher erstellten Silotrockner sind bei uns als Satzrockner ausgerüstet.

Abbildung 1 zeigt einen solchen mit einem Radialgebläse, einem Becherelevator mit angebautem Windsichter für eine schnelle Befüllung und Entleerung des Silos, einer bequemen Aufstiegstreppe zur Kontrolle und Probenahme sowie einer großdimensionierten Einstiegstür zum Betreten des Siloraumes für die Restentleerung des Trockners.



Abb. 1: Silo-Satztrockner (Werkbild Wellenbrock)

Silotrocknung ist eine sinnvolle Kombination aus den Vorteilen der bekannten Verfahren Durchlauftrocknung, Satzrocknung und Lagerbelüftungstrocknung:

- Es sind erstaunliche Leistungen mit einem 1.000 m³ Silotrockner erreichbar. Stundenleistungen entsprechend einem Durchlauftrockner von ca. 20 t/h sind realisierbar.
- Silotrocknung kommt wie die Satzrocknung mit geringen elektrischen Anschlusswerten aus und erfordert auch nur einen geringen Bedienungsaufwand.
- Wie Lagerbelüftungstrocknung erlaubt Silotrocknung die Trocknung des Erntegutes in einer Lagerzelle. Ein separater Trocknungsbehälter ist nicht erforderlich. Das senkt die Investitionen.

Neben den Vorteilen gibt es aber auch Nachteile, die in der Broschüre näher beschrieben sind. Dazu gehören vor allem folgende Punkte:

- Keine Trocknungsmöglichkeit für Kleinmengen
- Rückgang der Keimfähigkeit im Erntegut
- Schwierige Kontrolle der Trocknung
- Höherer Staubanfall durch Abrieb
- Aufwendige Reinigung der Anlage

Insgesamt überwiegen aber die Vorteile, wie die Erfahrungen aus der Praxis zeigen.

Bei der Neu- oder Ersatzinvestition einer Trocknungsanlage sollte auch der Silotrockner in die Planung mit einbezogen werden, wenn folgende Kriterien auf Ihren Betrieb zutreffen:

- Betriebe mit sehr hoher Druschleistung (Lohndrusch)
- Standorte mit intensivem Tau in den Morgenstunden
- Betriebe mit stark schwankenden Kornfeuchtegehalten während eines Tages
- Klimaregionen mit hoher Fusariumgefährdung
- Betriebe mit geringem AK-Besatz in der Ernte
- Regionen mit schlechter Entgrannung der Gerste
- Betriebe mit knappem Lagerraum
- Betriebe mit Erntegutverkauf direkt in der Ernte

Für folgende Betriebe ist ein Silotrockner weniger geeignet:

- Betriebe mit schlechter Flächenstruktur (kleine Schläge)
- Betriebe mit Saatgutvermehrung
- Betriebe mit Braugerstenanbau
- Betriebe mit vielen unterschiedlichen Sorten
- Betriebe mit Marktpartnern, die hohe Keimfähigkeiten im Erntegut fordern
- Betriebe, die keine Vorreinigung haben
- Betriebe mit niedrigen Erntefeuchtegehalten
- Regionen mit hoher Gefährdung durch Getreidekäfer
- Betriebe ohne Kühlmöglichkeit in den Lagerzellen.

2. Anlagenaufbau

Zum Verständnis der Gesamtverfahren ist eine Grundkenntnis des Aufbaues der Anlagen unerlässlich. Genaue Beschreibungen, Planungswerte und Praxisergebnisse erfolgen in späteren Kapiteln. Abbildung 2 zeigt den Aufbau der Anlage.

Weit über 90 % der Silotrockner in Deutschland arbeiten als Satzrockner und die meisten dieser Trockner sind in Wellblechsilos eingebaut. Für den Einbau eines Belüftungsbodens, einer Rührereinrichtung und der Verteileinrichtung im Dach reicht die Statik dieser Rundsilos nicht immer aus. Dach und die Seitenwände müssen dann eine zusätzliche Stabilität erhalten, die aber von allen Siloherstellern geliefert werden kann.

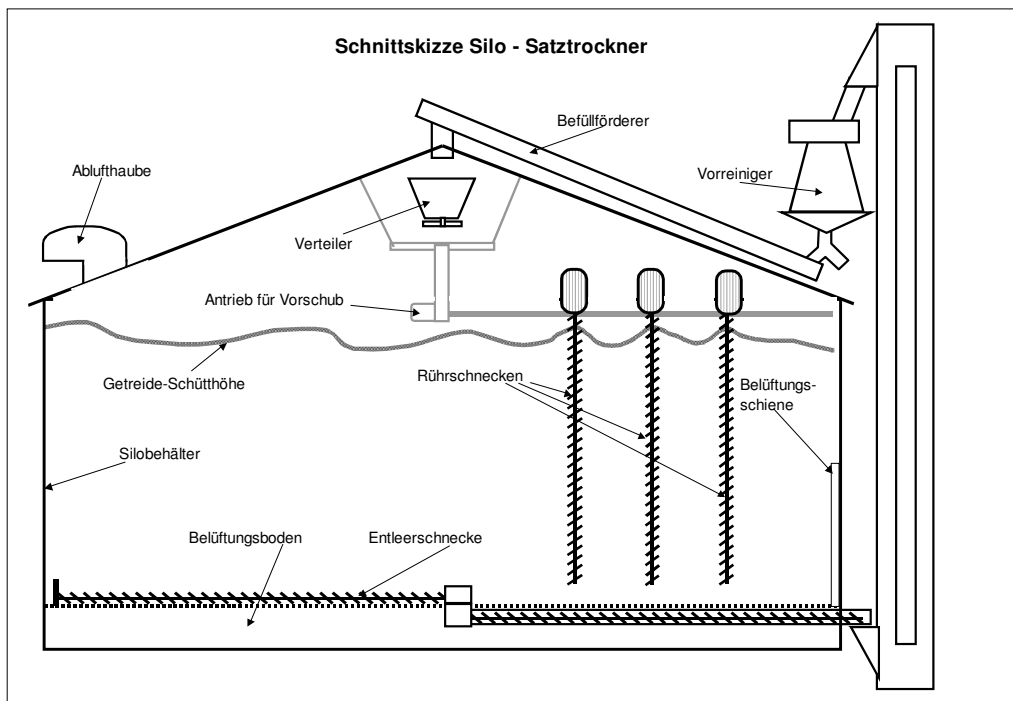


Abb. 2: Schnittskizze Silo-Satzrockner

Die Befüllung und Entleerung (Abb. 2) des Silos sollte über einen Becherelevator mit hoher Leistung erfolgen. Je schneller die Siloentleerung nach der Trocknung erfolgt, desto mehr Zeit bleibt für die eigentliche Trocknung. Auf den meisten Betrieben dauert die Siloentleerung ca. 10 Stunden. Damit bleiben für die Trocknung in zwei Tagen 38 Stunden. In den USA werden dagegen meistens leistungsfähigere, schleppergetriebene Rohrschnecken eingesetzt. Der Einbau eines Reinigers ist dann aber schwieriger.

Direkt am Elevator sollte ein Windsichter-Reiniger (Abb. 2) montiert sein, mit dem sowohl das feuchte Erntegut bei der Befüllung wie auch die getrocknete Ware bei der Entleerung gereinigt werden kann. Diese doppelte Reinigung führt zu einer verbesserten Trocknung und zu einer Qualitätsverbesserung der getrockneten Ware durch weitere Entgrannung, Entspelzung und Abrieb von Mykotoxinen von den Körnern.

Unter dem Dach des Silos hängt ein Verteiler (Abb. 2) mit rotierender Wurfscheibe, der das Erntegut schichtweise im Silo verteilen soll, was bei hohen Kaff-Anteilen im Erntegut durchaus problematisch sein kann. In jedem Fall sollte dieser Verteiler einen stufenlosen Antrieb haben.

Unter dem Verteiler hängt die Stiratoranlage mit den Rührschnecken (Abb. 2), die für das Vermischen des Erntegutes aus den einzelnen Schichten sorgen.

Auf dem Belüftungsboden (Abb. 2) läuft eine einarmige, leistungsfähige Fegeschnecke (Abb.2) für die Restlosentleerung des Silos nach erfolgter Trocknung. Für den Belüftungsboden (Abb. 2) gibt es verschiedene Bauweisen, die später erläutert werden.

Das Trocknungsaggregat (Abb. 2) besteht aus normalen Radialgebläsen, wie wir sie für konventionelle Satzrocknungsanlagen kennen, und einem dazugehörigen Warmluftherzeuger. Die Leistung wird durch die Silogröße bestimmt. Sehr große Anlagen erhalten auch zwei oder drei Gebläse.

Speziell für die Trocknung von Körnermais und anderen sehr feuchten Ernteprodukten, die erst im Herbst geerntet werden, sollten senkrecht an der Innenseite der Silowand alle 25 cm Kondensationsschienen (Abb. 2) angebracht werden. Das sind belüftete Dreiecksrohre, die Kondensatbildung an der Silowand verhindern.

Wichtig sind auf dem Silodach ausreichend viele Ablufthauben (Abb. 2), damit die feuchtwarme Abluft schnell aus dem Dachraum entweichen kann und es keine Kondensation in den Nachtstunden gibt.

Silotrockner, die als Durchlauftrockner arbeiten, sind mit einer zweiarmigen Fegeschnecke ausgerüstet, die in der Lage ist, das Getreide aus der untersten Schicht des Stapels zu entnehmen. Die Leistung dieser Fegeschnecken kann deutlich geringer sein als die Leistung der Fegeschnecken aus Satzrocknungsanlagen, weil die Entleerung des Silos in regelmäßigen Abständen während der gesamten Trocknungsdauer erfolgt. Außerdem sind die Rührschnecken deutlich kürzer als in Satzrocknungsanlagen, damit die Fegeschnecke nur gut getrocknete Ware entnimmt und nicht frisch durchmischte Körner mit höherem Feuchtegehalt.

Sonder-Bauweisen, die nicht in Rundsilos eingebaut sind, werden später behandelt.

3. Arbeitsverfahren

3.1 Trocknen

Das Trocknen des Erntegutes ist auf allen Betrieben die wichtigste Aufgabe der Anlagen. Neben dem gewünschten Trocknungseffekt ist vor allem das Mischen und Reinigen des Erntegutes sowie das Schwitzen des Trocknungsgutes zur Einsparung von Energie von Bedeutung. Diese Verfahren sollen hier näher erläutert werden.

3.2 Mischen

Die eingebauten Rührschnecken werden eingeschaltet, sobald ca. ein Meter Erntegut im Silo liegt. Sie arbeiten kontinuierlich während der gesamten Trocknungs- und Rückkühlzeit. Dabei wird auf der gesamten Schneckenlänge Getreide aufgenommen und nach oben gefördert, so dass eine gute Vermischung des Lagergutes erfolgt. Das Durchmischergebnis lässt sich durch Messung der Kornfeuchte erkennen, wie aus Tabelle 1 ersichtlich wird.

Tab. 1: Erntefeuchtegehalte von Winterweizen im Silotrockner

Feuchtegehalte ⁴⁾ Wi.-Weizen												
Einzelwerte der Feuchtegehalte im Tagesablauf in %											Mittelwert	Schwankungen
Erntegut ¹⁾	20,7	18,6	18,4	17,0	16,4	16,2	17,1	17,7	18,1	19,5	17,96%	20,7-16,2%
Lagergut ²⁾	18,0	17,3	17,1	17,2	16,9	16,5	17,0	17,2	16,9	17,9	17,19%	18,0-16,5%
Stiratorgut ³⁾	17,0	16,3	16,8	17,1	16,7	16,8	17,0	16,8	16,5	17,0	16,80%	17,0-16,5%

1) Ungereinigte Proben vom Anhänger an der Annahmegrube

2) Vorgereinigte Proben aus Trocknungssilo vor Stiratordurchmischung

3) Mit Stirator durchmischte Proben bei Siloentleerung

4) Feuchtegehalte im Tagesablauf

Die Werte aus Tabelle 1 sind ermittelt auf einem Betrieb in Schleswig-Holstein. Im Tagesverlauf gab es hier Feuchtigkeitsschwankungen von 4,5 %. In der Nähe von Knicks oder Waldrändern und bei Lagergetreide kann man noch mit deutlich höheren Schwankungen im Tagesverlauf rechnen. Solche Feuchtigkeitsschwankungen erschweren die exakte Regelung jeder Trocknungsanlage. Außerdem muss mit Abzügen beim direkten Verkauf des Getreides in der Ernte gerechnet werden.

Feuchtegehaltsschwankungen beim Raps bewegen sich auf ähnlichem Niveau, sofern der Raps aus dem Stand gedroschen und nicht chemisch abgetötet wird.

Beimengungen im Erntegut haben oft einen höheren Feuchtegehalt als Getreidekörner. Werden diese beim Vorreinigen bereits aussortiert, reduziert sich der Feuchtegehalt im Lagergut, wie in Tabelle 1 erkennbar. Noch wichtiger ist aber die weitere Reduzierung der Feuchtigkeitsschwankungen im Erntegut und somit ein einfacheres Handling der Ware. Wird dann noch mit den Stiratorschnecken (Rührschnecken) der gesamte Getreidestapel vermischt, erhält man eine weitgehend

homogene Ware mit geringerem Feuchtegehalt. Immer mehr Praktiker erkennen diesen Vorteil der Rührschnecken und ziehen deshalb während der Ernte auch das trockene Getreide über den Silotrockner, um spätere Wärmenester im Lager zu vermeiden. Die Energiekosten für dieses Verfahren liegen bei einem Trockner mit 500 t Inhalt und einer Förderkapazität von 80 t/h bei ungefähr 1,0-1,5 kWh je Tonne Getreide oder bei 1,0-1,5 Cent je Dezitonne. Bei der Entleerung des Silos sollte das Erntegut über den Windsichter ein zweites Mal gereinigt werden.

3.3 Reinigen

Die Rührschnecken haben auch eine Reinigungswirkung. Während der Arbeit wird dabei intensiv an den Getreidekörnern gerieben. Das bewirkt einen Abrieb an der Kornoberfläche - zwar mit zusätzlicher Staubentwicklung - aber auch eine weitere Entgrannung der Körner und eine zusätzliche Entspelzung von schlecht ausgedroschenen Ährenspitzen. Nach Untersuchungen der bayrischen Landesanstalt für Landwirtschaft sitzen 70 bis 80 % der Mykotoxine bildenden Pilze auf der Kornoberfläche und auf den Spelzen. Diese Pilze lassen sich nach Versuchsergebnissen der LUFA Münster durch eine intensive Reinigung zu 60 bis 65 % von den Körnern entfernen. Das Abreiben der Pilze von den Körnern kann aber nur dann erfolgreich sein, wenn der eingebaute Vorreiniger auch bei der Siloentleerung verwendet werden kann.

Eine ähnlich positive Wirkung erreicht auch der Kornknecht als mobile Röhreinrichtung (s. Kap. 7.2, Seite 1172).

Gleichzeitig bewirken die Rührschnecken aber auch eine Steigerung des Bruchkornanteiles am Erntegut. Ein übertriebenes Rühren wäre nicht gut. Es reicht, wenn die Rührschnecken während der Druschzeit laufen und nachts abgeschaltet werden.

3.4 Schwitzen

In der amerikanischen Literatur und teilweise in der deutschen Wissenschaft wird das Schwitzen auch als Dryaeration bezeichnet. Je größer der Trocknungsbehälter und je größer die Körner des Erntegutes, desto sinnvoller ist ein Schwitzprozess während der Trocknung. Während dieses Schwitzprozesses ruht der Trocknerinhalt bei der angewendeten Trocknungstemperatur, wird aber nicht mit Luft durchblasen. Ziel dieses Verfahrens ist ein besseres Aufschließen der Kornschale und eine Feuchtigkeitswanderung vom Korninneren an die Kornaußenschichten. Mit diesem Vorgang lassen sich bei der Körnermaistrocknung bis zu 30 % der Energie einsparen. Bei Getreide und Raps wendet man dieses Verfahren für die Resttrocknung an. Der Brenner wird also bei einem höheren Feuchtegehalt der Körner ausgeschaltet, die Resttrocknung erfolgt nur noch mit reiner Außenluft und

der Restwärme aus den Körnern. Was man mit dieser Schwitz Trocknung erreichen kann, zeigt Tabelle 2.

Tab. 2: Daten zum Schwitzprozess bei der Trocknung im Silotrockner

Feuchtigkeitsrückgang in % durch Kaltbelüftung (Schwitzen) ¹⁾					
	Korntemperatur ²⁾				Schwitzdauer ³⁾ (Std)
	+10 °C	+20 °C	+30 °C	+40 °C	
Raps	0,3	0,6	0,9	—	4-2 Std
Getreide	0,5	1,0	1,5	2,0	6-3 Std
Erbsen	0,7	1,4	2,1	2,8	8-6 Std
Ackerbohnen	0,8	1,6	2,4	3,2	20-10 Std
Körnermais					

1) Feuchtigkeitsausgleich zwischen Korninnerem und Kornschale

2) Temperaturniveau über Lagertemperatur = Absenkung durch Kühlung

3) Je höher die Korntemperatur desto geringer die Schwitzdauer

Länger als die angegebenen Zeiten sollte man den Schwitzprozess nicht durchführen, weil sonst Keimfähigkeit und Triebkraft der Körner leiden.

Bei Getreide kann man also durch Kühlung etwa 1 % Feuchtigkeit her austrocknen und durch den Schwitzprozess zusätzlich 1 % Feuchtigkeit entziehen. Bei der Rückkühlung von Körnermais lässt sich die Feuchte sogar um 2,4 – 3,2 % reduzieren (s. Tabelle 2).

4. Satz Trocknung

Silo-Satz Trocknung ist bei uns das am häufigsten eingesetzte Silo-Trocknungsverfahren. Von allen neu erstellten Silotrocknern sind wahrscheinlich nur drei Anlagen als Durchlauftrockner ausgerüstet worden. Das liegt in erster Linie an den deutlich geringeren Investitionen. Beim Satz Trocknungsverfahren wird das Silo zu Beginn ca. einen halben Meter hoch gleichmäßig mit gereinigtem Feuchtgut befüllt, bevor das Trocknungsaggregat gestartet wird. Nach weiterer Befüllung um einen weiteren halben Meter sollten die Rührschnecken gestartet werden. Ist das Silo bis zur maximalen Füllhöhe angefüllt, wird so lange getrocknet, bis der gewünschte Endfeuchtegehalt erreicht ist. Eine Rückkühlung im Trocknungssilo ist nur dann erforderlich, wenn das Trockengut nach der Entnahme aus dem Silo nicht sofort zurückgekühlt werden kann.

4.1 Planungsdaten Satz Trocknung

Silo-Satz Trockner werden meistens als Einzelsiloanlage, in wenigen Fällen aber auch als Zwillingsanlage betrieben. Zwillingsanlagen haben den großen Vorteil, dass die

Silos nicht während der Nacht entleert werden müssen, sondern dieses am Tage geschehen kann.

Welche Planungsdaten bei Silo-Satztrocknungsanlagen zu berücksichtigen sind, zeigt Tabelle 3.

Tab. 3: Planungsdaten für Silo-Satztrocknungsanlagen

Planungsdaten Silo-Satztrockner für Raps und Getreide		
Planungswert	Einzelanlage	Zwillingsanlage
Siloinhalt	Zweifache Tagesdruschmenge	2 x zweifache Tagesdruschmenge
Vorreinigung	unbedingt erforderlich, Leistung wie Annahme	unbedingt erforderlich, Leistung wie Annahme
Befüllleistung	Mährdruschleistung	Mährdruschleistung
Zeitdauer für Trocknung (4,0 %)	ca. 38 Stunden	ca. 47 Stunden
Zeitdauer Trocknerentleerung	Max. 10 Std.	Max. 20 Std.
Luftrate ⁴⁾ bei 4,0 % FE. = NL ¹⁾	135 m ³ /h je t Siloinhalt ³⁾	110 m ³ /h je t Siloinhalt
Luftrate bei 3,0 % FE. ²⁾	100 m ³ /h je t Siloinhalt	85 m ³ /h je t Siloinhalt
Luftrate bei 2,0 % FE. ²⁾	70 m ³ /h je t Siloinhalt	55 m ³ /h je t Siloinhalt
Wärmebedarf	7,5 kW je 1000 m ³ Luftdurchsatz	7,5 kW je 1000 m ³ Luftdurchsatz
Anzahl Mischschnecken	mind. 1 je 150 t Inhalt	mind. 1 je 150 t Inhalt

1) NL = Nennleistung

2) FE.= Feuchteentzug

3) bezogen auf trockenen Weizen

4) Luftrate = m³ Luft je t Getreide je Stunde

Die Daten zeigen, dass man bei einer Zwillingsanlage einen kompletten zweiten Behälter benötigt, wenn man durchgehend zwei Tage in jedem Silo trocknen will. Die Investitionen werden dadurch deutlich höher ausfallen als bei einer Einzelanlage. Für die Vorreinigung reicht ein herkömmlicher Windsichter aus, sofern dieser eine Verteilscheibe eingebaut hat.

4.2 Praxisergebnisse

In den folgenden Kapiteln sind sowohl Erfahrungen und Messungen aus deutschen Praxisanlagen wiedergegeben als auch Hinweise von Hersteller- und Vertreiberfirmen eingearbeitet.

4.2.1 Siloauswahl

Grundsätzlich sind alle Stahlblech-Rundsilos für eine Silotrocknung einsetzbar, sofern die erforderlichen statischen Anforderungen eingehalten werden. Wichtig ist eine Dachneigung von mind. 25°, damit genügend Platz für den Einbau des Verteilers vorhanden ist. Die tatsächliche Bauhöhe bis zur Traufe ist je nach Wahl des Belüftungsbodens und dem Einbau für die Stiratoranlage 0,60 bis 1,20 m höher

zu wählen. Das ist vor allem bei großen Silodurchmessern wichtig. Zur Zeit werden Silotrockner mit einem Durchmesser bis zu 15,0 m angeboten. Die eingebauten Rührschnecken erlauben eine Lagerhöhe für das Trocknen von max. 5,5 m.

Achten Sie darauf, dass die Silowelle flach genug ist, damit weder Getreide noch Staub auf den Wellen liegen bleiben können.

Für den normalen Silo-Satztrocknungsbetrieb sollte das Silo zwei Tages-Druschmengen fassen. Die Anlage wird im 48-Stunden-Rhythmus betrieben, dabei aber mehrmals mit der gleichen Fruchtart hintereinander befüllt.

Kleinere Betriebe richten dagegen die Behältergröße nicht nach der Tages-Druschmenge, sondern nach der maximal anfallenden Erntemenge einer Einzelfrucht aus der Fruchtfolge. Auf diesen Betrieben wird dann das Silo für jede Frucht nur einmal während der Ernte gefüllt.

Welche Silogröße bei den zu erwartenden Erntegutmengen angemessen ist, zeigt Tabelle 4.

Tab. 4: Siloinhalte für Silotrockner

Silodurchmesser (m)	15,0	14,0	13,0	12,0	11,0	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0
Silo-Gesamthöhe¹⁾ (m)	15,4	14,8	14,2	13,6	13,0	12,4	11,8	11,2	10,6	10,0	9,4
Siloinhalt (m³)	971	846	730	622	522	432	350	276	212	155	108
Siloinhalt (t Weizen)	729	635	547	466	392	324	262	207	159	117	81

1) Silohöhe fertig aufgebaut, incl. Laufsteggeländer

Während der Getreideernte mit Feuchtegehalten bis zu ca. 25 % gibt es keine Kondensationsprobleme an der Silo-Innenwand. Bei der Trocknung von Körnermais mit höheren Trocknungstemperaturen im kälteren Oktober besteht aber durchaus Gefahr durch Kondensierung. Zur Vermeidung von Kondenswasser bieten alle Hersteller perforierte Kondensations-Belüftungsschienen an, die im Abstand von 25-30 cm senkrecht an der Siloinnenwand montiert und mit Warmluft aus dem Belüftungsbodenbereich beblasen werden. Diese intensivere Belüftung an der Silowand verhindert Kondensatbildung an der Silowand (s. Abb. 2).

Zur schnellen Abführung der feuchtwarmen Trocknungsluft aus dem Silo muss das Dach mit ausreichender Anzahl von Ablufthauben versehen sein. Diese Ablufthauben sollten möglichst weit in der Silomitte angebracht sein, damit sich nicht unter dem Dach Stauwärme sammelt, die zu Kondensation an der Dachfläche führt.

In früheren Jahren wurden diese Ablufthauben zusätzlich mit Axialventilatoren ausgerüstet, um den möglichen Luftdurchsatz zu erhöhen. Wählt man die Anzahl der Ablufthauben so aus, dass die Abluftgeschwindigkeit in den Hauben maximal 10 m/s beträgt, kann man auf die Ventilatoren verzichten. Bei einigen Bauweisen der

Ablufthauben können allerdings Flugschnee und Regen bei Sturm in das Silo eindringen. Deshalb liefert die Firma Geerds für gefährdete Standorte auch verschließbare Ablufthauben (Abbildung 3). Diese Hauben werden nach der Beendigung der Trocknungskampagne mit einem festmontierten Gestänge einzeln verschlossen. Beim späteren Kühlen des Lagergutes müssen sie aber wieder geöffnet werden.



Abb. 3: Verschließbare Dach-Ablufthaube vor der Montage

Ablufthauben sollten mit einem Schutzgitter gegen das Eindringen von Vögeln gesichert sein.

Während der Erntekampagne muss die Bedienungsperson regelmäßig das Silo besteigen, um es vollständig zu entleeren. Es ist gut, wenn dann das Silo eine bequeme Einstiegs Luke hat. Die größten Luken liefert serienmäßig Firma Wellenbrock (s. Abb. 1).

Für die Kontrolle des Trocknungsvorganges und die Entleerung ist im Silo eine Beleuchtung dringend erforderlich. Diese muss gegen Staub und Feuchtigkeit besonders geschützt sein.

4.2.2 Förderleistung

Fast alle Anlagen haben einen Senkrechtförderer mit einem angebauten Windsichter, der gleichzeitig für Befüllung und Entleerung des Silos genutzt werden kann.

In den USA setzt man dagegen häufig lange, schlepperbetriebene, mobile Rohrschnecken ein. Das senkt zwar die Investitionen, erschwert aber den Anbau eines Windsichters.

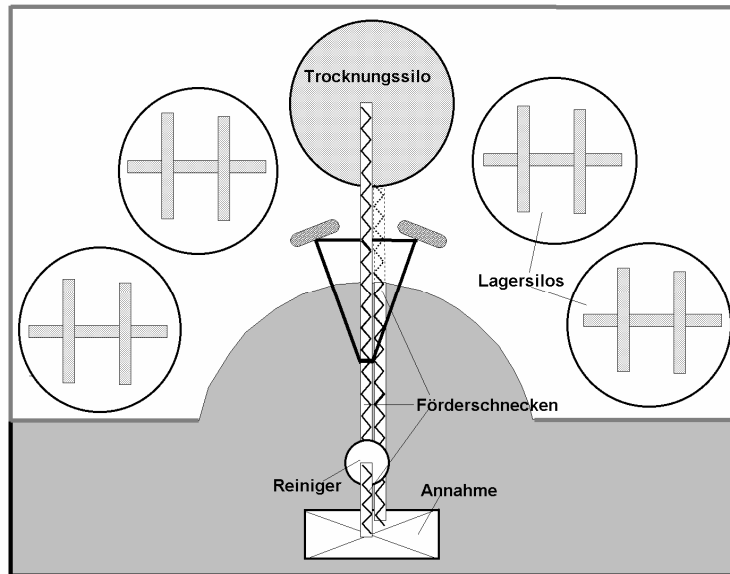


Abb.4: Silotrockneranlage mit mobiler Fördertechnik (Aufsicht von oben)

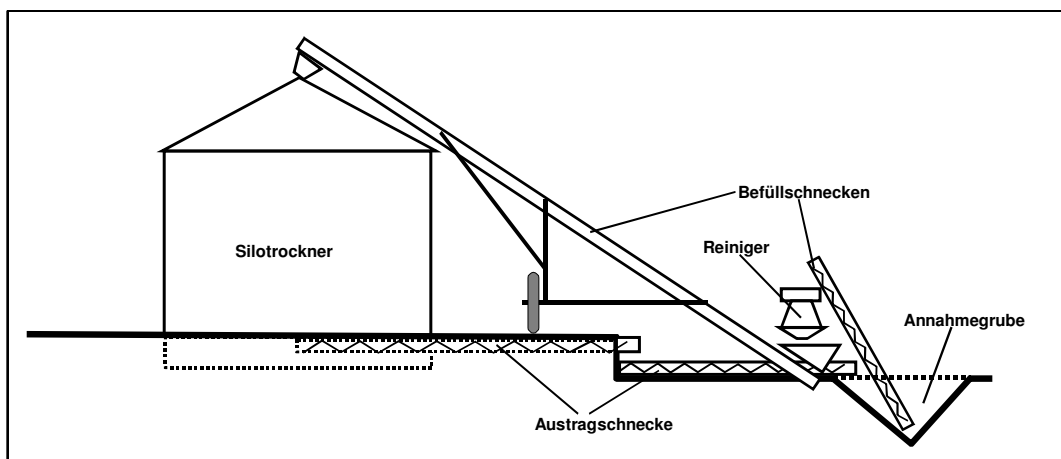


Abb. 5: Silotrockner mit mobiler Fördertechnik (Seitenansicht)

Abbildung 4 zeigt einen Silotrockner und vier Lagerzellen, ausgerüstet mit Unterflur-Belüftungskanälen. Annahmeschnecke und Windsichter sind hier fest montiert. Die folgende mobile Rohrschnecke ist mit schwenkbaren Rädern bestückt und läßt sich in Ein-Mann-Arbeit über alle Siloeinläufe schwenken. Die Austragschnecke des Silotrockners ist bis in die Annahmegrube verlängert worden, damit man auch bei der Trocknerentleerung mit dem Windsichter arbeiten kann. Die Silos stehen auf einem erhöhten Fundament, damit das Fahrwerk der Rohrschnecke problemlos über die Austragschnecke hinweg laufen kann (Abb. 5).

Alle Silotrockner benötigen eine höhere Leistung für die Entleerung als für die Befüllung. Für die Silobefüllung reicht eine Förderleistung, die der Mährescherleistung entspricht. Die vollständige Siloentleerung sollte dagegen innerhalb von 10 Stunden erledigt sein, weil sonst zu viel Trocknungszeit verloren geht. Man benötigt z.B. für die Siloentleerung bei einem Siloinhalt von 500 t Weizen eine mittlere Entleerleistung von 60-80 t/h, damit das Silo auch bei feuchter Gerste schnell genug entleert werden kann.

Größter Engpass ist oft die Leistung der freilaufenden Fegeschnecke. Ca. 40-50 % des Siloinhaltes müssen bei der Entleerung von dieser Fegeschnecke silomittig zur fest eingebauten Austragschnecke gefördert werden. Hier sollte an Leistung nicht gespart werden. Laut Herstellerangaben kann man bei den Fegeschnecken mit folgenden theoretischen Maximalleistungen bei der Weizenförderung rechnen (Tab. 4).

Tab. 4: Förderleistung von Fegeschnecken bei 250 U/min (theoretische Maximalleistung)

Schneckenwendel-Durchmesser (cm)	Förderleistung (t/h)
15	40
20	65
25	105

Bei Messungen im Weizen unter Praxisbedingungen haben wir jedoch immer nur ca. 75 % dieser Maximalleistungen erreicht. Bei Gerste liegen die Leistungen um weitere ca. 20-25 % niedriger.



Abb.6: Antriebsrad einer Fegeschnecke mit Getriebeuntersetzung

Leistungsfähige Fegeschnecken haben am äußeren Ende des freilaufenden Fegearmes ein Antriebsrad mit eingebauter Getriebeuntersetzung (Abb. 6). Der Vorschub der Fegeschnecke ist aber nur selten identisch mit den Radumdrehungen

des Antriebsrades. Dadurch entsteht ein erheblicher Abrieb am Reifenmaterial des Antriebsrades. Auf einigen Betrieben muss dieser Reifen jährlich erneuert werden. Preiswerte Erneuerung und einfache Montage des Reifenmaterials sind deshalb wichtig.

Der Antrieb der Fegeschnecke erfolgt immer über ein Winkelgetriebe vom Ende der Austragschnecke aus. Dieses Getriebe ist eine erhebliche Störquelle, wenn im Satztrocknungssilo der Fegearm gestartet wird, solange dieser noch mit Getreide bedeckt ist. Das Anlaufen des Fegearmes führt dann schnell zu einer Überlastung des Getriebes und zum Bruch der Zahnräder. Achten Sie also darauf, dass der Fegearm beim ersten Anlaufen vollständig frei liegt und nicht mehr von Getreide bedeckt ist.

Die Fegeschnecken haben ein Räumschild hinter dem Schneckenwendel laufen, damit beim Entleeren wenig Getreide im Silo zurückbleibt. Nach einmaligem Rundlauf des Fegearmes bleibt dennoch eine Körnerschicht von 2-5 cm im Silo liegen. Diese Schicht kann bedenkenlos bei erneuter Befüllung mit der gleichen Frucht liegen bleiben. Nur bei Fruchtwechsel ist das Silo vollständig zu säubern.

4.2.3 Verteilschleuder

Für die Trocknung haben Silobehälter meistens Durchmesser von 10 m und mehr. Das gleichmäßige, schichtweise Befüllen ist also nur mit einem elektrisch betriebenen Drehverteiler möglich. Dieser arbeitet wie der Wurfteiler eines Düngerstreuers. Die Verteilschleudern hängen an Ketten mittig unter dem Siloeinlauf. Je mehr Ketten zur Befestigung des Verteilers benötigt werden, desto größer wird der Anteil an Bruchkorn. Nach dänischen Untersuchungen erhöht sich der Bruchkornanteil bei drei Ketten um ca. 0,5 %.



Abb. 6: Verteilschleuder mit Keilriemenantrieb und stufenlos regelbarem Motor. (Werkbild Geerdts)

Zum Ausgleich unterschiedlicher Hektolitergewichte und zur Anpassung an verschiedene Silodurchmesser müssen diese Verteilschleudern unbedingt einen Antriebsmotor haben, der stufenlos in seiner Drehzahl regelbar ist. Dabei ist der Keilriemenantrieb von „Sukup“ deutlich funktionssicherer als der Reibradantrieb von „DMC“, der bei Überlastung zum Rutschen neigt.

Keine Verteilschleuder kann Kaff und Spelzen gleichmäßig über die gesamte Stapeloberfläche verteilen. Diese bleiben immer in der Mitte des Silos – bei einem Radius von 2-3 m - liegen und erschweren in diesem Bereich die Trocknung des Erntegutes. Eine gute Vorreinigung ist also besonders wichtig. Der erste Anhänger beim Entleeren des Silos kann also einen deutlich höheren Besatz und auch eine höhere Feuchtigkeit enthalten.

Die Verteilschleudern legen das Erntegut ringförmig im Silo ab. Das Bedienungspersonal sollte darum mehrmals während des Befüllens kontrollieren, ob die Drehzahl des Verteilers verändert werden muss, damit im Silo eine ebene Oberfläche entsteht. Unebenheiten auf der Stapeloberfläche von 10% der gesamten Lagerhöhe sind dabei durchaus zu akzeptieren. Die meisten Landwirte kontrollieren die Befüllung des Silos nach jeweils 3 – 5 Anhängeranlieferungen.

Die Verteilschleudern erlauben zusätzlich auch eine Feineinstellung des Wurfteilers durch Verstellen der Wurfchaufeln. Diese Einstellung sollte aber nur bei der ersten Inbetriebnahme erfolgen und nicht regelmäßig während des Trocknungsbetriebes. Man erreicht die Verteilschleuder während des Betriebes nur, wenn diese hoch genug unter der Firststüfung des Silos hängt, und man das Silo durch diese Öffnung sicher besteigen kann.

Die Leistungen der Verteilschleudern reichen von 40-135 t/Std. Probleme gibt es vor allem bei Annahmelleistungen unter 30 t/h. Der Schleuderteller ist dann im Betrieb nicht mehr gleichmäßig mit Getreide belegt und das Silo wird einseitig mit Erntegut angefüllt. Die schiefe Befüllung lässt sich durch die Rührschnecken später nicht mehr ausgleichen. Das Gleiche geschieht auch, wenn der Verteiler nicht exakt vertikal in das Silo eingebaut ist.

4.2.4 Röhreinrichtung

Die Röhreinrichtung ist das Herzstück eines jeden Silotrockners und wird von den verschiedenen Anbietern auch als Fastir, Stirall Unidriv, Stirring Device, Stir-Ator oder Stirator bezeichnet. Dabei handelt es sich immer um eine bestimmte Anzahl senkrecht hängender Mischschnecken, die im Silo gleichzeitig kreisförmig und radial bewegt werden. Diese Schnecken sind gemeinsam an einer Traverse befestigt, die in der Silomitte an Halteketten am Silodach hängt und an der Außenseite auf einer Führungsschiene läuft, die an der Silowand befestigt ist (s. Abb. 2). Die Stromversorgung der Schnecken und der Antrieb der Traverse erfolgt über einen Schleifringkollektor in der Silomitte. Sobald eine der Schnecken nicht mehr senkrecht arbeitet, wird der Vorschub der Traverse automatisch angehalten und die Stromzuführung des Vorschubes solange unterbrochen, bis alle Schnecken wieder exakt senkrecht arbeiten.

Diese Mischschnecken haben einen steigenden Wendel. Dadurch findet nicht nur einfach eine Getreideförderung von unten nach oben statt, sondern auch eine Vermischung des Lagergutes auf der vollen Schneckenlänge. Diese Mischwirkung reicht bis zu einem Abstand von 50-100 cm neben der Schnecke. Die Rührarbeit der Schnecken ist so ausgelegt, dass der Siloinhalt im Laufe von 24 Stunden 2-3 mal durchmischt wird, sofern das Silo vollständig gefüllt ist.

Die Anzahl der Mischschnecken richtet sich sowohl nach der Größe des Trocknungssilos als auch nach der Trocknungstemperatur und dem gewünschten Feuchteentzug. Für das Trocknen von Ährengetreide reicht es, wenn je 150 t Siloinhalt eine Mischschnecke installiert wird (siehe Tabelle 3); bei der Trocknung von Körnermais mit bis zu 60°C Warmlufttemperatur sollte man besser mindestens eine Schnecke je 100 t Siloinhalt einplanen.

Eine größere Anzahl an Schnecken verbessert weder die Mischwirkung noch beschleunigt es den Trocknungsvorgang, erhöht aber den Abrieb an den Körnern und die Staubentwicklung.

Derzeit gibt es vier verschiedene Rührsysteme in den USA, von denen drei auch bei uns in Europa angeboten werden:

1. Das DMC, Stir-Ator System, arbeitet mit einem Verbund an mobilen Schnecken. Alle Schnecken werden gemeinsam spiralförmig von außen nach innen durch das

Silo geführt und wandern auf entgegengesetztem Weg wieder zurück zur Außenwand (Abb.8). Laufen die Schnecken an der Außenseite des Silos, dann arbeitet das System mit verringertem Vorschub, laufen die Schnecken in der Silomitte, dann arbeiten sie mit schnellstmöglichem Vorschub. Dadurch bleibt die Rührwirkung weitgehend konstant. Eine zusätzliche Einebnung der Stapeloberfläche lässt sich mit diesem System nur schwer erreichen, da die Bewegungsbahnen der Schnecken fast in gleicher Richtung erfolgen wie der ringförmige Abwurf des Getreides im Silo durch den Schleuderverteiler.

- Das Sukup Fastir System arbeitet mit einer Einzelschnecke, die immer an der Silowand entlang läuft, um Kondensation an der Außenwand zu vermeiden, und mit einem Verbund aus mehreren mobilen Schnecken, die blumen- oder sternförmig durch das Silo geführt werden (Abb.8). Durch diese mehr radiale Bewegungsrichtung der Mischschnecken findet eine stärkere Einebnung der Stapeloberfläche statt. Die mobilen Verbundschnecken laufen auch nicht über den vollen Radius des Silos, sondern sparen den Außenbereich des Silos aus, weil hier die Wandschnecke läuft. Sie bewegen sich nur über den halben Radius, denn in der Mitte des Silos läuft eine gesonderte mobile Mischschnecke (Abb.8). Diese Aufteilung der mobilen Mischschnecken erlaubt eine gute Anpassung der Schneckenanzahl an die unterschiedlichen Getreidemengenanteile im Silo. Der Einfachstirator bewegt sich zwar über 50% des Silodurchmessers, bearbeitet aber nur ca. 25 % der Getreidemenge. Im Außenbereich des Silos liegen dagegen ca. 50 % des Siloinhaltes, die von zwei Mischschnecken bearbeitet werden. Die letzten 25 % des Siloinhaltes werden von der Wandschnecke durchmischt.

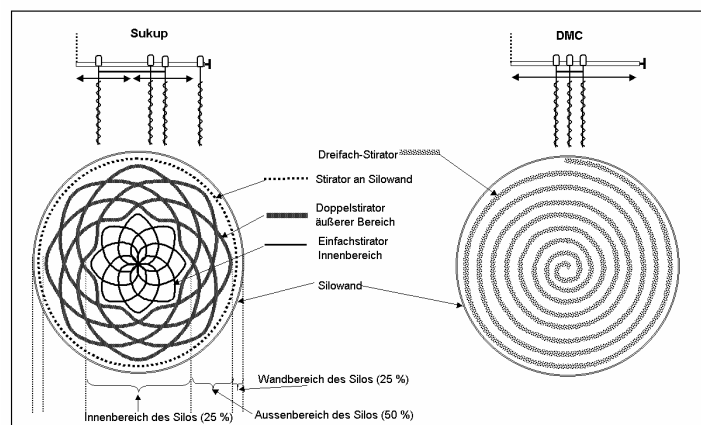


Abb. 8: Rührschneckensysteme von Sukup und DMC im Vergleich

- Beim Neco-Stirator laufen alle Stiratorschnecken wie bei DMC auf der Traverse gemeinsam von der Silowand bis in die Mitte des Behälters „spiralförmig“ durch das Getreide.

4. Das SPI–Stirall Unidriv System (Abb.9) wird bei uns in Deutschland nicht vertrieben. Es arbeitet mit Rührschnecken, die im Abstand von ca. 1,0 m fest an der rundlaufenden Traverse montiert sind. Bei einem Silodurchmesser von 12 m sind also 6 Rührschnecken im Einsatz. Alle Schnecken haben einen gemeinsamen Antriebsmotor, werden dann aber einzeln über Keilriemen angetrieben. Zum Ausgleich der zu bearbeitenden Getreidemengen sind die Rührschnecken in der Silomitte mit einem größeren Antriebsrad ausgerüstet, damit sie langsamer laufen, und die Schnecken an der Außenwand des Silos mit einem kleineren Antriebsrad, damit sie schneller laufen.

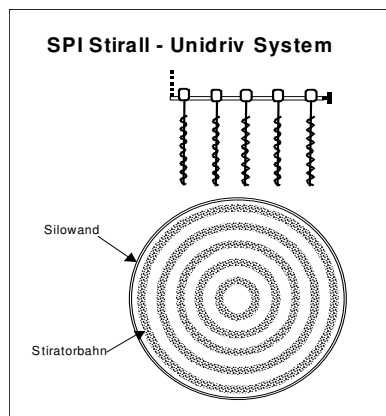


Abb. 9: Skizze der Stiratorbewegungen vom SPI-Rührsystem in einem Rundsilo

Die Hersteller von Silotrocknern warnen vor einem längeren Abschalten der Rührschnecken während des Trocknungsbetriebes mit erneutem Anschalten. Durch Kondensatbildung im Stapel besteht die Gefahr, dass die Schnecken nicht mehr einwandfrei arbeiten und im Extremfall das Silodach nach unten gezogen wird.

Die Rührschnecken reichen unten im Silo bis auf wenige cm über den mobilen Fegeschneckenarm, der immer im Getreide verbleibt. Die untere Getreideschicht wird also nicht mit vermischt, sondern ist immer der heißen Trocknungsluft ausgesetzt. Dieses Getreide macht aber nur einen Anteil am gesamten Siloinhalt von 5-8 % aus. Je nach Trocknungsdauer, -temperatur und Feuchteentzug erfolgt in diesem Bereich ein Rückgang der Keimfähigkeit auf teilweise unter 50 %. Daraus ergibt sich für den gesamten Siloinhalt ein Rückgang in der Keimfähigkeit von 2-5 %. Durch die Arbeit der Rührschnecken steigt an der Stapeloberfläche die Korntemperatur um 2-4°C und sinkt die Kornfeuchte um 0,2-0,5 %, weil trockneres und wärmeres Trockengut aus den tieferen Schichten an die Oberfläche gefördert wird. Schon nach einer halben Stunde sinkt die Korntemperatur wieder um den gleichen Wert und die Kornfeuchte steigt ebenfalls. Genaue Hinweise zu den Temperaturverläufen befinden sich im Kapitel 3.4.2.7.

Schief hängende Verteilschleudern erzeugen im Silo eine schräge Oberfläche des Getreidestapels. Dieses kann durch die Arbeit der Rührschnecken nicht ausgeglichen werden. Gleiches gilt für den Feuchteentzug. Bei geringerer Schütthöhe wird deutlich mehr Feuchtigkeit entzogen als bei höherer Auffüllung, wie Abbildung 10 zeigt.

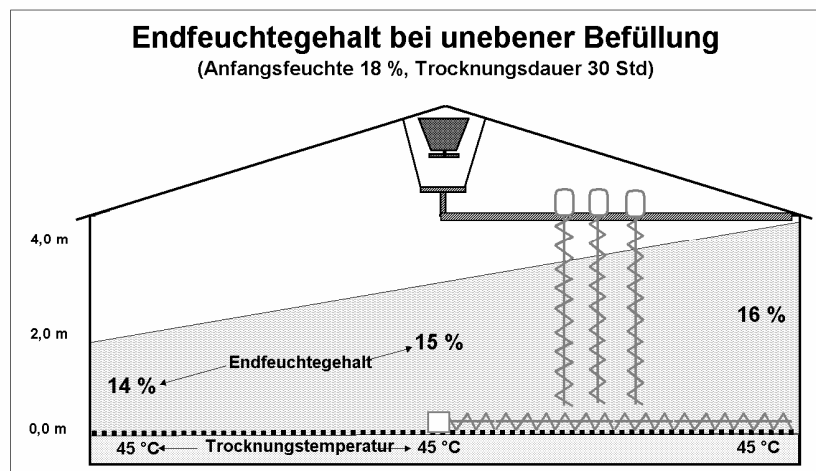


Abb. 10: Endfeuchtegehalte im Silotrockner bei unebener Befüllung

Die unterschiedlichen Feuchtegehalte werden auch bei der Entleerung des Silotrockners mit der mobilen Fegeschnecke nicht ausgeglichen.

4.2.5 Belüftungsboden

Silotrockner-Anlagen haben bei uns einen voll perforierten Belüftungsboden. Die verwendeten Abdeckbleche sind so abgekantet, dass die einzelnen Bleche nicht auseinander rutschen können (Abb.11). Die Abdeckbleche sollten quer eine Wellung haben, damit sie bei Belastung nicht durchhängen können. Diese Wellung erhöht außerdem die Belastbarkeit der Lochbleche um 50-60 %.

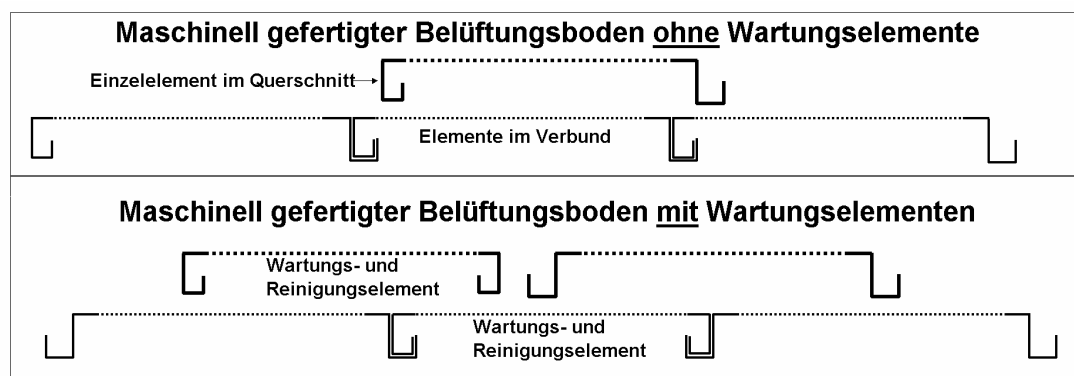


Abb. 11: Aufbau und Verbund der Lochbleche

Die normalen Elemente sind jeweils auf einer Seite nach innen und auf der anderen Seite nach außen gekantet. Sie werden bei der Montage ineinander und gleichzeitig am Unterbau eingehakt. Diese Montage erlaubt später das Herausnehmen einzelner Bahnen für die Reinigung des Belüftungsraumes nur bei vollständiger Demontage des Belüftungsbodens. Neuerdings gibt es für Getreide auch spezielle Reinigungselemente, bei denen beide Seiten nach innen gekantet sind. Diese Wartungs- und Reinigungselemente sind später einzeln einfach herausnehmbar. Eine Reinigungsmöglichkeit des Belüftungsraumes ist unbedingt einzuplanen, weil die Fegeschnecke immer Feinteile bei der Entleerung des Silos durch das Lochblech drückt. Außerdem muss der Belüftungsraum zu desinfizieren sein.

Die perforierten Bleche sind entweder mit Rundlöchern von 2,4 mm für Mais oder 1,00 mm bzw. 0,5 mm für Raps und Getreide versehen. Alternativ gibt es auch Bleche mit gestanzten Schlitzen, die nicht nach oben offen sind sondern zur Seite. Dadurch wird das Durchfallen von Feinteilen durch das Blech deutlich reduziert. Außerdem erlaubt das Stanzen der Schlitzbleche das Verwenden von dickeren Blechen.

Der Unterbau unter den Belüftungsblechen besteht firmenseitig entweder aus einzelnen abgekanteten Z-Blechen (Abb. 12) oder aus geschweißten Stahlelementen (Abb. 13).



Abb. 12: Unterbau aus einzelnen abgekanteten Z-Blechen mit viel Abrieb unter dem 1 mm-Siebboden

Die Sichtkontrolle des Belüftungsraumes ist bei diesen Blechen nicht so gut wie bei den geschweißten Unterkonstruktionen (Abb.13).



Abb. 13: Unterbau aus geschweißten, halbmondförmigen Blechhaltern

Der meiste Feinabrieb gelangt in den Belüftungsraum beim Entleeren von Gerste; am wenigsten Abrieb entsteht beim Entleeren von Weizen. Keine der kontrollierten Siloanlagen ist unter dem Belüftungsboden so sauber gewesen, dass eine regelmäßige Reinigung nicht erforderlich wäre. Je nach Intensität der Nutzung sollte man den Belüftungsraum nach 20-30 Entleerungen des Silos säubern und desinfizieren.

Serienmäßig gibt es Unterkonstruktionen mit Höhen von 13,4 bis 47 cm. Diese geringe Höhe und die vielen Stützen lassen aber ein Bekriechen des Belüftungsraumes nicht zu. Einige Landwirte haben deshalb eine Unterkonstruktion gebaut, die genug Raum lässt für die Reinigung mit einem Sauggebläse.

Abbildung 14 zeigt eine solche Unterkonstruktion.

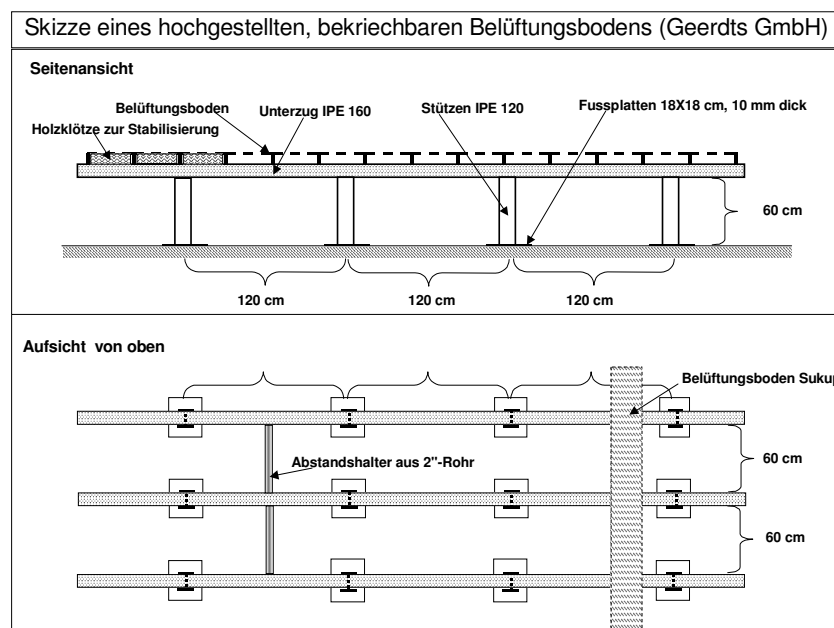


Abb. 14: Skizze eines hochgestellten, bekriechbaren Belüftungsbodens (Geerds GmbH)

Dieser erhöhte Belüftungsboden führt auch zu geringeren Luftgeschwindigkeiten unter dem Siebboden. Durchgelaufenes Getreide wird bei diesem System also nie fortgeblasen, bleibt als Kegel unter dem Belüftungsboden liegen und verstopft den undichten Siebboden von unten. Die Trocknungsleistung wird dadurch nicht beeinflusst. Nach der Ernte kann der Siebboden repariert und das durchgelaufene Getreide entfernt werden. In der Praxis sind Stahlstützen bis zu 1,0 m Länge gewählt worden, um mehr Platz unter dem Siebboden zu haben. Das Silo muss dann entsprechend höher gewählt werden. Einen Praxiseindruck vermittelt Abbildung 15.



Abb. 15: Bekriechbarer Belüftungsboden mit eingeschweißten Abstandshaltern und statisch erforderlichen Diagonalstreben.

In Regionen, die eher 1-2 % Feuchtigkeit dem Getreide entziehen wollen als 3-4 %, wo also die Anlage mit geringerer Luftrate ausgelegt werden kann, benötigt man nicht unbedingt einen durchgehenden Belüftungsboden, sondern kommt mit Unterflur-Belüftungskanälen aus. Ein solches Konzept zeigt Abbildung 16. Hier ist das Reinigen der Belüftungskanäle deutlich einfacher, kann aber nur bei entleertem Silo erfolgen.

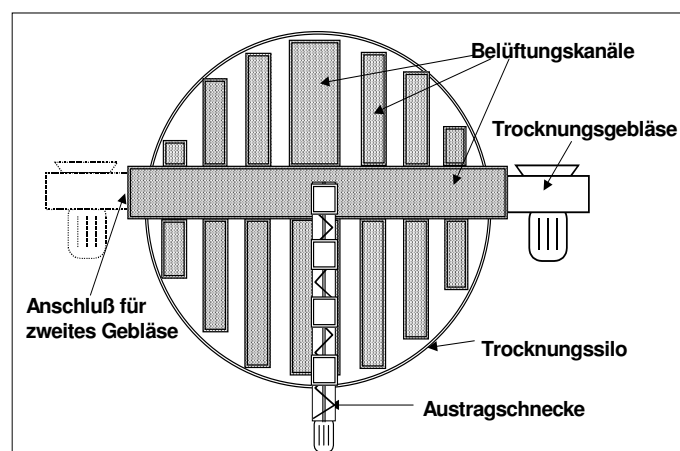


Abb.16: Silotrockner-Unterbau mit einzelnen Belüftungskanälen

Die Belüftungsbleche - wie in Abb. 11 dargestellt - erlauben, quer verlegt, Kanalbreiten bis zu 60 cm.

4.2.6 Warmlufterzeuger

Die Warmlufterzeuger für landwirtschaftliche Trocknungsanlagen bestehen fast ausnahmslos aus einem Gebläse und einem Brenner für Öl oder Gas mit oder ohne Wärmetauscher. Die bei uns angebotenen Silotrockner kommen zum größten Teil aus den USA und werden dort vornehmlich für die Körnermaistrocknung eingesetzt. Sie sind dort häufig mit Axiallüftern (Bauweise Stalllüfter) ausgestattet und arbeiten mit direkten Gasbrennern, die zwischen dem Gebläse und dem Trocknungssilo in den Luftkanal eingebaut sind. Diese Bauweise behindert den Luftdurchsatz ganz erheblich. Nach eigenen Messungen wird ca. 20 % weniger Luft durchgesetzt als bei einem Anlagenaufbau mit einem Brenner, der frei vor dem Trocknergebläse steht. Dadurch sinkt auch die Trocknungsleistung um ca. 20 %.

Die Gasbrenner aus den USA sind im Leistungsbereich von 10 – 100 % stufenlos regelbar und haben einen Arbeitsbereich, der auch für die Trocknung von sehr feuchtem Körnermais ausreicht.



Abb. 17: Warmlufterzeuger aus Radialgebläse und direktem Gasbrenner, eingebaut zwischen Gebläse und Trocknungssilo.

Bei uns werden in erster Linie Getreide und Raps in den Silotrocknern aufbereitet. Bedingt durch die verschiedenen Korngrößen der Früchte ergeben sich im Silo verschiedene Luftdurchsätze während der Trocknung und damit unterschiedliche Trocknungsleistungen. In den Firmenunterlagen werden stets nur die Werte für Winterweizen angegeben. Vergleichswerte für andere Früchte zu Winterweizen sind in Tabelle 5 angegeben.

Tab. 5: Strömungswiderstände und Trocknungsleistungen bei verschiedenen Erntegütern.

Fruchtart	Relativer Strömungswiderstand für die Trocknungsluft (%)	Relativer Luftdurchsatz (Trocknungsleistung) %
W.Weizen	100	100
W.Gerste	120	83
W.Roggen	110	91
Hafer	150	67
Raps	250	40
Körnermais	65	154
Erbsen	55	182
Bohnen	50	200

Tabelle 8 (S. 1157) zeigt, dass bei Silo-Satztrocknern Strömungswiderstände bis zu 250 mm Wassersäule auftreten können, wenn man Weizen trocknet. Es müssen also immer Radialgebläse (Bauweise Körnergebläse) eingesetzt werden, die ein höheres Druckvermögen als Axialgebläse haben, denn Raps hat einen Strömungswiderstand, der ungefähr viermal so hoch ist wie von Körnermais.

Für das Anwärmen der Luft wird in den meisten Fällen bei Silotrocknern Tankgas verwendet, um die Gasbrenner aus den USA nutzen zu können. Welche Brennerleistung dabei erforderlich ist, zeigt Tab. 6.

Tab. 6: Erforderliche Brennerleistung zum Anwärmen der Trocknungsluft in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur und der Trocknungstemperatur, angegeben in **kW** je 10000 m³ Trocknungsluft bei einem Wasserinhalt der Luft von max. 9,2 g/m³ (das entspricht 75 % rel. Luftfeuchte bei 15°C)

Temperatur der Außenluft (°C)	Temperatur der Trocknungsluft (°C)					
	35	40	45	50	55	60
0	110	125	140	155	170	185
5	93	108	123	138	153	168
10	77	92	107	122	137	152
15	60	75	90	105	120	135
20	43	58	73	88	103	118
25	27	42	57	72	87	102
30	10	25	40	55	70	85

Aus den Werten der Tabelle 6 läßt sich der Gasverbrauch errechnen (Tab.7) und das erforderliche Mindestvolumen des Gastanks festlegen, damit man sicher über ein Wochenende kommt.

Tab. 7: Gasbedarf für das Anwärmen der Trocknungsluft
(kg Gas je 10.000 m³ Trocknungsluft)

Temperatur der Außenluft (°C)	Temperatur der Trocknungsluft (°C)					
	35	40	45	50	55	60
0	9,5	10,9	12,2	13,5	14,8	16,1
5	8,1	9,4	10,7	12,0	13,3	14,6
10	6,7	8,0	9,3	10,6	11,9	13,2
15	5,2	6,5	7,8	9,1	10,4	11,7
20	3,7	5,0	6,3	7,6	8,9	10,2
25	2,3	3,6	4,9	6,3	7,6	8,9
30	0,9	2,2	3,5	4,8	6,1	7,4

Die Werte aus den Tabellen 6 und 7 gelten für Tankgas und eine Luftfeuchtigkeit entsprechend 75 % in der Außenluft bei 15°C. Die auftretenden Unterschiede im Gasverbrauch sind erheblich. So muss man beim Maistrocknen im Oktober durchaus mit einem Gasverbrauch von 16,1 kg je 10.000 m³ Luft rechnen, braucht aber für die Gerstentrocknung in den warmen Sommermonaten am Tage nur 4,9 kg Gas je 10.000 m³ Trocknungsluft. Will man auch nachts die Trocknungsluft ausreichend anwärmen, dann sollte man auch beim Getreide mit einem Gasverbrauch von ca. 10,0 kg je 10.000 m³ Luft rechnen.

4.2.7 Trocknungstemperaturen

Die Höhe der Trocknungstemperatur richtet sich bei allen Trocknungssystemen vor allem nach der Einwirkdauer der Warmluft auf das Feuchtgut, aber auch nach dem Feuchtegehalt des Erntegutes. Je länger die heiße Trocknungsluft auf die Körner einwirkt, desto geringer muss die Temperatur sein, will man Qualitätseinbußen an den Körnern vermeiden. Je feuchter das Erntegut ist, desto höher darf die Trocknungstemperatur sein, weil bei der Verdunstung von Wasser die Lufttemperatur deutlich zurückgeht.

Silo-Satz Trockner werden bei uns normalerweise so geplant, dass sie im „Zwei-Tage-Rhythmus“ arbeiten, wenn man die Nennleistung von 4 % Feuchtigkeitsentzug erreichen will. Innerhalb dieser Zeit wird das Feuchtgut ca. 38 Stunden getrocknet, anschließend ca. 10 Stunden das Silo entleert und dann für den folgenden Durchgang bis zu einer Höhe von ca. 50 cm gefüllt. Danach wird der Warmluftheizer erneut für den nächsten Durchgang gestartet. Bei diesem Betriebszustand und dem Einsatz der Stiratorschnecken darf man einen Silo-Satz Trockner für Getreide und auch für Raps mit einer Warmlufttemperatur von 45°C fahren, ohne Qualitätsminderung des Trockengutes zu erwarten. Bei Futtergetreide

werden in den Praxis auch Temperaturen bis zu 55°C gefahren. Ein Rückgang der Keimfähigkeit ist dann nicht immer zu verhindern.

Verändert man die Trocknungs-Lufttemperatur, dann ändert sich auch die Leistung eines Silotrockners. Als grober Anhalt gilt: mit jeweils 1°C Temperaturanstieg steigert man die Leistung um ca. 5 % bezogen auf die Ausgangstemperatur von 45°C, wie sie bei der Getreidetrocknung üblich ist. Genaue Daten finden Sie in Kap. 3.4.2.9: Leistung der Trocknungsanlage.

Die unteren 25-35 cm des Getreidestapels im Silo-Satzrockner können während der Trocknung nicht von den Stiratorschnecken durchmischt werden, weil hier die Fegeschnecke liegt. In diesem Bereich tritt auf grund der erhöhten Temperatur nach unseren Messungen im Mittel ein Rückgang der Keimfähigkeit von 35 % auf - mit Extremwerten bis zu 50 %. Je nach Schütthöhe im Silo handelt es sich hier aber nur um 5-12 % des gesamten Siloinhaltes. Daraus errechnet sich für den gesamten Siloinhalt ein Rückgang in der Keimfähigkeit von 2-5 %.

Aber: wer morgens eine Stunde früher mit dem Dreschen beginnt und in diesen unteren Bereich des Silotrockners Erntegut mit deutlich höherer Feuchtigkeit einlagert, kann die Qualitätseinbußen eindämmen.

Deutlich höher als der Verlust der Keimfähigkeit ist der Rückgang der Triebkraft in der getrockneten Ware. In unseren Keimversuchen wiesen ca. 20 % der gekeimten Körner deutliche Anomalien an den Keimlingen auf.

Erntegut mit Feuchtegehalten über 18,0 % muss manchmal auch drei und mehr Tage im Silotrockner getrocknet werden. In unseren Versuchen haben wir das Erntegut teilweise sogar bis zu 5 Tage trocknen müssen. Ein weitere Rückgang von Keimfähigkeit und Triebkraft war dabei nicht festzustellen.

Großkörnige Leguminosen sollten mit den gleichen Temperaturen wie Getreide getrocknet werden. Körnermais wird im süddeutschen Raum mit deutlich höheren Temperaturen von 60-65°C getrocknet.

Silo-Satzrockner sind also für alle Vermarktungsbereiche, die eine hohe Keimfähigkeit erfordern, nicht geeignet, sofern eine Trocknungstemperatur von 45°C oder mehr gefahren wird. Will man dennoch die Anlage für Saatgetreide nutzen, dann sollte man für den „Zwei-Tage-Betrieb“ die Warmlufttemperatur auf max. 30°C begrenzen.

Abbildung 18 zeigt, welche Temperaturen in einem Silo-Satzrockner entstehen, wenn man diesen mit einer Warmlufttemperatur von 45°C fährt. Gemessen wurden

die Werte im Abstand von ca. 20 cm von der Silowand in verschiedenen Bereichen. Das Diagramm zeigt, dass die gewünschte Lufttemperatur unter dem Belüftungsboden sehr schnell erreicht wurde. Die Korn-Luft-Mischtemperatur im Bereich der Fegeschnecke überstieg nach ca. 6 Stunden die kritische Temperatur von 30°C, bei der mit diesem System die Keimfähigkeit der Getreidekörner beeinträchtigt wird. Im Bereich der Stiratorschnecken wurden Temperaturen in drei verschiedenen Höhen gemessen. Die Werte sind so gleichmäßig, dass es ausreicht, die Temperatur nur an einer Stelle zu messen. Während der Trocknungsdauer von 38 Stunden überstieg die Korn-Luft-Mischtemperatur im Bereich der Stiratorschnecken nie den kritischen Wert von 30°C.

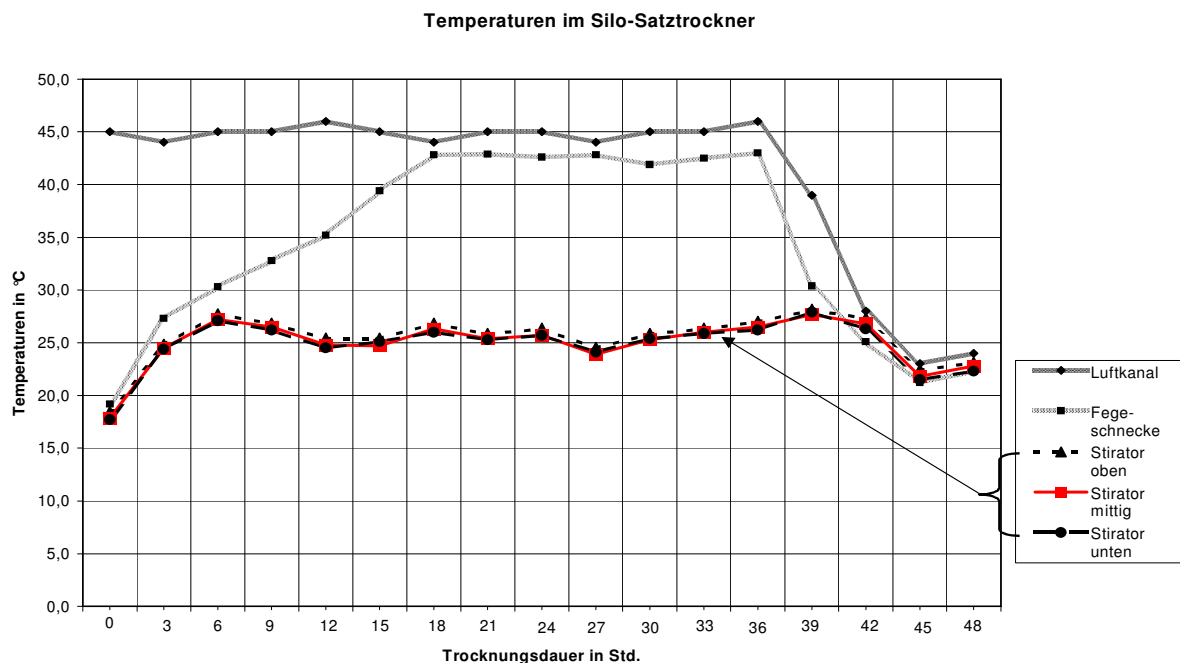


Abb. 18: Typische Temperaturverläufe während einer Weizentrocknung im Silo-Satztrockner innerhalb einer Trocknungsdauer von 38 Stunden

4.2.8 Feuchtigkeitsverlauf

In jedem Trockner erfolgt die Trocknung des Feuchtgutes immer an der Luft Eintrittsseite. Die Trockenschicht wandert dann durch das Lagergut zur Luftaustrittsseite. Das Getreide aus dem Bereich der Fegeschnecke, das nicht von den Rührschnecken vermischt wird, erfährt also die intensivste Trocknung. Hier wird das Erntegut weit untertrocknet und die Keimfähigkeit stark reduziert. Der Feuchteentzug im Fegeschneckenbereich ist ca. doppelt so hoch wie der geplante Feuchteentzug für die Gesamtpartie, wenn man die Trocknung durch Rückkühlung des Getreides mit einbezieht.

Wichtiger ist aber der Feuchteverlauf des Getreidestapels im Bereich der Rührschnecken. Abbildung 19 zeigt den Feuchtigkeitsverlauf während des Betriebes eines Silotrockners mit Weizen, der im „Zwei-Tage-Rhythmus“ arbeitet. Folgende Rahmendaten sind dabei berücksichtigt:

- ◆ Luftrate für 3 % Feuchtezug ausgelegt (100 m³ Luft/h je t Siloinhalt)
- ◆ Trocknungstemperatur 45 °C
- ◆ Trocknungsdauer 38 Stunden
- ◆ Rückkühldauer 1 Stunde
- ◆ Mähdruschdauer 12 Stunden

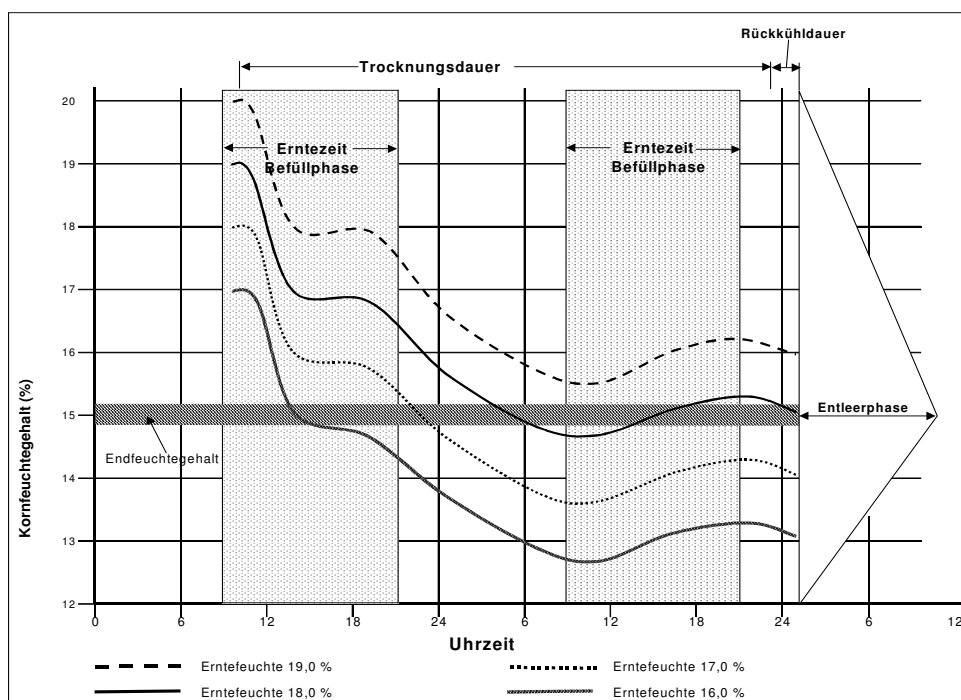


Abb. 19: Feuchteverlauf in einem Silotrockner bei zweitägiger Trocknung mit 45 °C

Die Kurven für den Feuchteverlauf in Abb. 19 zeigen zu Beginn der Trocknung eine schnelle Absenkung der Kornfeuchte. Ursache ist ein größerer Luftdurchsatz, weil das Silo nur wenig gefüllt ist und nur eine geringere Getreidemenge getrocknet wird. Dadurch ergibt sich eine deutlich höhere Luftrate. Am Nachmittag des ersten Druschtages halten sich dann Feuchtezufuhr durch das neu hinzukommende Erntegut und Feuchteabfuhr durch die Trocknung in etwa die Waage. Die Erntegutfeuchte im Silo verändert sich also nicht. In der folgenden Nacht geht die mittlere Feuchtigkeit des Lagergutes um ca. 1,5-2,0 % zurück und steigt während des zweiten Druschtages wieder um 0,5-0,8 % an.

Die Kurven zeigen, dass bei geplantem Feuchteentzug von 3 % die Trocknung während des zweiten Tages jederzeit abgebrochen werden kann, weil sich der

Feuchtegehalt immer um den gewünschten Endfeuchtegehalt von 15 % bewegt. Bei höheren Feuchtegehalten im Erntegut muss ein zusätzlicher Trocknungstag angehängt werden. Geringere Erntefeuchtegehalte erfordern dagegen eine Reduzierung der Trocknungstemperatur, solange noch weiteres Erntegut hinzugefüllt werden soll, oder ein rechtzeitiges Abschalten des Brenners, damit das Erntegut nicht zu weit heruntergetrocknet wird.

Im Temperaturbereich von 45-35°C kann man von folgender Leistungsveränderung ausgehen:

5°C Temperaturabsenkung = 25 % Leistungsrückgang

Senkt man also die Lufttemperatur von 45°C auf 35°C ab, dann sinkt die Leistung der Anlage auf ca. 50 %.

4.2.9 Leistung

Die Leistungsangaben zum Silotrockner erfolgen bei den meisten amerikanischen Anbietern in Tonnen Weizen, die innerhalb von zwei Tagen um 5 bzw. 4 % heruntergetrocknet werden können. Dabei wird immer ein "24-Stunden-Trocknungsbetrieb" je Tag angenommen. Auf vielen landwirtschaftlichen Betrieben stehen aber an zwei Tagen nur ca. 38 Stunden für die Trocknung zur Verfügung. Der Rest des zweiten Tages ist für die Entleerung des Silos, Reinigung und beginnende Neubefüllung erforderlich und bringt keine Trocknungsleistung, weil dann der Warmluftherzeuger nicht arbeiten kann. Diese theoretischen amerikanischen Firmenangaben müssen darum für unsere Praxis um ca. 20% reduziert werden.

Tabelle 8 zeigt verschiedene Silotrocknergrößen mit dazu passenden Trocknungsgebläsen für einen Feuchteentzug von 4 % und die erreichbaren theoretischen Trocknungsmengen innerhalb von 38 Stunden bei unterschiedlichen Warmlufttemperaturen.

Teilt man die Trocknungsmengen aus Tab. 8 durch zwei, dann erhält man die maximal mögliche tägliche Druschmenge.

Soll zu einem späteren Zeitpunkt die Leistung eines Silotrockners gesteigert werden, kann an das Trocknungssilo zusätzlich ein zweites oder auch ein drittes Gebläse mit dazugehörigem Warmluftherzeuger angebaut werden. Je größer die Silogrundfläche und je geringer der Gebläse-Betriebsdruck, desto größer ist die Getreidemenge, die in zwei Tagen getrocknet werden kann. Die erreichbaren Leistungsreserven durch Zusatzgebläse sind ebenfalls in Tabelle 8 zu finden. Sie sind in Prozent angegeben, bezogen auf eine Anlage mit einem Gebläse.

Tab. 8: Silotrocknergrößen, -gebläse und Trocknungsmengen (Trocknungsleistungen in zwei Tagen)

Nr.	Siloinhalt - Luftleistungen Winterweizen, Hektolitergewicht 75 kg Schütthöhe 5,0 m						Trocknungsmengen an zwei Tagen (38 Std) in Tonnen Satztrocknung mit Stirator, Feuchteentzug 19 - 15%, 15,0 °C Aussentemperatur, 75 % rel. LF									Leistungsreserve	
	Silo- Ø (m)	Siloinhalt (m³)	Siloinhalt (t)	Gebläse (kW)	Strömungs- widerstand (mm WS)	Luftleistung (m³/h)	Trocknungsdauer 38 Stunden									Leistungs- steigerung ¹⁾ 2.Gebf.	Leistungs- steigerung ¹⁾ 3.Gebf.
							25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	65,0		
1	8,91	311,6	233,7	5,5	104	15750	37	49	58	71	80	89	99	109	120	n.r. ²⁾	n.r. ²⁾
2	"	"	"	7,5	122	17960	42	56	66	81	91	102	113	124	137	n.r.	n.r.
3	"	"	"	11,0	147	21140	50	66	78	96	108	120	133	146	161	n.r.	n.r.
4	"	"	"	15,0	178	24580	58	77	91	111	125	140	155	170	187	n.r.	n.r.
5	"	"	"	18,5	188	25470	60	79	94	115	134	145	160	176	194	n.r.	n.r.
6	"	"	"	22,0	213	27560	65	86	102	125	153	156	174	191	210	n.r.	n.r.
7	"	"	"	30,0	246	30820	73	96	114	139	157	175	194	213	234	n.r.	n.r.
8	9,81	377	282,7	7,5	104	19160	45	60	71	87	109	109	121	132	146	140%	n.r.
9	"	"	"	11,0	137	24060	57	75	89	109	123	99	141	182	183	130%	n.r.
10	"	"	"	15,0	165	24570	58	77	91	111	125	139	155	170	187	120%	n.r.
11	"	"	"	18,5	178	29610	70	92	109	134	151	168	186	205	225	n.r.	n.r.
12	"	"	"	22,0	191	30400	72	95	112	137	153	172	191	210	231	n.r.	n.r.
13	"	"	"	30,0	229	35340	83	110	130	160	180	201	222	244	269	n.r.	n.r.
14	10,7	449,4	337	7,5	89	19980	47	62	74	90	102	113	126	138	152	150%	n.r.
15	"	"	"	11,0	122	26180	62	82	97	118	133	149	165	181	199	140%	n.r.
16	"	"	"	15,0	150	30550	72	95	113	138	156	173	192	211	232	130%	n.r.
17	"	"	"	18,5	165	33270	78	104	123	150	169	189	210	230	253	120%	n.r.
18	"	"	"	22,0	168	32620	77	102	120	147	166	185	205	226	248	n.r.	n.r.
19	"	"	"	30,0	208	38280	90	119	141	173	195	217	241	265	291	n.r.	n.r.
20	12,48	611,3	458,5	7,5	66	21170	50	66	78	96	108	120	133	146	161	170%	200%
21	"	"	"	11,0	97	28930	68	90	107	131	147	164	182	200	220	150%	180%
22	"	"	"	15,0	117	33910	80	106	125	153	163	193	214	235	258	140%	160%
23	"	"	"	18,5	135	38300	90	119	141	173	195	217	241	265	291	130%	140%
24	"	"	"	22,0	127	35800	84	111	132	162	182	203	225	248	272	120%	n.r.
25	"	"	"	30,0	168	44920	106	140	166	203	220	255	283	311	342	n.r.	n.r.
26	14,5	852,2	618,9	7,5	51	21970	52	68	81	99	112	125	138	152	167	180%	230%
27	"	"	"	11,0	76	30700	72	96	113	139	156	174	193	212	233	160%	210%
28	"	"	"	15,0	91	36000	85	112	133	163	183	204	227	249	274	150%	190%
29	"	"	"	18,5	107	41300	97	129	152	187	210	234	260	286	314	140%	170%
30	"	"	"	22,0	102	37960	90	118	140	172	193	215	239	263	289	130%	n.r.
31	"	"	"	30,0	135	48760	115	152	180	220	248	277	307	337	371	120%	n.r.

1) Leistungssteigerung gegenüber einer Anlage mit einem Warmluftzeuger.

2) n.r. = nicht realisierbar laut Herstellerangabe

Raps verursacht beim Trocknen einen erheblich höheren Strömungswiderstand. Die meisten Betriebe trocknen den Raps im Silotrockner deshalb nur bei einer Schütthöhe von ca. 2,0 m. Wer intensiv Raps anbaut, sollte das Trocknungsgebläse gleich so wählen, dass es einen maximalen Druck von 450 mm Wassersäule aufbauen kann. Dann darf man den Raps im Silotrockner beim Trocknen auch 4-5 m hoch schütten. Wählen Sie also nicht zwei Gebläse mit 18,5 kW, sondern lieber ein Gebläse mit 37 kW, das über 450 mm Wassersäule drücken kann.

Eine Veränderung der Warmlufttemperatur ändert die Trocknerleistung erheblich. Mit welchen Leistungsveränderungen bei gleich bleibendem Luftdurchsatz zu rechnen ist, zeigt Tabelle 9.

Tab. 9: Relative Leistungsveränderungen im Silotrockner durch Veränderung der Warmlufttemperatur - bezogen auf die Trocknerleistung bei 45°C

Trocknungs-Lufttemperatur (°C)	Feuchteaufnahme (g/m ³ Luft)	Prozent-Leistung in Bezug zu 45 °C
15	0,0	0
20	3,2	5
25	7,3	16
30	12,6	30
35	16,0	48
37	18,9	57
39	22,0	66
41	25,4	77
43	29,1	88
45	33,2	100
47	37,6	113
49	42,3	128
51	47,5	143
53	53,1	160
55	59,1	178
60	82,5	219
65	104,6	278
70	130,9	348

Die Daten aus Tabelle 9 zeigen deutlich, wie wichtig es ist, immer die höchstmögliche Trocknungstemperatur zu fahren. Das gilt auch für die Trocknung von Körnermais im Bereich von Temperaturen über 60°C, weil hier häufig Feuchtegehalte von 20 % und mehr entzogen werden müssen.

Tabelle 9 zeigt aber auch, dass die Trocknerleistung für die Behandlung von Saatgetreide und Braugerste mit Trocknungstemperaturen unter 35°C nur noch minimal ist.

4.2.10 Regelung der Anlage

Die Regelung des Feuchteentzuges in einem Silo-Satz Trockner erfolgt entweder über eine Veränderung der Warmlufttemperatur am zweiten Trocknungstag oder besser

über eine vorzeitige Beendigung der Trocknung. Die Entscheidung ist vor dem Druschbeginn des zweiten Tages zu treffen. Dazu muss man die zu erwartende Erntefeuchtigkeit für den zweiten Tag abschätzen und außerdem den Feuchtegehalt des bereits getrockneten Erntegutes vom ersten Tag ermitteln. Man zieht dazu eine Probe vom Siloinhalt direkt hinter den Stiratorschnecken – also von frisch vermischter Ware. Aus Abbildung 19 ist ersichtlich, dass dieses Getreide am zweiten Tag morgens um 10 Uhr wahrscheinlich weitgehend trocken oder sogar schon untertrocknet ist.

Wird am zweiten Tag weitgehend trockene Ware geerntet, dann braucht man am zweiten Tag nicht mehr zu trocknen, sondern nur noch die Mischschnecken laufen zu lassen, um zu einer guten Durchschnittsfeuchte zu kommen.

Wird am zweiten Tag Ware gedroschen, die nicht 4 % heruntergetrocknet werden muss, sondern nur 2,0 %, dann kann man bei bereits trockener Ware vom ersten Tag die vorgesehene restliche Trocknungsdauer von 14 Stunden halbieren und braucht nur noch ca. 7 Stunden zu trocknen. Der Endfeuchtegehalt wird dann ebenfalls durch Probenahme direkt hinter den Stiratorschnecken kontrolliert.

Wird die Befüllung des Silos durch Ernteunterbrechung vorzeitig abgebrochen, dann sollte man das teilgefüllte Silo erst zuende trocknen, anschließend entleeren und erst dann neu befüllen. Jede längere Trocknungsunterbrechung erfordert eine Rückkühlung der eingelagerten teilgetrockneten Ware, um die Qualität zu erhalten. Das zwischenzeitliche Abkühlen und erneute Anwärmen des Getreides erhöht den Energieverbrauch um 10-15 % bei einem gesamten Feuchteentzug von 4 %.

Nach Beendigung der Trocknung muss die Ware noch heruntergekühlt werden, da sie während der Trocknung auf eine Korntemperatur von 25-30°C gebracht wurde. Durch diese Rückkühlung erfolgt eine zusätzliche Trocknung von ca. 0,5 % bei einer Abkühlung der Ware um 10°C.

Die Regelarmaturen der amerikanischen Gasbrenner arbeiten bei der Körnermaistrocknung deutlich störungsfreier als bei der Getreide- und Rapstroeknung. Nachts fällt die Temperatur häufig unter die eingestellte Trocknungstemperatur, womit die gewünschte Leistung schnell zusammenbricht. Abhilfe kann dann ein separater Brenner mit Thermostatregelung schaffen, der einfach vor das Trocknungsgebläse gestellt wird und auf eine Lufttemperatur von 25°C eingestellt wird. Dieser Gasbrenner wird dann nur bei Lufttemperaturen unter 25°C anspringen.

Elektronischen Regelarmaturen zum Abschalten des Brenners sobald ein vorbestimmter Endfeuchtigkeitsgehalt erreicht ist, sind bei Satzrocknern hinreichend

bekannt. In Silo-Satztrocknern werden solche Aggregate jedoch durch die rotierende Stiratoranlage, den aufgewirbelten Staub und das herumfliegende Getreide bei der Befüllung des Silos sehr behindert. Ein Einbau ist darum nicht ratsam.

4.2.11 Arbeitsaufwand

Die Daten zum Arbeitsaufwand mit Silotrocknern stammen nicht aus exakten Zeitmessungen. Ausgewertet wurden Erfahrungen von den Landwirten, die für die Erstellung dieser Broschüre befragt wurden.

Diese Landwirte haben mehrere Silotrockner in Eigenarbeit komplett aufgebaut worden. Leider stand oft nur eine schlechte amerikanische Anleitung zur Verfügung, was die Montage sehr erschwerte. Eine deutsche Anleitung sollte also schon vorliegen. Der Aufbau der kompletten Anlage inklusive Fundamentarbeiten erforderte auf den meisten Betrieben ca. 4 Monate mit zwei Personen, wobei Unterbrechungen durch fehlende Baumaterialien oder schlechtes Wetter nicht berücksichtigt sind. Der korrekte Aufbau des Belüftungsboden und der Einbau der Fegeschnecke verlangten den größten Zeitaufwand. In jedem Fall sind für die Erstellung der Anlage ein Hilfskran für das Dach und Hubstützen für die Seitenwände erforderlich. Nach dem Aufbau der Anlage sollte man den Warmlufterzeuger überdachen, damit nicht Regenwasser über das Gebläse in den Belüftungsraum des Silos eindringt. Hier könnten sich sonst Pilze ansiedeln, die langfristig die Qualität des Erntegutes mindern würden.

Kleinere Betriebe mit einer Förderleistung von 40 t/h haben meistens keine ständige Bedienungsperson an der Trocknungsanlage. Bei Förderleistungen über 60 t/h sollte dagegen schon immer jemand anwesend sein. Das gilt vor allem für die Durchlauf Trockneranlagen. Bei den Silo-Satztrocknern fällt die Hauptarbeit während der Nacht beim Entleeren des Silos an. Insgesamt ist der regelmäßige Arbeitsaufwand bei Satztrocknern kaum geringer als bei Durchlauf Trocknern.

Während der Befüllung wird auf den meisten Betrieben nur 2-3 mal pro Tag in das Silo geschaut, um die Verteilung des Erntegutes zu kontrollieren. Damit das Silo gleichmäßig schichtweise befüllt wird, sollte die Drehzahl der Verteilschleuder z. B. nach jeder 5. Transportladung um eine Stufe verändert werden. Sobald die Körner beim Befüllen an die Außenwand des Silos fliegen, ist die Drehzahl des Verteilers zu hoch eingestellt.

Eine genaue Feuchtigkeitskontrolle vom Erntegut muss nicht zwingend am ersten Tag erfolgen. Sinnvoller ist sie vor dem Druschbeginn am zweiten Tag. Die exaktesten Werte finden sich in der Probe direkt hinter den laufenden Stiratorschnecken von frisch vermischtem Erntegut in 1 m Abstand von der Silowand.

Einen zweiten Wert sollte man an entsprechender Position nach beendeter Trocknung ermitteln. Für diese Kontrolltätigkeit sollte der Dachraum des Silos mit einer Beleuchtung ausgerüstet sein, die vor Staub und Feuchtigkeit gut geschützt ist.

Bei der Siloentleerung wird die erste Hälfte des Siloinhaltes allein durch die Austragschnecke über eine mittige Schieberöffnung entnommen. Das kann ohne jede Bedienung erfolgen. Erst wenn die Fegeschnecke gestartet wird, sollte eine Kontrollperson anwesend sein, damit man bei Störungen sofort eingreifen kann. Alle Silo-Satztrockner haben eine rundlaufende Fegeschnecke mit nachlaufendem Räumschild im Einsatz. So verbleibt im Silo nur eine Restmengenschicht von 1-3 cm Höhe. Wird die gleiche Frucht anschließend im Silo getrocknet, dann belässt man diese Schicht im Silo. Bei einem Fruchtwechsel muss sie natürlich entfernt werden. Für diese Handarbeit benötigen zwei Personen in einem Silo mit 14,5 m Durchmesser 1-2 Stunden. Die Benutzung einer Staubmaske ist für staubempfindliche Personen ratsam.

Einmal im Jahr sollte vor der nächsten Ernte eine Totalreinigung mit Kontrolle des Siebbodens erfolgen, damit auch Getreideschädlinge bekämpft werden können. Für diese Reinigung mit Besen und Industriestaubsauger wird ein Arbeitsaufwand bis zu 10 Stunden angesetzt.

Alle Siebböden lassen Abrieb vom Erntegut in den Belüftungskanal durchfallen. Bei Siebböden mit einem Lochdurchmesser von 0,5 mm gelangen nur ca. 20 % der Menge durch Siebböden mit 1,0 mm Lochdurchmesser oder Schlitzbreite. Alle fest eingebauten Siebböden müssen also in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen demontiert, gereinigt und neu aufgebaut werden. Bei den Siebböden mit 1,0 mm Lochgröße wird diese Demontage wohl schon nach 20-30 Entleerungen erfolgen müssen. Bei den Siebböden mit 0,5 mm Lochdurchmesser wohl erst nach ca. 100 Entleerungen, sofern sich keine Schädlinge im Belüftungskanal angesiedelt haben. Die meisten Schädlinge haben eine Breite im Chitinpanzer von ca. 0,8 mm. Sie können also bei 1,0 mm Lochweite durch den Belüftungsboden gelangen. Bei 0,5 mm Lochweite ist das nicht mehr möglich.

Das Abbauen und Wiederaufbauen eines fest verlegten Bodens dauert sicher für zwei Personen ca. 3 Wochen. Bei Böden mit herausnehmbaren Reinigungsbahnen oder Belüftungskanälen ist diese Arbeit dagegen unproblematisch und kann von zwei Personen innerhalb von zwei Tagen erledigt werden (siehe Kap. 3.4.2.5).

4.2.12 Energieverbrauch

Der absolute Wärme-Energieverbrauch beim Betrieb mit einer direkten Gasheizung ist in Kapitel 3.4.2.6 Warmluftzeuger wiedergegeben. Dieser Energieverbrauch bezieht sich immer auf einen kontinuierlichen Trocknungsverlauf. Alle Messungen

haben gezeigt, dass der Verbrauch an Wärmeenergie (Heizöl oder Gas) im Mittel bei einem Satzrockner 20 % geringer ist als bei einem Durchlauftrockner. Dieser Vorteil steigt weiter an, wenn weniger Feuchtigkeit entzogen werden soll. Bei einem Feuchteentzug von 2,0 % brauchen wir nur noch ca. 65 % der Wärmeenergie eines Durchlauftrockners. Der Vorteil schmilzt dagegen, wenn der Trocknungsprozess unterbrochen wird. Dann ist das Getreide zurückzukühlen. Bei einem Neubeginn der Trocknung muss dann wieder erwärmt werden. Diese Zwischenkühlung steigert den Verbrauch an Wärmeenergie um 10-15 %.

Zusätzlich wird Strom gebraucht für den Antrieb von Trocknergebläse, Verteilschleuder, Rührereinrichtung und Entnahme-Fegeschnecke. Die Verbrauchsdaten haben wir auf Praxisbetrieben gemessen und auf einen Feuchteentzug von 4 % umgerechnet. Viele Betriebe führen nach der Trocknung noch eine zweite Vorreinigung bei der Entleerung durch, was aber nicht der Trocknung angelastet werden darf. Nicht berücksichtigt ist in diesen Daten der Stromverbrauch für die Generalreinigung des Belüftungsraumes unter dem Siebboden, da dieses bislang noch kein Betrieb bei uns durchgeführt hat.

Tabelle 10 zeigt am Beispiel zweier Betriebe die erforderlichen elektrischen Anschlusswerte und den Stromverbrauch für einen Feuchteentzug von 4 % bei der Getreidetrocknung und einem zweitägigen Trocknungsrythmus. Die tägliche Erntedauer ist mit 12 Stunden angenommen.

Tab. 10: Anschlusswerte und Stromverbrauch von Silo-Satzrocknern

Stromverbrauch beim Trocknen¹⁾ im Silotrockner							
Rahmendaten	Einh.	Betrieb 1			Betrieb 2		
Förderleistung	t/h	80			40		
Trocknerleistung ²⁾	t/h	12,2			7,4		
Silogröße	m ³	780			475		
Antriebe		Antriebe	Betriebsdauer	Stromverbrauch	Antriebe	Betriebsdauer	Stromverbrauch
Befüllung	kW	7,5	24	180,00	5,5	24	132,00
Trocknergebläse	kW	37,0	38	1406,00	18,5	38	703,00
Verteilschleuder	kW	0,6	24	13,20	0,4	24	8,88
Stiratorrundlauf	kW	0,4	38	14,06	0,4	38	14,06
Stiratorschnecken ³⁾	kW	3,3	38	125,40	6,0	38	228,00
Fegeschnecke	kW	11,0	10	110,00	5,5	10	55,00
Vorreiniger	kW	7,5	24	180,00	5,5	24	132,00
Summe		67,22 kW⁴⁾		2028,7 kWh	41,7 kW		1272,9 kWh
Trocknungsmenge				5860 dt			3560 dt
Energieverbrauch				0,35 kWh/dt			0,36 kWh/dt

1) Trocknung um 4 % von 19 auf 15 %
2) Leistung bezogen auf 48 Stunden
3) Einzelantriebe zusammengezählt
4) Elektrischer Anschlußwert insgesamt, Fegeschnecke läuft solo, daher nur ca.55 kW erforderlich

Die Daten aus Tabelle 10 zeigen, dass elektrischer Anschlusswert und Stromverbrauch eines Silo-Satztrockners niedriger sind als bei einem Durchlaufrockner mit gleicher Stundenleistung.

Ein Vergleich mit weiteren Trocknungsverfahren ist in Tabelle 11 vorgenommen:

Tab. 11: Vergleich verschiedener Trocknungsverfahren hinsichtlich Luftbedarf, Wärmebedarf und Elektroanschluss

(Alle Angaben in % zu einem Durchlaufrockner, Feuchtigkeitsentzug 4,0 %)				
Verfahren	Einh.	Luftbedarf	Wärmebedarf	Elektroanschluss
Dächer-Durchlaufrockner	%	100	100	100
Dächer-Satzrockner	%	230	120	85
Silo-Satzrockner 2-Tg-Rhyt.	%	207	77	80
Silo-Satzrockner 1-Tg-Rhyt.	%	269	100	100
Silo-Zwillings-Trockner, 1 Gebl.1 Brenner *	%	207	77	80
Silo-Zwillings-Trockner, 2 Gebl.2 Brenner *	%	145	55	60
Silo-Durchlaufrockner	%	153	63	96
* Satzrocknungsbetrieb im 2-Tage-Rhythmus				

Tabelle 11 zeigt, dass die Zwillingsanlagen deutlich günstigere Werte für Luftbedarf, Wärmebedarf und Elektroanschluss aufweisen als die Silotrockner mit nur einem Behälter. Außerdem braucht hier nicht während der Nacht das Silo entleert werden. Den besten Kompromiß erreicht man mit einem Silo-Satzrockner, der im "Zwei-Tage-Rhythmus" gefahren wird.

Silo-Satzrockner werden auch zum Mischen von trocken geerntetem Getreide eingesetzt. Welcher Energieverbrauch dabei zu erwarten ist, zeigt Tabelle 12. Die eingebauten Stiratorschnecken müssen dabei nicht volle 38 Stunden laufen; es reicht, wenn sie nur während der Befüllphase eingeschaltet werden. Befüllen Sie das Silo aber nicht vollständig vor dem Einschalten der Stiratorschnecken. Der Motor wird dann überlastet und könnte durchbrennen.

Tab.12: Stromverbrauch beim Vermischen von Getreide ohne zusätzliche Trocknung

Rahmendaten	Einh.	Betrieb 1			Betrieb 2		
Förderleistung	t/h	80			40		
Trocknerleistung ²⁾	t/h	12,2			7,4		
Silogröße	m ³	780			475		
Befüllung	kW	7,5	24	180,00	5,5	24	132
Verteilschleuder	kW	0,6	24	13,20	0,37	24	8,88
Stiratorrundlauf	kW	0,4	24	8,88	0,37	24	8,88
Stiratorschnecken ³⁾	kW	3,3	24	79,20	6	24	144
Fegeschnecke	kW	11,0	10	110,00	5,5	10	55
Vorreiniger	kW	7,5	24	180,00	5,5	24	132
Summe		30,22 kW ⁴⁾		571,3 kWh	23,24 kW		480,7 kWh
Anteil von Trocknung	%			28			38
Energieverbrauch	kWh/dt			0,10			0,14

1) Mischen nur während der Befüllphase
2) Leistung bezogen auf 48 Stunden
3) Einzelantriebe zusammengezählt
4) Elektrischer Anschlußwert insgesamt, Fegeschnecke läuft solo, daher nur ca.19 kW erforderlich

Je nach Strompreis kostet das Vermischen des Getreides also nur 1,0-1,5 Cent je dt Getreide.

Bei allen Trocknungsanlagen, die das Erntegut im Lager selbst trocknen, steigt mit zunehmender Schütthöhe auch der Stromverbrauch für das Durchblasen des Stapels mit Trocknungsluft.

Wie stark der Stromverbrauch mit zunehmender Schütthöhe bei gleichbleibender Luftrate (=m³ Luft je m³ Lagerraum je Stunde) ansteigt, zeigt Tabelle 13.

Tab. 13: Veränderung des Stromverbrauches mit zunehmender Lagerhöhe des Getreides in Relation zu einer Höhe von 4,0 m

Lagerhöhe in m	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
Stromverbrauch in %	62	100	150	216	283	364

Die von einigen Firmen empfohlenen Lagerhöhen über 6,0 m im Trocknungssilo verursachen also ca. doppelt so hohe Stromkosten je dt Getreide und sind daher kaum empfehlenswert.

4.2.13 Kosten

Bei allen Getreide-Trocknungsanlagen sind die Investitionskosten ein wichtiger Entscheidungsfaktor. Hierzu gehören nicht nur die gelieferten Stahlteile, sondern auch alle Gewerke, die zum Aufbau einer funktionsfertigen Anlage gehören, - bis hin zu den Baugenehmigungskosten -, den Statikergebühren und dem Architektenhonorar. Tabelle 14 zeigt eine Zusammenstellung der Investitionen vergleichbarer Silosatztrockner. Zum Vergleich mit entsprechenden Durchlauftrockner-Anlagen sind die Investitionen je Kubikmeter Lagerraum angegeben.

Tab. 14: Investitionen für Silo-Satztrockneranlagen

Planungsdaten					
Silodurchmesser	m	9	10	13	15
Siloinhalt ¹⁾	t	257	330	557	742
erf. Förderleistung vergleichbare	t/h	40	60	80	100
Trocknerleistung	t/h	7	9	16	21
Mögl. MD ²⁾ -Leistung	t/h	12	15	25	34
Investitionen (€)					
Listenpreis	€	34.600	38.300	44.200	61.200
Listenpreis	%	100	100	100	100
Förderwege	€	6.900	7.700	8.900	12.200
Brennstofflagerung	€	1.700	1.900	2.200	3.000
Fundamente	€	5.500	7.000	11.900	15.800
Elektroarbeiten	€	3.500	3.800	4.400	6.100
Montage	€	8.700	9.600	11.000	15.300
Fracht	€	1.000	1.200	1.300	1.800
Gesamtpreis o.MwSt	€	62.000	69.600	84.000	115.500
Gesamtpreis incl.MwSt	€	71.920	80.736	97.440	133.980
Gesamtpreis incl.MwSt	%	208	211	220	219
Gesamtpreis incl.MS Silotrockneranlage ³⁾	€/t ⁵⁾	144	132	111	109
Andere Konservierungsverfahren zum Vergleich					
Neue Durchlauf-trockneranlagen ⁴⁾	€/t ⁵⁾	164-210	133-172	102-157	82-112
Neue Lager-belüftungstrocknungen	€/t ⁵⁾	153-179	128-143	102-128	97-123
<p>1) Siloinhalt angegeben für Winterweizen 2) MD-Leistung = Mähdruschleistung 3) Anlage mit zusätzlich vierfachem Silotrocknerinhalt als Getreidelager 4) Durchlauf-trockner-Anlage mit 2 Feuchtgetreide-Trichtersilos je 50 % Inhalt des Silotrockners + 2 Lagersilos mit doppeltem Inhalt des Silotrockners 5) Gesamtkosten bezogen auf den gesamten Lagerraum und auf Winterweizen</p>					

Die Werte zeigen, dass vor allem kleinere Silo-Satztrockneranlagen preiswerter zu erstellen sind als entsprechende Durchlauf-trockneranlagen. Ursache dafür ist das technisch einfachere Konzept. Es sind keine Feuchtgetreidesilos mit dazugehörigen Förderanlagen erforderlich. In allen diesen Fällen handelt es sich ausschließlich um Kalkulationen für Neuanlagen, die "auf der grünen Wiese" geplant wurden.

Im Vergleich zu Lagerbelüftungstrocknungen ergibt sich bei den Silo-Satztrocknern eine ähnliche Preisspanne.

Ergebnisse aus eigenen Messungen und Umfragen bei den Betriebsleitern zum Vergleich der Kosten bei Silo-Satztrocknern und Durchlauf-trocknern sind in Tabelle 15 aufgeführt.

Tab. 15: Kostenpositionen für den Betrieb von Silo-Satztrocknern und Durchlauf Trocknern im Vergleich

Trocknerinvestitionen	€/m³	90	100	110	120	130	140	150
Festkosten ¹⁾								
6%	€/dt	0,72	0,80	0,88	0,96	1,04	1,12	1,20
9%	€/dt	1,08	1,20	1,32	1,44	1,56	1,68	1,80
12%	€/dt	1,44	1,60	1,76	1,92	2,08	2,24	2,40
15%	€/dt	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00
18%	€/dt	2,16	2,40	2,64	2,88	3,12	3,36	3,60
1)Bei den Trocknungskosten hat sich ein Verhältnis von 3:2:1 bei Abschreibung zu Verzinsung zu Restkosten (Unterbringung, Versicherung, Reparatur) bewährt. Daher rühren die 3 %-Abstufungen.								
Energiekosten ¹⁾								
Feuchteentzug	%	1	2	3	4	5	6	7
Silotrockner	€/dt	0,15	0,17	0,19	0,22	0,26	0,29	0,33
Durchlaufrockner	€/dt	0,19	0,22	0,24	0,27	0,29	0,32	0,35
1) Stromkosten = 15 Cent je kWh; Gaskosten = 4 Cent je kWh								
Lohnkosten (15 €/Std)								
Tagesdruschmenge	t	150	200	250	300	350	400	
<i>Ohne ständige Aufsicht am Tag</i>								
Silotrockner und Durchlaufrockner 6 Std/Tag	€/dt	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	
<i>Mit ständiger Aufsicht am Tag</i>								
Silotrockner und Durchlaufrockner 15 Std/Tag	€/dt	0,20	0,15	0,12	0,10	0,09	0,08	

Wird Körnermais im Silotrockner getrocknet, ist mit hohen Gaskosten zu rechnen. Bei der Anwärmung von Luft verhält sich der Energieverbrauch im Feuchtebereich über 22 % nahezu linear. Je Prozent Feuchteentzug sind Energiekosten von ca. 4,0 Cent anzurechnen. In den typischen Körnermais-Anbaugebieten Süddeutschlands werden für die Körnermaistrocknung Gesamtkosten von 5,0-6,0 Cent je Prozent Feuchteentzug genannt. Höhere Werte sind unberechtigt.

5. Satzumlauftrockner

Satzumlauftrockner arbeiten wie die Satzrockner absetzig. Während der Trocknung wird der Trocknerinhalt allerdings in regelmäßigen Zeitintervallen mit einer zweiarmigen Fegeschnecke schichtweise von unten entnommen und oben wieder auf der Oberfläche des Stapels verteilt. Damit kann man - wie bei dem Durchlaufrockner - mit einer höheren Trocknungstemperatur arbeiten und muss nicht mit einer Keimschädigung im unteren Bereich des Silos rechnen. Die eingesetzte

Technik kann man aber ebenso als Durchlauftrockner nutzen, weshalb kein landwirtschaftlicher Betrieb die absetzige Umlauftrocknung wählt, sondern gleich das System der Durchlauftrocknung. Das ist wegen der höheren Trocknungsleistung der Anlage immer sinnvoller.

6. Durchlauftrockner

Durchlauftrockner sind vor allem für Betriebe mit großen täglichen Erntemengen gedacht. Wenn täglich mehr als 500 Tonnen Erntegut mit Feuchtegehalten über 18 % Feuchtigkeit anfallen, dann sind die Silo-Durchlauftrockner den Silo-Satzrocknern überlegen.

Alle Durchlauftrockner arbeiten im Fließverfahren, d. h., es wird während des Tages frisches Erntegut direkt in das Trocknungssilo gefüllt und gleichzeitig bereits getrocknete Ware unten aus dem Silo entnommen. Da die Mähdruschkapazität auf den meisten Betrieben ungefähr doppelt so hoch ist wie die Trocknungsleistung, wird das Trocknungssilo bis zum Abend kontinuierlich angefüllt und in der folgenden Nacht dann das Silo bis auf eine anlagenbedingte Restmengenschicht von ca. 1 m Dicke wieder entleert. Dabei sollte der Trocknungsvorgang im Idealfall nicht unterbrochen werden. Mit Beginn des Dreschens wird dann am nächsten Tag das Silo erneut angefüllt. Das Trocknungssilo sollte mindestens 130 % einer Tagesdruschmenge fassen können.

Eine spezielle Kühlzone zum Rückkühlen des getrockneten Erntegutes - wie bei einem konventionellen Durchlauftrockner - ist bei diesem System nicht vorgesehen. Das getrocknete Getreide wird also mit höchstmöglicher Temperatur aus dem Silo entnommen. Mit Hilfe eines separaten Kühlbehälters ist dafür zu sorgen, dass das Getreide nicht zu heiß in das Endlager kommt. Eine solche Anlage kann aus einem zweiten Silotrockner bestehen, der aber keine Stiratoranlage benötigt. Das Kühlgebläse an diesem Rückkühlbehälter muss nur ca. 10 % der Luftmenge des Trocknungsgebläses leisten. Abbildung 20 zeigt als Skizze einen Silodurchlauftrockner mit einem Rückkühlbehälter.

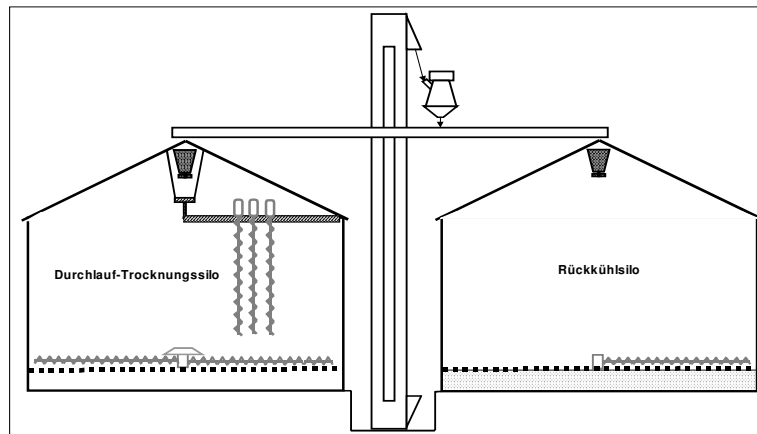


Abb. 20: Silo-Durchlauftrockneranlage mit separatem Rückkühlsilo

Abbildung 21 zeigt die Außenaufnahme einer Praxisanlage.



Abb. 21: Silo-Durchlauftrockner als Praxisanlage

Die Entleerung des Kühlsilos geschieht mit einer Fegeschnecke wie für Satzrocknungsanlagen. Wer als Endlager für das Erntegut Silozellen hat, kann die Rückkühlung des Getreides auch mit der vorhandenen Belüftungsanlage in diesen Silos durchführen, sofern diese für den erforderlichen Luftdurchsatz von 10-15 m³ Luft je m³ Getreide und Stunde ausgelegt ist.

Wer das getrocknete Getreide von seinem Silo-Durchlauftrockner direkt in ein Flachlager fördern will, muss vor jeder Entleerphase mit der Fegeschnecke den Brenner abschalten und im Trocknungssilo 5-10 Minuten nur Kaltluft durch das getrocknete Getreide blasen, um es zurückzukühlen. Nach der Entleerphase mit der Fegeschnecke wird dann der Brenner wieder angeschaltet. Da auch während der Kühlung eine Trocknung stattfindet, sinkt die Leistung des Trockners nur um 10-15 % gegenüber einem kontinuierlichen Trocknungsbetrieb. Die Arbeits- und Stillstandszeiten der Fegeschnecke werden bei den amerikanischen Anlagen über einen Feuchtigkeitssensor in der Austragschnecke geregelt.

Silo-Durchlauftrockner haben fast die gleiche technische Ausrüstung wie Silo-Satz Trockner. Es sind nur die Stiratorschnecken deutlich kürzer. Die unteren 75 cm des Getreidestapels sollen nicht mehr durchmischt werden, damit keine feuchten Körner ausgetragen werden. Außerdem ist die Fegeschnecke anders aufgebaut als bei der Satztrocknungsanlage, da sie das Getreide schichtweise von unten aus dem Behälter entnehmen soll und den Druck des Getreidestapels aushalten muss.

Die Fegeschnecken in Durchlauftrocknern haben zwei Arme mit einem dünneren konischen Schneckenwendel und sind nicht mit einem nachlaufenden Räumschild ausgerüstet. Je nach Silogröße und geforderter Leistung werden Förderleistungen bis zu 50 t/h eingebaut (Abb.22). In der Silomitte - über dem Einlauf in die Entnahmeschnecke - befindet sich eine Schutzglocke, die dafür sorgt, dass das Getreide nicht im Zentralfluss aus dem Silo entnommen wird, sondern schichtweise mit den Fegearmen.

Bei Getreide und Raps wird der Silodurchlauftrockner mit einer Warmlufttemperatur von 55-60°C gefahren; bei Körnermais werden auch bis zu 70°C genannt. Bei Braugerste und Saatgetreide sollte die Temperatur 45°C nicht übersteigen, um die Keimfähigkeit zu schonen.



Abb. 22: Zweiarmlige Fegeschnecke im Silo-Durchlauftrockner
 Links= einseitiger Fegearm ohne Räumschild
 Rechts= Schutzglocke über dem mittigen Einlauf in die Entnahmeschnecke

Bei Sortenwechsel muss der Durchlauftrockner vollständig entleert werden. Ohne Räumschild lassen die Fegeschnecken aber eine Schichtdicke im Silo von 15-20 cm zurück, die von Hand entleert werden muss. Dieses dauert für zwei Arbeitskräfte ca. 2 Stunden. Es gibt aber auch mobile Fegeschnecken mit Räumschild, die diese Handarbeit übernehmen können.

Silo-Durchlauftrockner werden mit höheren Trocknungstemperaturen gefahren. Das kann in kälteren Nächten und bei hohen Feuchtigkeitsentzügen durchaus zu einer Kondensation am Silodach und an der Nordseite des Silos führen. Zusammen mit

dem aufgewirbelten Staub durch den Verteiler und die Stiratorschnecken klebt dann eine Schmierschicht an der Außenwand, an der sich dann auch Pilze ansiedeln können. Auch diese Schicht sollte einmal jährlich beseitigt werden. Das erfolgt am besten bei gefülltem Silo, da die Dachflächen beim leeren Silo nur schlecht zu erreichen sind.

Durchlauftrockner verlangen wegen der höheren Trocknungstemperaturen größere Brenner als Silo-Satzrockner. Bei der Trocknung von Körnermais müssen auch die geringeren Außentemperaturen während der Erntezeit berücksichtigt werden. Tabelle 16 zeigt die Werte für die erforderliche Brennergröße je Tonne Trocknungsleistung.

Tab. 16: Brennergrößen für Silodurchlauftrockner – angegeben in kW je Tonne Trocknernennleistung für unterschiedliche Trocknungstemperaturen und verschiedene Außentemperaturen

Erforderliche Brennerleistungen		
für Silo-Durchlauftrockner in kW /t Trocknungsleistung		
Trocknungs- temperatur (°C)	Außentemperatur	
	15 °C	0 °C
45	30	45
50	35	50
55	40	55
60	45	60
65	50	65
70	55	70

Die Investitionen für einen Silo-Durchlauftrockner sind deutlich höher als für einen Silo-Satzrockner, bedingt durch die etwa 6000 € teurere Fegeschnecke und den größeren Brenner. Diese Zusatzinvestitionen sind die Hauptpunkte, weshalb die meisten Landwirte sich eher für den Silo-Satzrockner entschieden haben.

7. Sonderbauformen

Stiratoranlagen und Fegeschnecken lassen sich auch in bereits vorhandene Rundsilos einbauen. Entscheidend ist dabei die Stabilität des Silos. Selbst vorhandene Güllesilos ließen sich nach intensiver Reinigung für einen solchen Zweck umnutzen. Interessanter ist allerdings die Aufrüstung vorhandener Lagerbelüftungstrocknungen zu Silotrocknern, um die Trocknungsleistung zu steigern. Die vorhandene Belüftungsanlage muss dann nur mit einem größeren Brenner und einer Stiratoranlage versehen werden. Bedingt durch die höhere Trocknungstemperatur kann man die Trocknungsleistung dann auf die vier- bis sechsfache Leistung steigern.

7.1 Flachsiloanlagen

Auch wenn die weitaus meisten Silotrockner in runde, außenstehende Wellblechsilos eingebaut sind, gibt es die Möglichkeit, Stiratoranlagen in neue oder vorhandene Flachlager einzubauen. Die Flachlager werden mit einem mobilen Lader befüllt und entleert. Jeweils zwei Stiratorschnecken pro Antriebseinheit laufen dabei in „Zick-Zack-Bewegung“ während des Trocknens durch das Flachlager, so dass eine gleichmäßige Durchmischung des Lagergutes erfolgt. Abbildung 23 zeigt eine Stirator-Antriebseinheit für Flachlager.



Abb. 23: Antriebseinheit für zwei Flachlager-Stiratorschnecken

.Nach erfolgter Durchmischung und Trocknung des Zelleninhaltes werden die Stiratorschnecken an der Stirnseite der Trocknungszelle von der Antriebseinheit getrennt und an der Silowand befestigt. Anschließend kann man die Traverse mit den Antriebseinheiten der Rührschnecken über eine Weiche in die Nachbarzelle fahren und dort mit den Stiratorschnecken dieser Zelle verbinden. So erfolgt dann eine Durchmischung des Lagergutes in dieser Zelle. Auf diese Weise erhält man eine preiswerte Zwillingsanlage, bei der die Zellen nicht wie bei den einzelnen Rundsilos während der Nacht entleert werden müssen.

Die Trocknungszellen sollten wegen des regelmäßigen Befahrens mit einem Lader Unterflurkanäle haben. Bei Neubau der Anlage verlegt man diese auf einen Abstand von max. 1,0 m – wegen des erforderlich hohen Luftdurchsatzes (siehe Tab. 3).

Das Nachrüsten vorhandener Lagerbelüftungstrocknungen mit einer Stiratoranlage, um daraus einen Silotrockner mit ca. fünffacher Trocknungsleistung zu erhalten, ist also nur begrenzt möglich.

Abbildung 24 zeigt die Seitenansicht eines kompletten Flachlager-Silotrockners. Flachlager mit einer oberen Zugverankerung müssen zwischen den Zugankern und der Stapeloberfläche mindestens 1,2 m freien Raum haben für den Einbau der Stiratoranlage.

Die erreichbare Trocknungsleistung ist nur von der installierten Luftmenge und der Lufttemperatur während der Trocknung abhängig und daher mit den Daten der Rundsiloanlagen identisch.

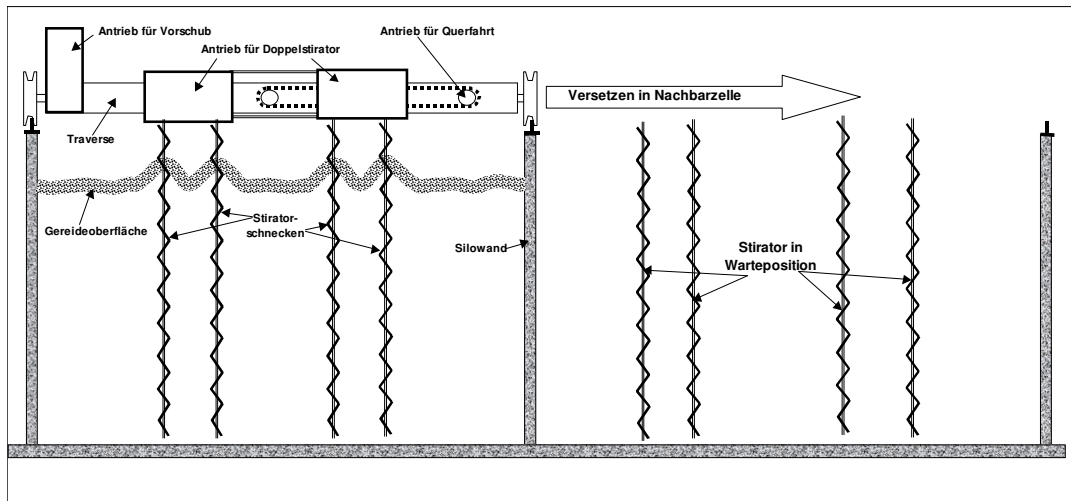


Abb. 24: Skizze einer Flachsilo – Trocknung mit vier Stiratorschnecken je Zelle und umsetzbarem Antrieb in eine Nachbarzelle

7.2 Kornknecht

Der Kornknecht der Firma Wellenbrock-Getreidetechnik ist eine mobile Stiratoreinheit - bestehend aus einer Mischschnecke unterschiedlicher Länge mit angebautem Elektroantrieb, die vor dem Einsatz von Hand waagrecht auf den Getreidestapel gelegt wird. Ein speziell geformter Hohlkörper aus Aluminium am Kopf des Schneckenwendels sorgt dafür, dass:

- das Gerät mit 2,2 kW Motor und 3 m langer Schnecke nur ca. 45 kg wiegt,
- sich der Schneckenwendel beim Einschalten des Antriebsmotors langsam bis in senkrechte Stellung in den Stapel eingräbt,
- der Stirator wie bei einer Rundsiloanlage das Getreide vermischt,
- sich der Stirator langsam mit einer Geschwindigkeit von maximal 1 m je Minute vorwärts bewegt,
- die Antriebseinheit auch leichte Steigungen überwinden kann,
- die Fahrtrichtung des Stirators über Rückstauschieber verändert werden kann,
- zwei Schnecken zu einem Tandemgerät miteinander verbunden werden können,
- die Länge des Schneckenwendels zwischen ein und vier Meter frei gewählt werden kann.
- die Bauhöhe des Antriebs nur ca. 80 cm beträgt und der Kornknecht auch unter bereits vorhandenen Zugankern hindurchfahren kann.

Abbildung 25 zeigt den Kornknecht vor und während der Arbeit.

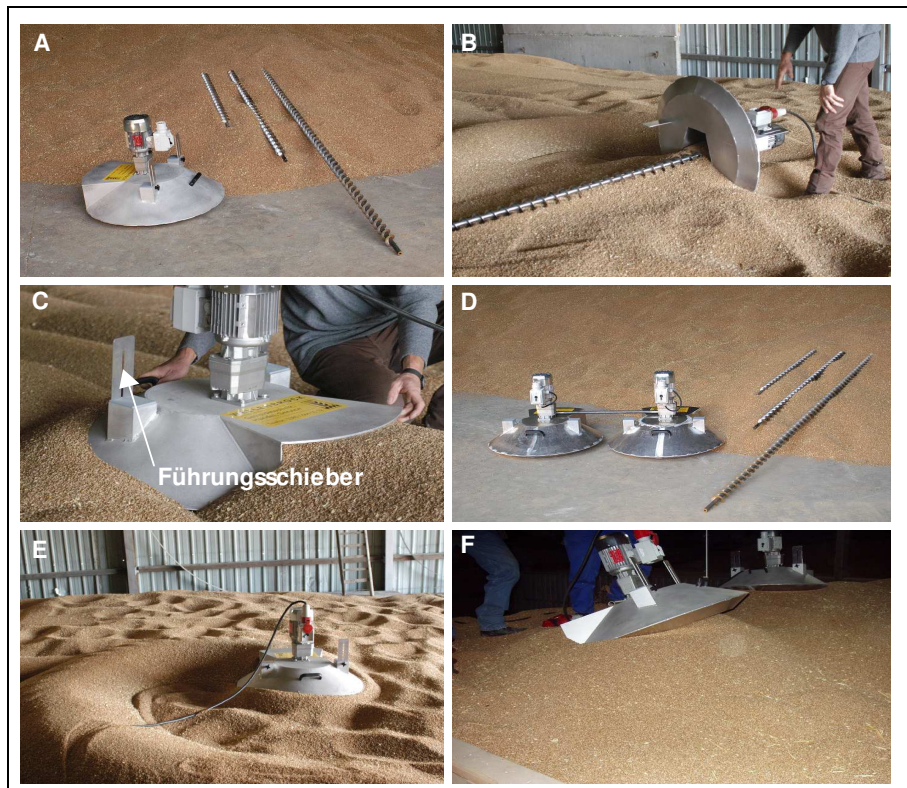


Abb. 25: Kornknecht im Einsatz (Abb. Wellenbrock)
 A: Für den Transport können Antriebskopf und Schnecke getrennt werden
 B: Zum Einsatz wird der Kornknecht horizontal auf das Getreide gelegt
 C: Zwei Führungsschieber ermöglichen eine Änderung der Fahrtrichtung
 D: Tandemaggregat aus zwei verbundenen Einheiten
 E: Ohne Führungsschieber fährt der Kornknecht kreisförmig durch das Getreide
 F: Steigungen bis zu 30 Grad kann der Kornknecht überwinden.

Tandemaggregate benötigen keine Führungsschieber, die Richtungsänderung erfolgt durch kurzzeitiges Abschalten eines Antriebes. Eine automatische Lenkung des Kornknechts über Ultraschall und mit elektronischem Kompass ist zur Zeit in der Entwicklung. Die regelmäßige Kontrolle der Laufrichtung ist dann nicht mehr erforderlich.

Der Kornknecht kann:

- Aus einer Lagerbelüftungstrocknung eine Silo-Satztrocknung machen. Das regelmäßige Durchmischen des Getreides steigert dabei den Luftdurchsatz um 10–20 %. Außerdem kann die Lufttemperatur bei der Trocknung auf 35°C angehoben werden. Höhere Temperaturen sind jedoch nur dann erlaubt, wenn je 150 t Zelleninhalt mindestens ein Kornknecht eingesetzt wird (siehe Tab. 3). Die Leistung der Lagerbelüftungstrocknung steigt auf ca. 500 %.

- Wärmenester in einem Getreidestapel aflösen. Dazu können Schnecken bis zu einer Länge von 4 m eingesetzt werden. Erste Versuche mit einer 5,5 m langen Schnecke sind erfolgreich verlaufen. Je länger die Schnecke ist, desto langsamer bewegt sich der Kornknecht über das Getreide. Bei einer 3 m langen Schnecke werden 20-30 m je Stunde zurückgelegt.
- Kondensatschichten an der Stapeloberfläche auflösen. Schon mit einer 1 m langen Schnecke erreicht man deutliche Erfolge, weil die feuchte Deckschicht mit dem darunter liegenden Getreide bis auf Schneckenlänge gleichmäßig vermischt wird. Die Vorfahrt des Kornknechtes liegt hier bei bis zu 60 m je Stunde. Dieses ist das Haupteinsatzgebiet der bisher eingesetzten ca. 100 Geräte.
- Wie die fest eingebauten Stiratorschnecken den gesamten Stapel homogenisieren und eine Windsichterreinigung nach der Zellenentleerung deutlich verbessern.

Der Kornknecht kostet 3.300 € plus 50 € für Fracht und Verpackung. Der Preis für die Kupplung von zwei Geräten zu einer Tandemanlage liegt bei 150 €. Wellenbrock bietet auch die Vermietung der Geräte an. Der Mietpreis pro Tag liegt bei 50 €.

Der Kornknecht ist besonders geeignet für Landwirte, die aus einer Lagerbelüftungstrocknung einen Silo-Satzrockner machen wollen.

8. Bezugsadressen

Die amerikanischen Silotrockner werden von den deutschen Anbietern teilweise direkt aus den USA bezogen, teilweise aber auch über dänische Firmen gekauft. Die meisten Anlagen wurden in den letzten Jahren von folgenden Firmen verkauft und aufgebaut (Tab. 17):

Tab. 17: Anbieter von Silotrocknern in Deutschland

Name		Adresse	Telefon Nr.	Internetadresse
Geerds	Getreidetechnik	Hauptstr. 14 24257 Köhn	T: 04385-59600	www.geerds-gmbh.de
Greife	Agritec GmbH	Dorfstr. 7b 23827 Krems II	T: 04557-999718 H: 0175-2257236	
Neuero	Farm- und Fördertechnik	H.- Unbefunde-Str. 6 49324 Melle	T: 05422-94400	www.neuero-farm.de
Tino Schramm		09619 Dorfchemnitz	T: 037320- 1503	www.getreidetechnik-online.de
Wellenbrock	Getreidetechnik	Kuckucksberg 4 19073 Wittenfoehden	T: 0385-6665512 H: 0171-7780194	WWW.kornknecht.de www.getreidetechnik-web.de

Dameco, Rendsburg war bisher ebenfalls bedeutender Anbieter von Silotrocknern, wurde aber 2004 von Neuero übernommen.

Während die ersten Anlagen fast immer eine firmenreine Technik nur eines Herstellers enthielten, wird jetzt zunehmend eine Zusammenstellung von Einzelaggregaten verschiedener Hersteller angeboten. Die Landwirte sollten deshalb beim Angebot eines Silotrockners die Hersteller der einzelnen Aggregate erfragen.

9. Zusammenfassung

Für den eiligen Leser sind hier noch einmal die wichtigsten Erkenntnisse über die Silotrockner zusammengefasst.

1. Silotrockner sind geeignet für Betriebe, die einen niedrigen AK-Besatz haben und deren Ernte sehr unterschiedliche Feuchtigkeiten haben
2. Silotrockner sind für Saatgetreide und Braugerste wenig geeignet
3. Silotrockner sind für Betriebe mit kleinen Flächen kaum geeignet
4. Der Einbau in vorhandene Belüftungsanlagen ist möglich
5. Silotrockner können nicht nur trocknen, sondern auch das Erntegut vermischen und die Reinigung verbessern
6. Die Silogröße sollte beim Satzrockner mind. 2 Tagesdruschmengen fassen
7. Feuchteentzug von ca. 2.0 % je Tag sind bei Getreide und Raps möglich
8. Der Keimfähigkeitsverlust beträgt 2-4 % bei 4 % Feuchteentzug
9. Raps und Getreide sollten mit einer Temperatur von 45°C getrocknet werden, Körnermais mit 60-65°C
10. Brennereinbau hinter dem Gebläse senkt die Trocknerleistung um 15–20 %
11. Energieverbrauch ca. 80 % vom Durchlauftrockner
12. MD-Einsatz morgens 1 – 2 Stunden früher
13. Erntegut sollte vor dem Trocknen vorgereinigt sein
14. Erhöhter Bruchkornanfall bei Befüllung und Entleerung
15. Trocknungsunterbrechung ist zu vermeiden
16. 1 x Zwischenkühlen bei Trocknungsunterbrechung steigert den Energieverbrauch um 10–15 %
17. Staubanfall beim Trocknen erheblich
18. Verteiler muss stufenlosen Antrieb haben
19. Rührwirkung einer Stiratorschnecke reicht bei Getreide für 150 t Siloinhalt, bei Körnermais für 100 t
20. Stirator mit blumenförmigem Rundlauf ebnet die Oberfläche besser als mit schneckenförmigem Rundlauf
21. Höhenunterschiede an der Stapeloberfläche von maximal 10% der Lagerhöhe sind erlaubt
22. Staub- und feuchtigkeitsgeschützte Beleuchtung im Silo vorsehen
23. Thermometer im Warmluftkanal und im „Stiratorgetreide“ für Kontrolle anbringen

24. Kontrolle der Feuchte nur direkt hinter dem Stirator sinnvoll
25. Mittlere Feuchte im Stapel 0,5 – 1,0 % niedriger als an der Oberfläche
26. Korntemperatur im Stapel ca. 20°C niedriger als Zulufttemperatur
27. Eine zweite Reinigung während der Entleerung des Silos ist ratsam
28. Entleerleistung nicht zu knapp wählen
29. Fegeschnecke muss reduzierten Vorschub haben
30. Kornknecht steigert die Leistung einer Lagerbelüftungsanlage erheblich
31. Körnermaistrockner benötigen Belüftungsschienen an der Silowand
32. Raps-Schütthöhe ist vom Gebläse-Druckvermögen abhängig
33. Zwillingsanlage hat die höchsten Investitionen aber den geringsten Energieverbrauch und sie vermeidet Nacharbeit
34. Reinigungsmöglichkeit unter Belüftungsboden schaffen

10. Literatur

- Ackermann, R. Maximal 5,5 Cent fürs Lohntrocknen. Dlz-Agrarmagazin, Nr. 10,2002, S. 148-150.
- Beck, R. u.a. Die Mikroflora auf erntefrischem Getreide. Schule und Beratung Nr. 08/92
- Cloud, H.A. u.a. Dryeration and In-Store Cooling for Corn Drying. University of Minnesota 1997
- Hellevang, K.J. Grain Drying. NDSU Extension Service, North Dakota State University 1997
- Höner, G. Kosten sparen mit dem Silotrockner. Top agrar Nr. 10/02, S. 80-81
- Hottendorff, J. So gehen Sie mit Mykotoxinen um. DLG-Mitteilungen 7/2004 S.60-62
- Keiser, H. von Silotrockner: Möglichkeiten und Grenzen. Bauernblatt S.-H. vom 29.11.03, S. 26-30
- N.N. Grain Stirring – Its Effect on the Drying of Wheat. Farm Electric Bullet, No. 10/94
- N.N. Evaluation of Grain Stirring with a Constant Temperature Drying Regime. Farm Electric Bullet, No.11/96
- Pabis, St. u.a. Grain Drying. Theory and Practice. Verlag: Chipsbooks, USA, 1998
- Uppenkamp, N. Bau, Aufstellung und Betrieb von landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen für Getreide. DLG-Merkblatt Nr. 299, 1997
- Waldeyer, H. Was tun gegen Mykotoxine. Ldw. Wo.blatt, Westf.-Lippe Nr.36/02