

Schüttgut-Forum 2012

23./24.10.2012 in Würzburg

Typische Probleme bei der pneumatischen Silofahrzeug- Entleerung und deren praktischer Lösung durch eine op- timierte Anlagengestaltung

Dipl.-Phys.-Ing. Klaus Schneider

KS-Engineering
Ingenieurbüro
Klaus Schneider



Dipl.-Phys.-Ing. Klaus Schneider
KS-Engineering GmbH &
Ingenieurbüro Klaus Schneider
Hansaring 25/27
50670 Köln

Typische Probleme bei der pneumatischen Silofahrzeug-Entleerung und deren praktischen Lösung durch eine optimierte Anlagengestaltung

1 Einleitung

In diesem Vortrag werden die Erfahrungen bei Planung und Betrieb von Entladestellen für Silo-LKW beschrieben. Während bei cirka der Hälfte der Entladestationen normalerweise keine besonderen Probleme auftreten, klagen ca. 30% der Betreiber über vermehrte Schwierigkeiten und die restlichen 20% der Betreiber sind mit ihrer Anlage überhaupt nicht zufrieden. Grund dafür sind oft Planungsfehler sowie ungenügende Kenntnisse der Leistungsfähigkeit solcher Entladestellen.

Am Beispiel der LKW-Entladung von Silofahrzeugen soll auch die Bedeutung einer geregelten Luftabfuhr während bzw. kurz nach Ende der Befüllung erläutert werden. Dies ist insbesondere wichtig bei räumlich kleinen Silos und sogenannten „Offline“ ab gereinigten Aufsatzfiltern, z.B. bei den sog. Rüttelfiltern.

2 Vorstellung verschiedener Silo-Fahrzeuge

Zunächst werden die häufigsten Typen von Straßensilofahrzeugen und deren Besonderheiten vorgestellt. Es handelt sich dabei um:

- 1) Euter-Fahrzeug (liegender Behälter mit 1-3 Zitzen)
(siehe Abbildung 1 im Anhang)
- 2) Kippsilo-Fahrzeug (liegender Behälter, der über Hydraulik aufgerichtet und entleert werden kann) (siehe Abbildung 2 im Anhang)
- 3) Bananenfahrzeug (liegender Behälter aus 2 Kegelstümpfen)
(siehe Abbildungen 3 und 3a im Anhang)

Das so genannte Euterfahrzeug hat mehrere (belüftete) Zitzen und eine Entleerung nach unten in eine gemeinsame Sammelleitung; es kann nicht gekippt werden. Typische Einsatzbereiche sind:

- Lebensmittel, feine Stäube

Gleiches gilt für das mittlerweile selten gewordene Bananenfahrzeug. Auch hier gibt es nur die liegende Position zum Entladen. Vorteilhaft ist die spezifisch große Belüftungsfläche, welche allerdings auch ein gutes Fließverhalten des Schüttgutes bedingt.

Typische Einsatzbereiche sind beispielsweise:

- Transport von staubförmiger Kohle

Bei den Kippsilo-Fahrzeugen kann der Silokessel über eine Hydraulik fast senkrecht gestellt und nach unten entleert werden. Dadurch wird ein gutes Nachrutschen des Materials gewährleistet (manchmal kann dies aber auch zu Verpressungen führen).

Die Gefahr des Verpressens lässt das Kippsilo für sehr feine und haftende Stäube deshalb nicht so geeignet erscheinen. Vorteilhaft beim Kippsilo ist jedoch die gute und einfache Reinigungsmöglichkeit beim Sortenwechsel.

3 Technische Daten der Fahrzeuge und Waggons

Bevor auf die Planung einer Entladeanlage eingegangen wird, hier einige grundsätzliche Aussagen zu den eingesetzten Silo-Fahrzeugen.

3.1 Auslegungsdruck und Kessel-Volumina

Um eine möglichst hohe Nutzlast für den Silo-LKW erzielen zu können, ist ein möglichst leichter Kesselaufbau erwünscht. Bei Silo-LKW's wird aufgrund des niedrigen Eigengewichtes durchgängig Aluminium als Kesselmaterial verwendet, bei neuen Fahrzeugen auch Kohlefaserwerkstoffe. Dadurch wird der max. zulässige Behälterdruck begrenzt. Der max. zulässige Betriebsdruck für den Kessel beträgt

für LKW: 2,0 bar(ü).

Das zulässige Gesamtgewicht für Silofahrzeuge mit 2-achsiger Zugmaschine und 3-achsigem Auflieger beträgt nach der StVZO max. 40 Tonnen. Davon entfallen auf die Zugmaschine und den Aufbau ca. 12-15 Tonnen. Als reine Nutzlast verbleiben somit ca. 25-28 Tonnen.

Damit diese Nutzlast-Spanne möglichst vollständig ausgenutzt werden kann, werden aufgrund der unterschiedlichen Schüttdichten der Fördergüter die Volumina der Silokessel möglichst an das max. Nutzgewicht angepasst. Dies bedeutet z.B. für leichte Schüttgüter mit einer Schüttdichte von unter 500 kg/m³ die Verwendung von Kesselgrößen bis zu 60 m³ Nutzinhalt.

Die Kessel der Kippsilo-LKW werden über einen Hydraulikstempel, abhängig von der Füllung bzw. Kesselgewicht, aufgerichtet. Bei den Euter- und Bananenfahrzeugen wird die Entleerung durch Fluidisierung der Konen bzw. Matten unterstützt.

3.2 Entladehilfen an den Silo-LKW

Am Silo-LKW werden (können) Außenrüttler angebracht werden. Weiter sind rund um den Entnahmekonus entweder sogenannte Belüftungspfeifen bzw. -düsen (mit denen man nur punktuell auflockern kann) oder aber ein Fluidtex-Gewebe angegeben. Soll bei feinem Gut eine gleichmäßige Durchlüftung erreicht werden, sind in jedem Fall diese Belüftungsgewebe zu bevorzugen. Erfahrungen haben gezeigt, dass bei schlecht fließenden feinen Stäuben die Entladezeit durch Verwendung solcher Fluidgewebe entscheidend verkürzt werden kann. So ließ sich für TiO₂ nur so eine gesicherte Entladung bewerkstelligen, während bei der Verwendung von Fahrzeugen mit Belüftungspfeifen sich die Entladung (= Ausfließen aus dem Silobehälter) stundenlang hinzog.

4 Planung von Entlade-Anlagen für Silo-LKW

Sehr oft erfolgt die Planung einer Entladeanlage zunächst mit niedriger Priorität und man stellt erst bei der Inbetriebnahme fest, dass Schwierigkeiten bei der Entleerung der Silo-LKW auftreten.

Insbesondere bei Nutzung des bordeigenen Kompressors wird oft dessen begrenzte Leistungsfähigkeit vergessen. Auch wird meist standardmäßig eine Leitung DN80 verwendet und die Abhängigkeit der Durchsatzmengen von Leitungsdurchmesser, -längen und Krümmern ist meist unbekannt.

Die heutigen Silo-LKW's verfügen meist über einen bordeigenen Kompressor mit einer Luftmenge von ca. 550-780 m³/h. Es sind aber auch Verdichter (regelbar) bis 1400 m³/h im Einsatz.

4.1 Grundsätzliche Überlegungen

Folgende Überlegungen sollten vor der Planung einer Entladeanlage angestellt werden:

- Leitungsgröße, installierte Kompressorleistung, d.h. welchen Förderleistungsdurchmesser brauche ich aufgrund meines Verbrauches wirklich?
- Silokapazität, d.h. wie groß sollte die Speicherkapazität des Silos mindestens sein (Berücksichtigung von Lieferausfallzeiten, z.B. Wochenenden/Feiertagen)?
- Wie sieht der Leitungsverlauf aus? (horizontal/senkrecht/schräg)
- Schüttguteigenschaften -charakterisierung, Neigung zur Pfropfenbildung
- Einfluss der Leitungslänge auf Entladeleistung
- Einfluss Leitungsdurchmesser auf Entladeleistung
- Förderung direkt aus dem Silofahrzeug zur Verbrauchsstelle?
- Kühlung der Förderluft erforderlich (Ex-Schutz, Hygiene, Schmelzpunkt)?
- Eigener Verdichter an der Entladestelle vorhanden oder notwendig?

Weitere wichtige Planungsfragen sind:

- Wie nahe kann ich mit den LKW an das Silo heranfahren? Wird der nachfolgende Verkehr durch das zu entladende Fahrzeug behindert?
- Wie viele Fahrzeuge sollen gleichzeitig entladen werden? Wie sind die Filter auszuliegen?
- Sind besondere sicherheitstechnische Erfordernisse zu berücksichtigen, z.B. Kühlung der Förderluft, Explosionsschutz, Brandschutz etc.?

4.2. Entladung ohne Fremdluft (nur LKW)

Entladeanlagen für Silo-LKW (insbesondere ohne Fremdluftunterstützung) sollten sorgfältig geplant werden. Wichtigstes Kriterium ist, dass die Förderleitung dann möglichst kurz ist und z.B. nur senkrecht am Silo hoch verläuft und der LKW unmittelbar neben dem Silo

platziert werden kann. Dies garantiert, insbesondere bei Entladung ohne Fremdluft, eine minimale Entladedauer.

Merkmale:

- Die Förderluft wird vom bordeigenen Kompressor erzeugt
- Der Tank des Silofahrzeuges oder Kesselwagens ist der Druckbehälter

Eingesetzt bei Standardanwendungen:

- Keine besonderen Anforderungen an die Qualität der Förderung
- Leitungslänge (horizontal + vertikal) < 50 m

Geeignet für Durchsatzleistungen von:

- Bis zu ca. 15 -17 m³/h Fördergutdurchsatz bei einem Leitungsdurchmesser DN80
- Bis zu ca. 28 –30 m³/h Fördergutdurchsatz bei einem Leitungsdurchmesser DN100

Größere Leitungsdurchmesser sind bei Verwendung bordeigener Kompressoren nicht sinnvoll oder notwendig, da die Leistung der Bordkompressoren begrenzt ist und damit die Fördergeschwindigkeiten und Verschleiß unnötig hoch wären. Stehen natürlich größere Onboard-Verdichter zur Verfügung lassen sich durchaus auch Leitungen DN125 oder sogar DN150 bedienen.

Nennweite	Rohrabmessung (mm)	d _{licht} (mm)	v _{end} =20 m/s	v _{end} =25 m/s	v _{end} =30 m/s
DN80	(88,9 x 4,5)	79,9	361	451	541
DN100	(114,3 x 6)	102,3	591	739	887
DN125	(139,7 x 7)	125,7	893	1146	1400
DN150	(168,3 x 8)	152,3	1311	1638	1966

Alle Angaben bezogen auf Luft bei 1 bar abs. und 20°C

Tabelle 1: Luftgeschwindigkeiten am Förderleitungsende bei unterschiedlichen Nennweiten

4.2.1 Wahl des Förderleitungsdurchmessers

Mit Luftmengen von 550 m³/h und mehr lassen sich Förderleitungen DN100 problemlos bedienen. Dies hat eine schnellere Entleerung des LKW's zur Folge, da der Druckverlust (bei gleicher Luftmenge und Entladeleistung) über eine DN100-Leitung natürlich viel geringer ist als in einer Leitung DN80. (In die Druckverlustberechnung geht die Luftgeschwindigkeit quadratisch ein, mithin ist der Druckverlust in fünfter Potenz vom Leitungsdurchmesser abhängig!) Manche Silolieferanten bieten allerdings immer noch Standardfülleleitungen DN80 an und verursachen dadurch längere Entladezeiten und einen unnötig hohen Energieeinsatz. Nur bei sehr schwerem oder grobem Schüttgut, welches hohe Transportgeschwindigkeiten erfordert, können DN80-Leitungen vorteilhaft eingesetzt werden.

Folgende Ausrüstung ist mindestens erforderlich:

a) Förderleitung: - Vor-Ort-Bedienkasten (VOK)

- TW (Tankwagen)-Kupplung mit Initiator
- Absperrorgan in der Förderleitung z.B. Kugelhahn oder Quetschventil

b) Silo: - Überfüllschutz (LH), Leermelder (LL)

- Über-/Unterdrucksicherung
- EntlüftungsfILTER

Darüber hinaus lassen sich noch weitere steuerungstechnische Details (wie z.B. verwechslungssichere Anschlüsse, Alarmmeldungen etc.) realisieren.

Grundsätzlich ist jedoch darauf zu achten, dass das Silo ausreichend groß dimensioniert ist und darüber hinaus ein genügend großes Materialpolster im Silo vorhanden ist, damit sich das Einfüllen frischen Materials im aufgelockerten Zustand nicht auf das Auslaufverhalten auswirkt.

Beispiel: Verbrauch ca. 5 – 6 t pro Tag, Reichweite ca. 5 Tage, Füllmenge jeweils 25 t. Daraus ergibt sich bei einer Schüttdichte von 800 kg/m^3 ein Mindest-Silovolumen von $32 + 12,5 = \text{ca. } 42 \text{ m}^3$, gewählt wird daher ein Silo mit mindestens 50 m^3 Inhalt.

4.2.2 Umrüstung der Förderleitung

Mit sogenannten „Boostern“ lässt sich der Entladevorgang bei schlecht fließenden oder schwer förderbaren Schüttgütern u.U. erheblich beschleunigen.

Es besteht die Möglichkeit auch die LKW-Entladung mit einer Pfropfenförderung auszurüsten. Ein sogenannter Zerhacker wird dabei zwischen Silo-LKW und Förderleitung geschaltet. Es werden so Materialpfropfen bestimmter Länge und Frequenz erzeugt. Der Förderdruck wird auf einem bestimmten Wert beschränkt und die Entladung kann kontinuierlich erfolgen.

4.3. Fremdluftunterstützte Förderung

Merkmale:

- Die bordeigene Förderluft wird durch zusätzliche Druckluft unterstützt (hohe Förderleistung) oder ersetzt (schonende, entmischungsfreie Förderung)
- Der Tank des Silowagens ist ein Druckbehälter

Mögliche Anwendungsfälle:

- Wenn eine entmischungsfreie Förderung gefordert ist (z.B. bei Vormischung oder Fertigprodukt)
- Wenn die Kornzerstörung durch den Abrieb minimiert werden soll (z.B. bei Natriumpercarbonat, Struktursand)
- Bei hoher Förderleistung bis zu $115 \text{ m}^3/\text{h}$

- Bei langen Befüllstrecken bis zu 300 m
- Wenn kein bordeigener Kompressor vorhanden ist (z.B. Kesselwagen)

Beispiel: Entladung eines Kohlenstaub-Silo-LKW

An uns wurde die Forderung herangetragen, Kohlenstaub aus einem LKW (über insgesamt knapp 200 m, davon 45 m vertikal, 9 Krümmer a 90°, 4 Krümmer a 45°) zu entladen. Vorgegebene Entladezeit für 26 t waren 30 Minuten. Gewählt wurde eine gestufte Förderleitung mit 200 mm Enddurchmesser. Die Luftmenge liegt bei ca. 2500 m³/h. Mit dieser Anordnung war es möglich, die Entladezeit sicher im Bereich 25 – 30 min zu halten.

4.3.1 LKW-Pfropfenförderung

Die LKW-Pfropfenförderung kann bei besonders schwierig zu fördernden Produkten sinnvoll sein. Allerdings ist hierzu ein besonders hoher apparativer Aufwand notwendig.

4.4 Schräge Leitungen

Manchmal kann es vorteilhaft sein, die Förderleitungen nicht nur horizontal und vertikal zu verlegen, sondern steil mit einem Winkel von 60 – 90° zur Horizontalen. Auch wenn der relative Druckverlust ansteigt, wird der Gesamtdruckverlust merklich geringer bzw. die Förderleistung wird signifikant höher. Die Abbildungen 4 bis 6 zeigen ein Beispiel aus einer Altkunststoff (DSD) Silowagen-Entladung. Ursprünglich wurde die Entladestation so konzipiert, dass alle 3 Leitungen zu den Silos ungefähr gleich lang waren (ca. 65 m). Da aufgrund der horizontalen Leitungen und Krümmer öfters Verstopfungen zu beobachten waren, entschloss man sich auf unser Anraten, die Leitung direkt an den Silos möglichst senkrecht nach oben durchzuführen (Leitungslängen neu ca. 40 – 45 m). Die Ergebnisse nach Installation zeigten, dass die Förderleistung um ca. 53 bis 65% bei sonst unveränderten Bedingungen gesteigert werden konnten. Verstopfungen kamen nur noch äußerst selten vor.

5 Einbindung der LKW-Entladung in einen verfahrenstechnischen Prozess

Die direkte Einbindung der LKW-Entladung in einen verfahrenstechnischen Prozess erfordert eine besonders sorgfältige Planung.

Beispielsweise sollten aus einem Silo-LKW heraus 4 Brenner in einem Kraftwerk mit insgesamt 10 t/h Tiermehl versorgt werden. Die Aufgabe wurde durch einen sogenannten Verteiler mit Fremdluftbeaufschlagung (siehe Abb. 7 und 8) gelöst. Die Förderung war sehr gleichmäßig (siehe Abb. 9) und arbeitete über die gesamte Einsatzperiode von 2,5 Jahren zuverlässig.

Ein anderes Beispiel ist das direkte Verblasen von Rückständen (z.B. Filterasche) aus bis zu 3 Silo-LKW gleichzeitig über eine senkrechte Leitung 450 m Untertage in eine Silo-Empfangsstation.

5.1 Bestimmung der Schwallmengen und Entlastungszeiten bei pneumatischen Druckförderanlagen

Anders als bei den online abgereinigten Aufsatzfiltern werden so genannte Rüttelfilter während des Beladevorganges normalerweise nicht abgereinigt und der Druck im Filter steigt bis zum Beladeende an. Daher kann es bei großen Förderluftmengen und hohen Entladedrücken im Silofahrzeug zu Problemen mit dem Silo bzw. dem Druck im Silo kommen. Nicht zuletzt wird nach dem Transport des Materials u.U. auch noch die gesamte komprimierte Luft aus dem Silo-LKW in das Silo überführt.

Wodurch wird nun der Druck im Silo zum Ende der Förderung bzw. während des Endschwalls beeinflusst? Dies sind:

1. Größe (Volumen) des Silos allgemein
2. Verbleibendes Luftvolumen bei nahezu gefülltem Silo vor Beginn des Endschwalles
3. Art des Filters und der Filterabreinigung
4. Länge und Durchmesser der Förderleitung
5. Druck im Silo-LKW zum Ende der Förderung
6. Volumen des Druckbehälters auf dem Silo-LKW

Es ist klar, dass die Größe und der Entladedruck der Silo-LKW-Behälter die Gesamtluftmenge zum Silo hin stark beeinflusst. So hat ein 30 m³-LKW-Silobehälter bei einem Entladeüberdruck von 0,8 bar ein absolutes Luftvolumen von ca. 24 m³ abzugeben, bevor der Druck im LKW-Silobehälter wieder auf Umgebungsdruck abgesunken ist.

Liegt der Entladeüberdruck aber z.B. bei 1,5 bar und hat der LKW-Silobehälter einen Brutto- (Luftinhalt) von 50 m³ so verdreifacht sich (im Vergleich zum ersten Beispiel) die absolute Luftmenge auf ca. 75 m³. Jetzt sind also über das Aufsatz-Filter des Silos nicht nur 24 m³ sondern 75 m³ abzuführen. Dadurch kann sich der Druck im Vorratssilo wesentlich erhöhen, da die insgesamt eingebrachte Luftmenge auch höher ist.

Dabei muss beachtet werden, dass neben der eingespeicherten Luftmenge auch der Durchmesser der Förderleitung und deren Länge einen entscheidenden Einfluss auf die Entleerzeit und damit auf den tatsächlichen Luftvolumenstrom haben.

Im Handbuch der Firma Infastaub [1] findet sich eine solche Abschätzung über den max. Luftvolumenstrom und Entladedauer, die hier wiedergegeben wird.

5.2 Berechnungsgang

Bei pneumatischen Förderanlagen treten bei der Entlastung von Förderbehältern erhöhte Abluftmengen (sog. Schwallmengen) auf, die besonders für die Auslegung der nachgeschalteten Abluftfilter wichtig sind.

Die Bestimmung des max Volumenstromes und der Entlastungszeit erfolgt vereinfacht nach den folgenden Beziehungen (gültig für Luft mit $t = 20^\circ\text{C}$ und $p = 1 \text{ bar abs.}$): [1]

$$V_{\max} = C \times 5,25 \times p_o \times 10^5 \times A \text{ (m}^3\text{/h)} \quad (1)$$

für $p_C > 1,89 \text{ bar abs.}$

$$t_E = \frac{0,0063 \times V_K \times \ln p_o}{C \times A} \text{ (s)} \quad (2)$$

V_{\max}	=	max Volumenstrom in $\text{m}^3\text{/h}$ (Schwallmenge)
C	=	nach Abbildung 1
l	=	Förderleitungslänge in m
d	=	lichter Förderleitungsdurchmesser in m
t	=	Entlastungszeit in s
A	=	$\pi/4 \times d^2 =$ lichter Rohrquerschnitt in m^2
p_o	=	abs. Druck im Förderbehälter in bar
V_K	=	Förderbehälterinhalt in m^3

Beispiel 1:

V_F	=	600 $\text{m}^3\text{/h}$ Fördervolumenstrom C
l	=	30 m
d	=	0,1 m
V_K	=	10 m^3
p_o	=	2 bar abs

Auslegung:

l/d	=	300
C	=	0,48
V_{\max}	=	$0,48 \times 5,25 \times 2 \times 10^5 \times 0,1^2 \times \pi/4 = \underline{3960 \text{ m}^3\text{/h}}$

$$t_E = \frac{0,0063 \times 10 \times \ln 2 \times 4}{0,48 \times 0,1^2 \times \pi} = \underline{11,6 \text{ s}}$$

Da die Entlastungszeit mit $t = 11,6$ s relativ kurz ist, kann die Filterflächenbelastung als Abluftfilter für den max Volumenstrom etwa das 2-fache der normalen Filterflächenbelastung betragen.

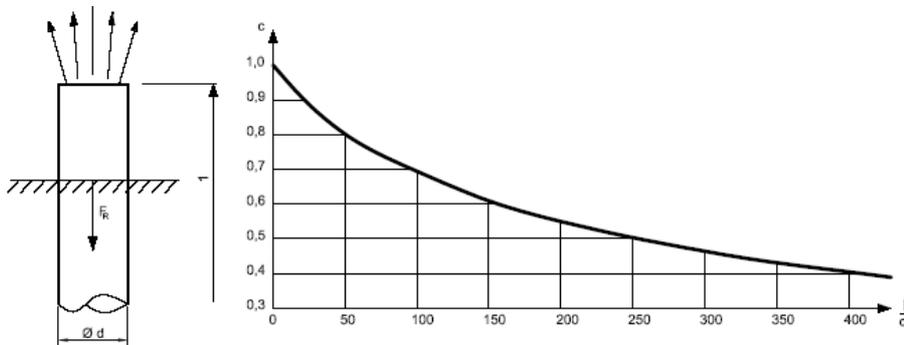


Bild 1: Koeffizient C als Funktion von l/d

Beispiel 2 (wie 1, aber größeres Silofahrzeug und höherer Entladedruck):

Bei einer Silofahrzeugentladung mit einem Kesselvolumen von 50 m^3 und einem Kesseldruck von 2,5 bar abs. verändern sich die Werte wie folgt:

$$V_{\max} = 4950 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$t_E = \frac{0,0063 \times 50 \times \ln 2,5 \times 4}{0,48 \times 0,1^2 \times \pi} = 76,6 \text{ s}$$

Die Entlastungszeit mit dem um $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ höheren Volumenstrom beträgt jetzt 77 s oder ca. 1,3 min und ist damit wesentlich größer als im ersten Beispiel.

Beispiel 3: (wie 1, aber kürzere Leitung)

Problematisch kann es natürlich auch sein, wenn die Leitung wesentlich kürzer ist (z.B. nur 15 m statt wie im ersten Beispiel 30 m, weil z.B. das Silo entsprechend kleiner, d.h. niedriger ist. Dann steigt der Koeffizient C von 0,48 auf ca. 0,62 an und die Entlastungszeit t verringert sich von 76,6 s auf ca. 60 s. Der max. Volumenstrom V_{\max} steigt entsprechend von $3960 \text{ m}^3/\text{h}$ auf ca. $5115 \text{ m}^3/\text{h}$.

Insgesamt verschlechtert sich die Situation dramatisch.

6 Auslegung von Silo-Filteranlagen

Bei der Verwendung von „normalen“ Stahlblechsilos wird der Auslegungsdruck (Überdruck) zwischen 50 und 100 mbar liegen. Dadurch ist eine gewisse „Festigkeit“ des Silos einerseits und eine noch wirtschaftliche Wanddicke andererseits gewährleistet. Als Unterdruck wird für die Siloauslegung normalerweise ein Wert von 15 – 30 mbar berücksichtigt.

6.1 Unterdruckförderung

Silos sind im Allgemeinen nicht einfach gegen einen zu hohen Unterdruck zu schützen. Dies geschieht im Allgemeinen durch eine Unterdrucksicherung, welche bei einem definierten Wert Luft von außen in das Silo nachströmen lässt. Es ist bereits mehrfach vorgekommen, dass aufgrund fehlender Zuluftöffnungen Siloanlagen einen kurzzeitig auftretenden Unterdruck von 80 – 100 mbar nicht ohne Schaden überstanden haben.

Grundsätzlich ist also ein „Vakuumbrecher“ bei pneumatischer Unterdruckförderung in Silos extrem wichtig.

6.2 Überdruckförderung

Ähnlich sehen die Probleme bei der Überdruckförderung aus. Hier ist der maximal zu erwartende Volumenstrom und seine zeitliche Begrenzung ausschlaggebend. Abhängig von den im vorigen Abschnitt gezeigten Beziehungen baut sich ein Druck im Silooberteil auf, dessen Höhe unter Umständen die zulässigen Grenzwerte schnell überschreiten kann.

Die folgenden Diagramme zeigen die max. Volumenströme, welche die Silos erreichen und die Dauer dieser extremen Belastung. Man erkennt, dass bei Leitungen von 80 bzw. 100 mm, welche normalerweise bei der LKW-Entladung verwendet werden, max. Volumenströme und max. Entladezeiten von 1800 - 8000 m³/h bzw. 10 - 180 Sekunden auftreten können.

In den nächsten Bildern wird gezeigt, welche Auswirkungen sich daraus auf Druck im Silo bei unterschiedlichen Silogrößen und LKW-Größen ergeben.

Luft-Volumenstrom und Druck im Empfangssilo als Funktion der Zeit bei der simultanen Entleerung von 2 Silo-LKW über eine Strecke von 450 m und einem Leitungsdurchmesser von 150 mm.

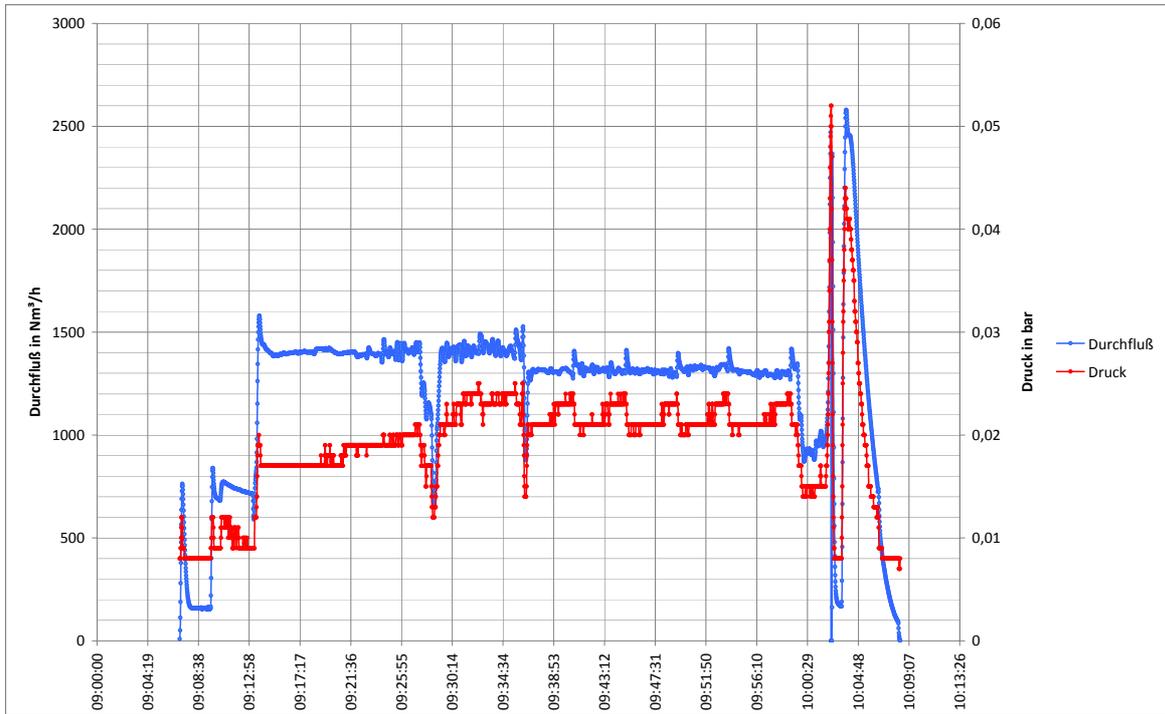


Bild 2: Beispiel für Entlastungszeiten

Entlastungszeiten für Silo-LKW als Funktion der Förderleitungslänge mit Kesselvolumen und Leitungsdurchmesser als Parameter

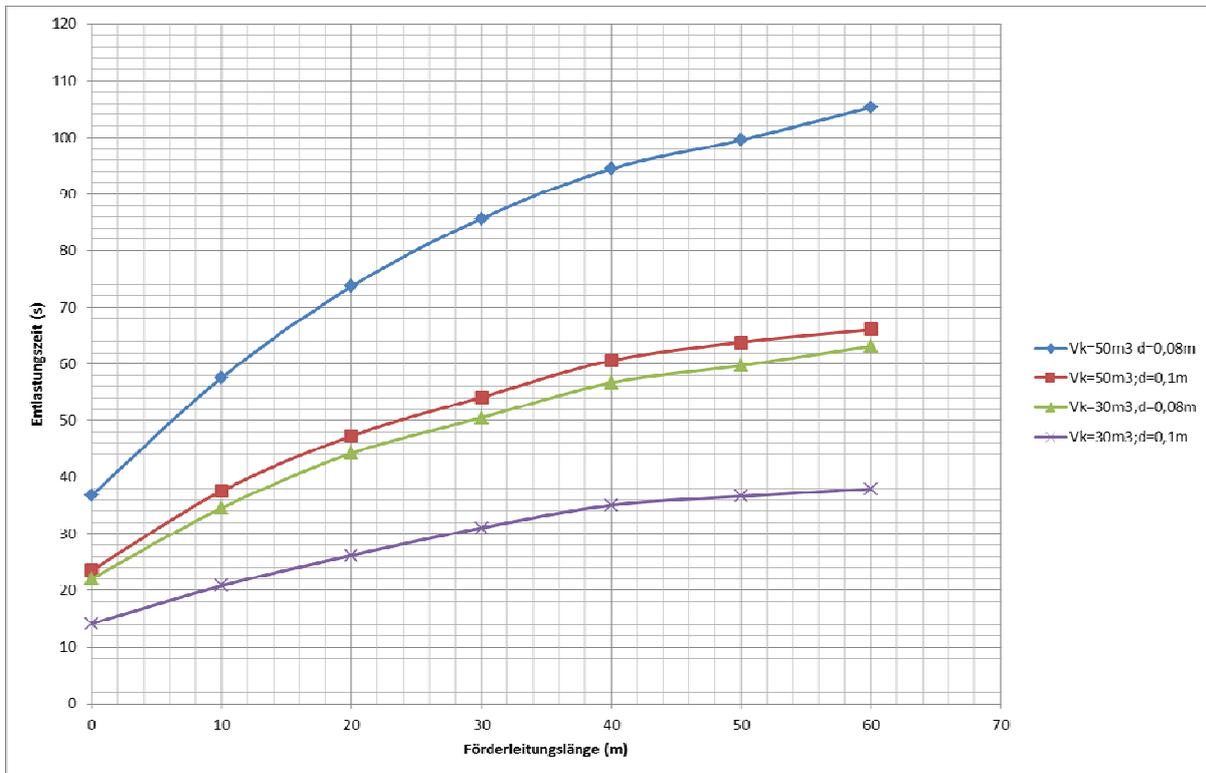


Bild 3: Entlastungszeiten bei 0,8 bar (ü)

Entlastungszeiten für Silo-LKW als Funktion der Förderleitungslänge mit Kesselvolumen und Leitungsdurchmesser als Parameter

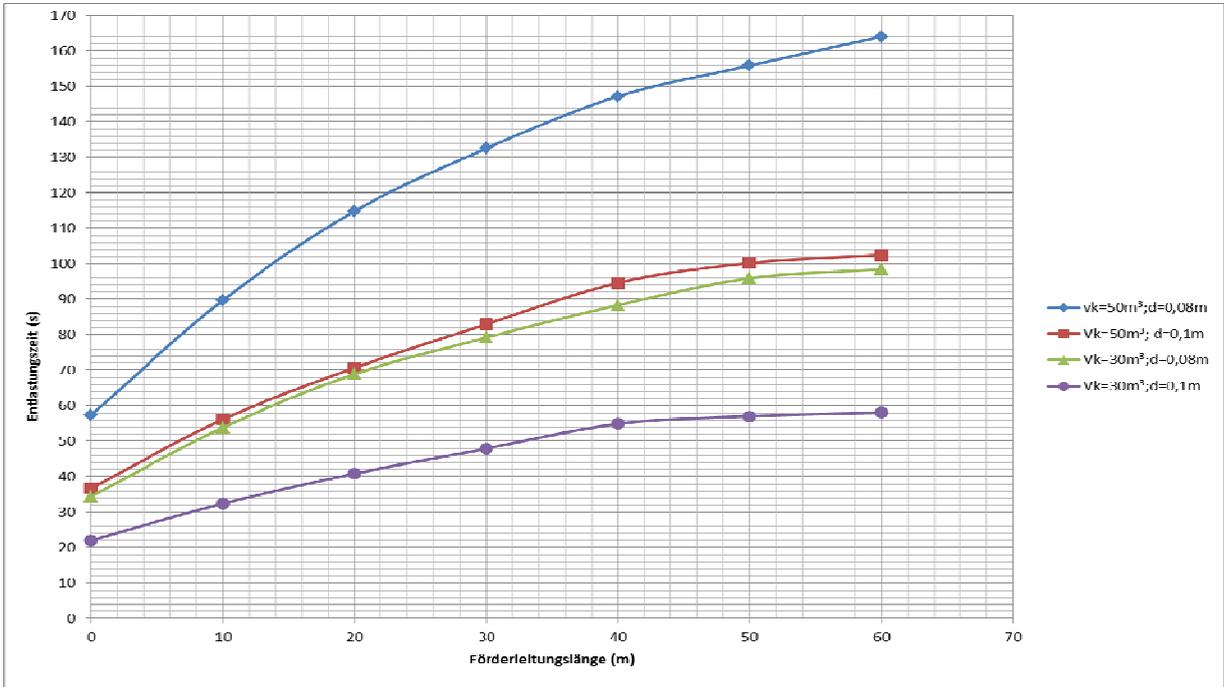


Bild 4: Entlastungszeiten bei 1,5 bar (ü)

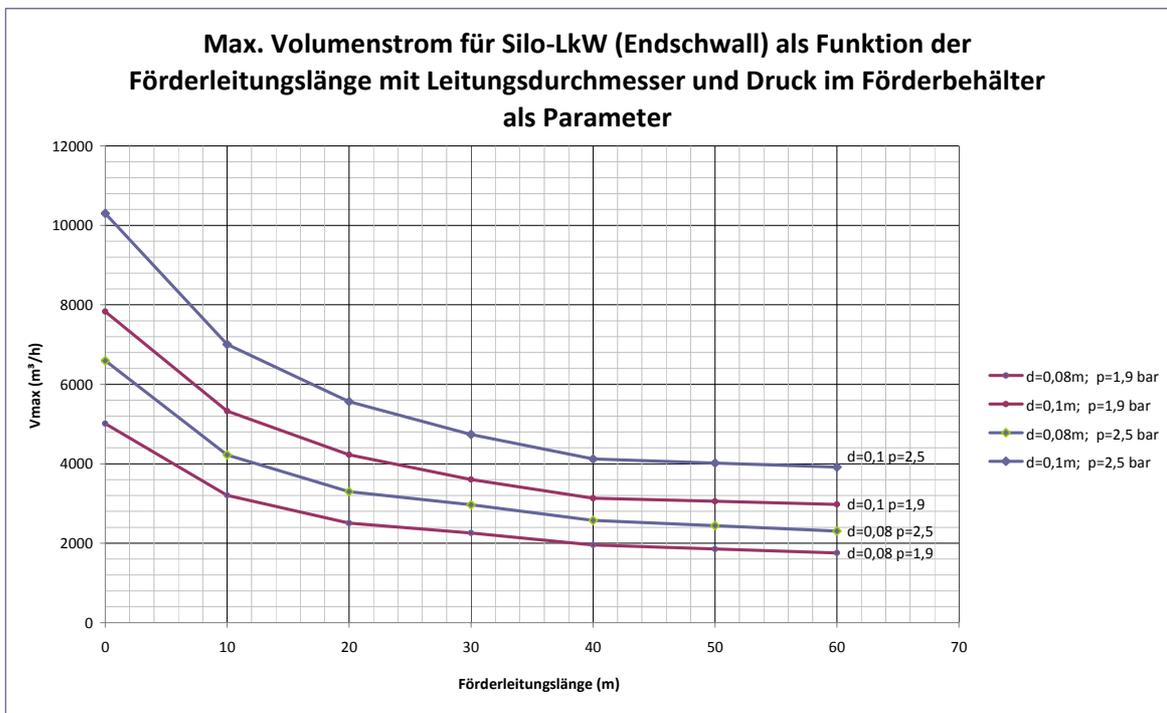


Bild 5: Dia V max

7 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die richtige Auslegung einer Siloanlage mit pneumatischer Befüllung aus Silo-LKW durch eine Vielzahl von Parametern beeinflusst wird.

Insbesondere die Wahl eines geeigneten Leitungsdurchmessers ist von großer Wichtigkeit. Daneben muss auch die Auslegung und Auswahl eines passenden Aufsatzfilters mit Sachverstand durchgeführt werden.

Soll die Entladung mit Fremdluft (und nicht mit dem bordeigenen Kompressor des LKW) erfolgen, sind die Förderparameter entsprechend anzupassen.

Besonders wichtig ist die Beachtung der folgenden Punkte:

- Art und Verhalten des Fördergutes
- Längen und Durchmesser der Förderleitungen und dazu passende Luftmengen und die „begrenzten“ Förderdrücke.
- Aufstellungsorte der Silo-Lkw
- Bei Silo-Lkw mit eigenem Kompressor bevorzugt DN100-Förderleitungen wählen
- Auch ein „schräger“ Leitungsverlauf kann Vorteile haben

Insgesamt sind auch extreme Aufgabenstellungen und sogar die direkte Einbindung der Fahrzeugentladung in einen verfahrenstechnischen Prozess möglich.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Taschenbuch INTENSIVFILTER (Entstaubungstechnik Filtermedien)
3. Auflage, 1989

9 Anhang



Abbildung 1: Euter-Fahrzeug (Quelle: Spitzer)



Abbildung 2: Kippsilo-Fahrzeug (Quelle: Spitzer)

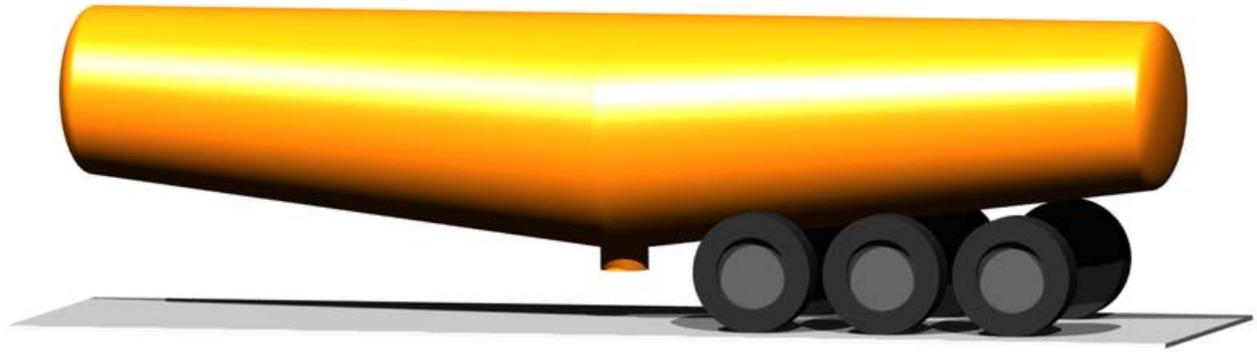


Abbildung 3: Bananenfahrzeug (Quelle: W. Feld)



Abbildung 3a: Bananenfahrzeug (Quelle: K. Schneider)

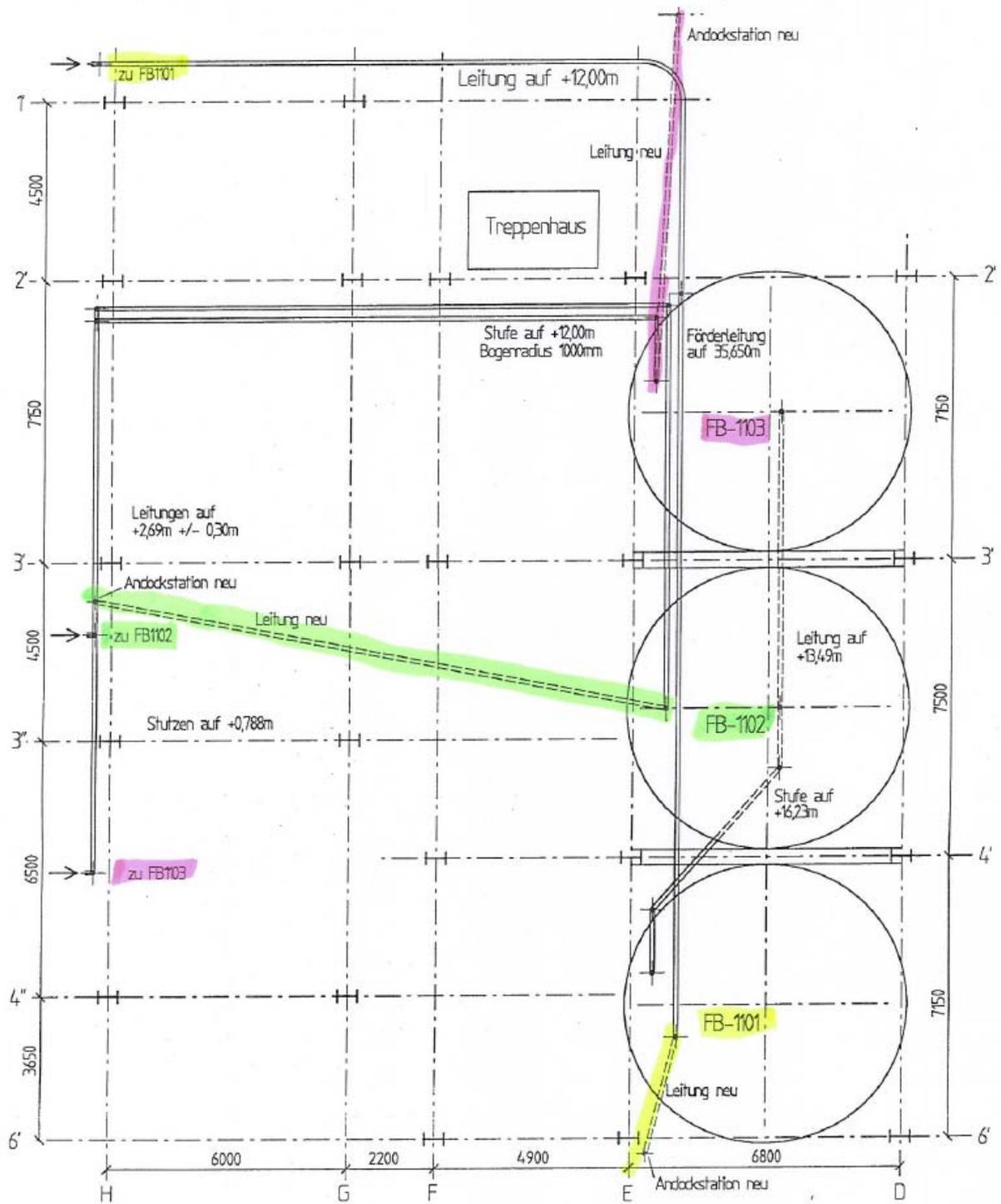


Abbildung 4: Aufbau der Entladeanlage alt/neu

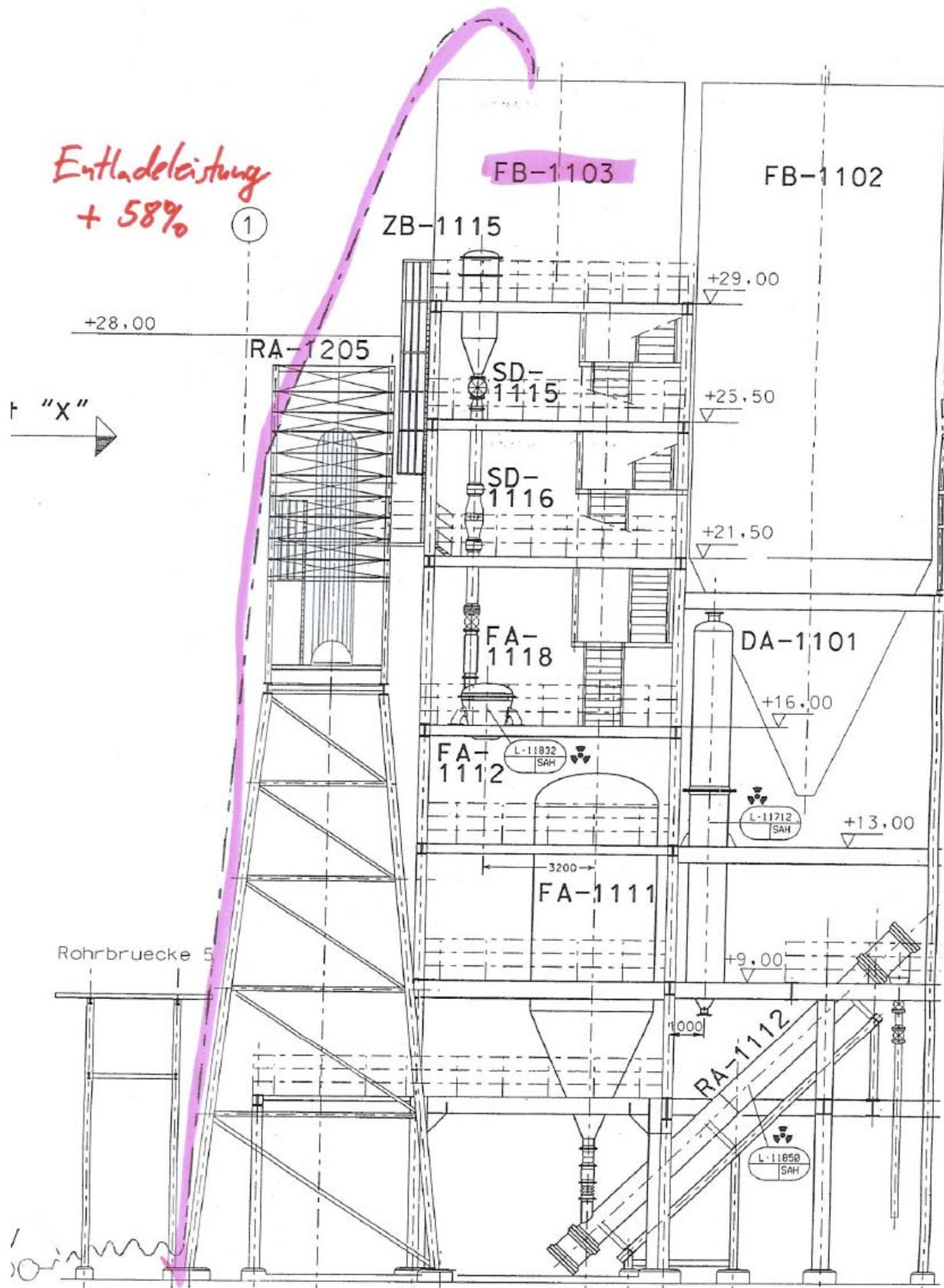


Abbildung 5: Neue Förderleitung für Silo FB-1103

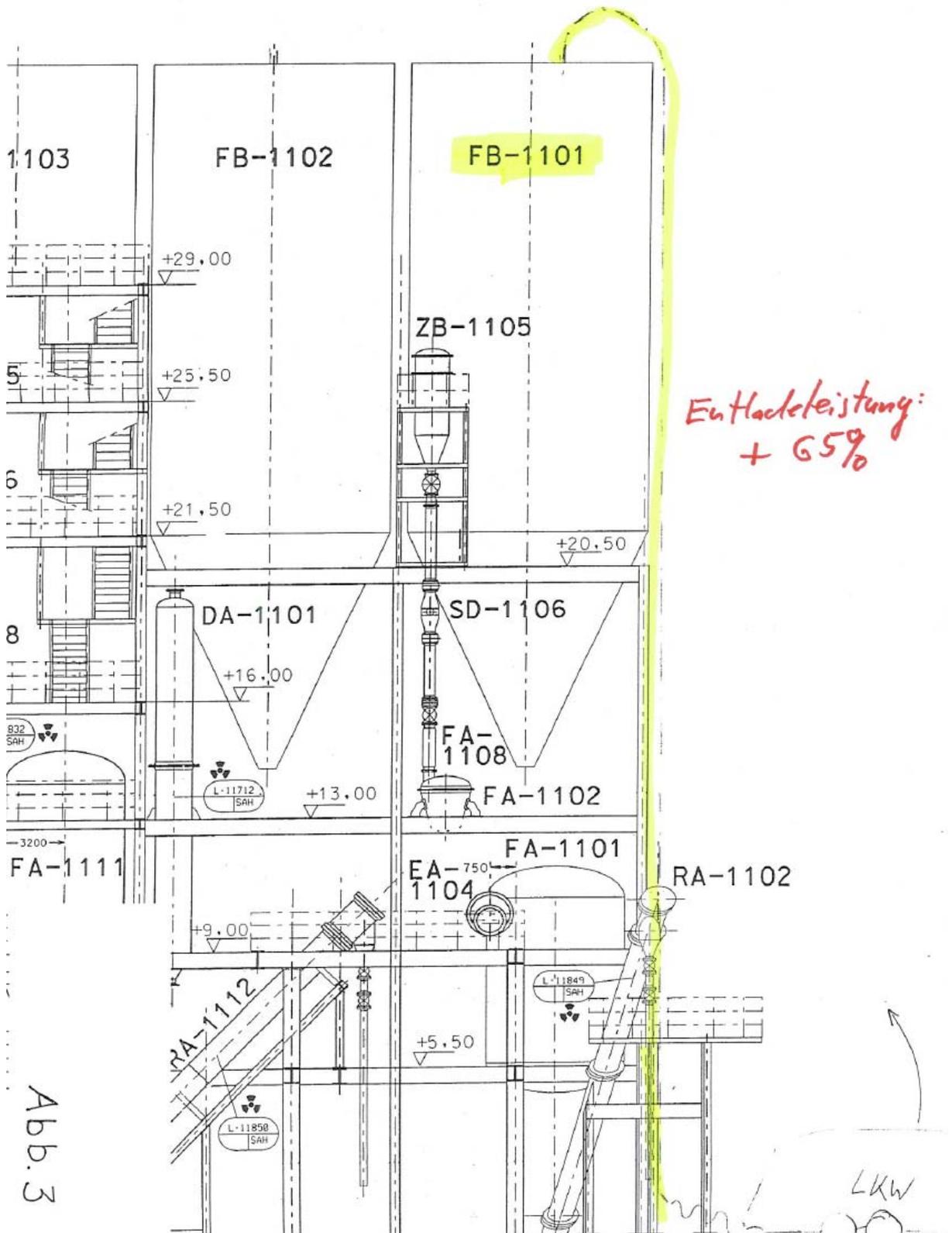


Abbildung 6: Neue Förderleitung für Silo FB-1101



Abbildung 7: Entleerung eines Silo-Lkw mit Tiermehl



Abbildung 8: 4-fach-Verteiler hinter Silo-Lkw

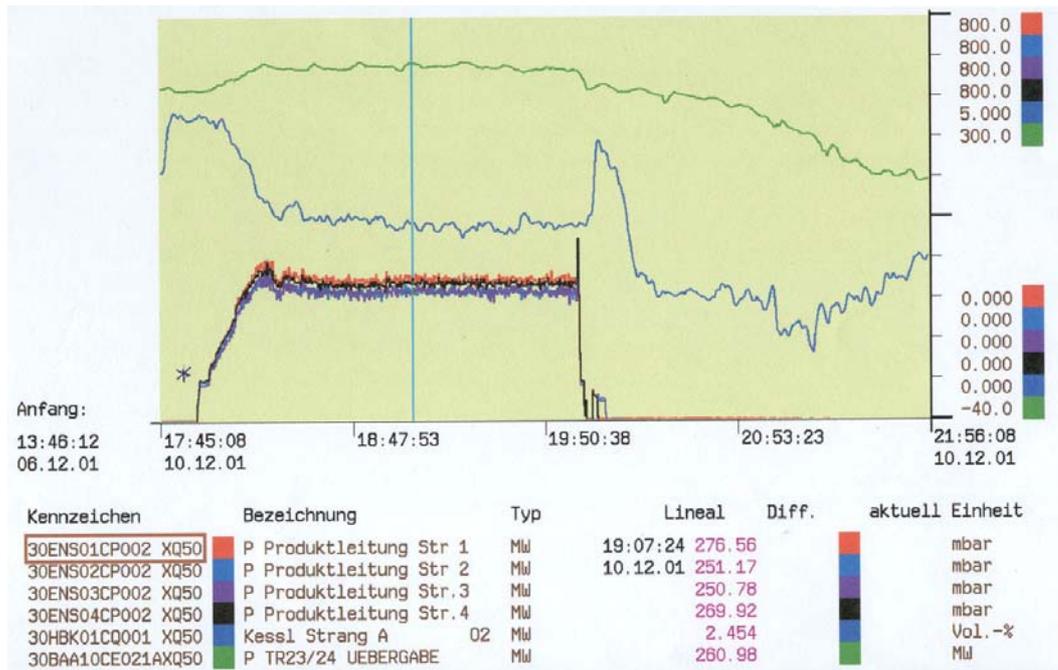


Abbildung 9: Einbindung der Silo-LKW-Entladung in verfahrenstechnischen Gesamtprozess