Entleerungssichere Silokonusformen mit konstanter Verjüngung

Bei schlecht fließenden Schüttgütern, besonders bei großem Korn mit rauer und zerklüfteter Oberfläche sowie steilem Böschungswinkel ist der zuverlässige verstopfungsfreie Austrag bei konventioneller Siloauslaufgeometrie häufig problematisch.

Eine wesentliche Ursache dafür ist die Tatsache, dass bei Silos und Bunkern mit konventionell gestaltetem Auslaufkonus der Verjüngungsfaktor nicht konstant ist, sondern mit zunehmender Nähe zum Siloauslauf stark zunimmt, was zu einer progressiven Verdichtung des Schüttguts in diesem Bereich führt. Dieser Umstand begünstigt auch das „Kernfluss“ genannte Ausflussverhalten von Silos, bei dem sich im Silozentrum ein kaminartiger Kanal bildet, während das Schüttgut am Silorandbereich ohne Bewegung stehenbleibt.

Die nachfolgend gezeigten Abbildungen zeigen die Querschnittsverhältnisse des Silokonus beispielhaft an 6 Scheibensegmenten.

Abb. 1: Scheibensegmentmodell; der Abstand d y ist immer gleich.

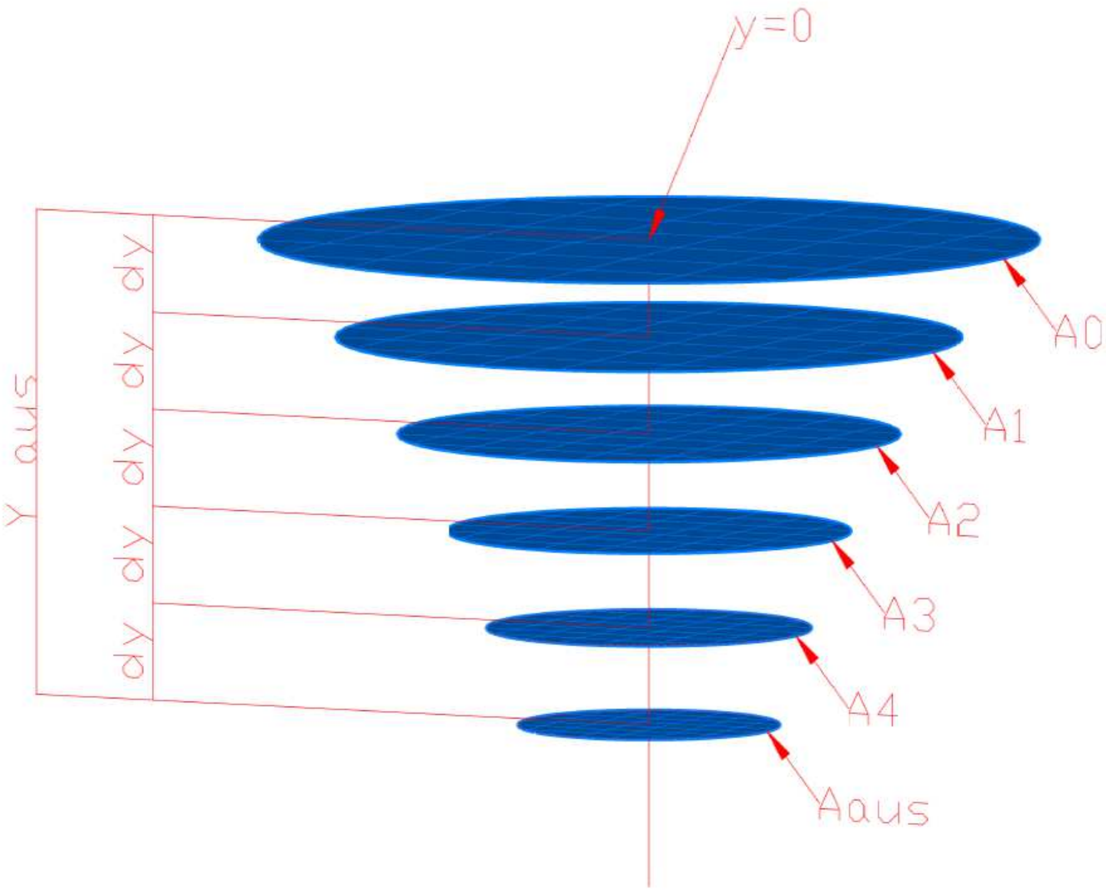
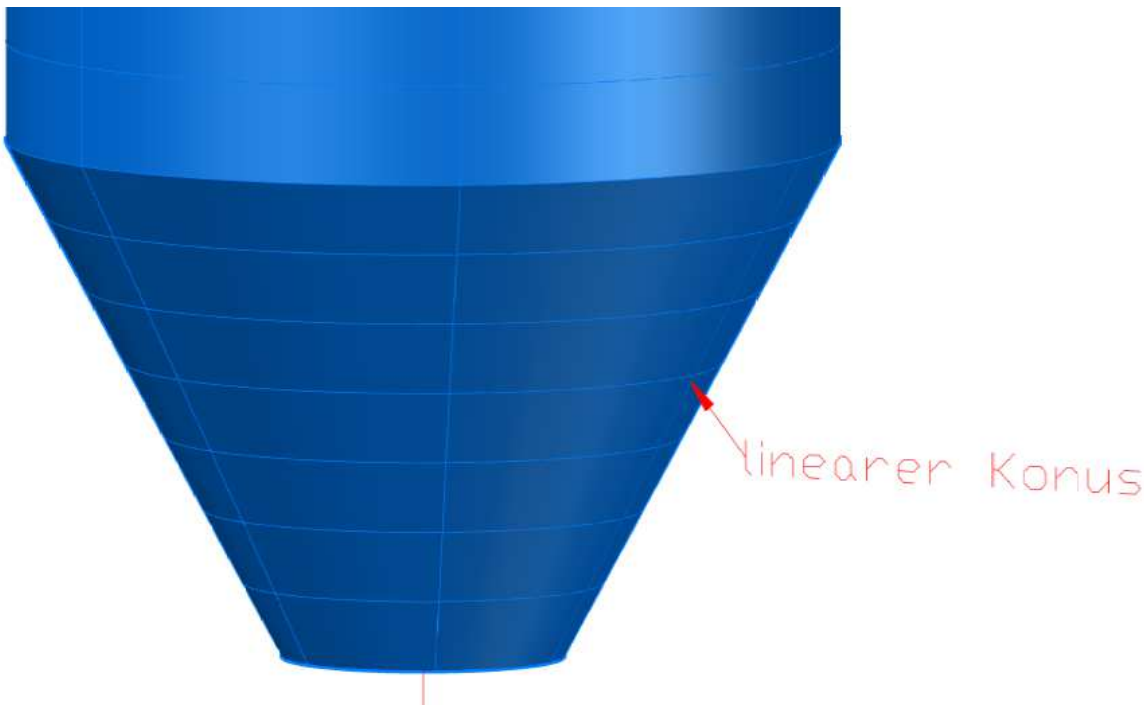


Abb. 2: Rundsilo mit konventionellem Auslaufkonus

A0/A1 < A1/A2 < A2/A3 < A3/A4 < A4/A aus



Bezeichnungen:

Oberer Silokonusquerschnitt	A0
Unterer Silokonusquerschnitt (Auslauf)	A aus
Verjüngungsfaktor	A (n) / A (n+1)
Gesamte Konushöhe von A0 bis A aus	y aus
Nullpunkt Konushöhe	y=0 liegt im Zentrum von A0

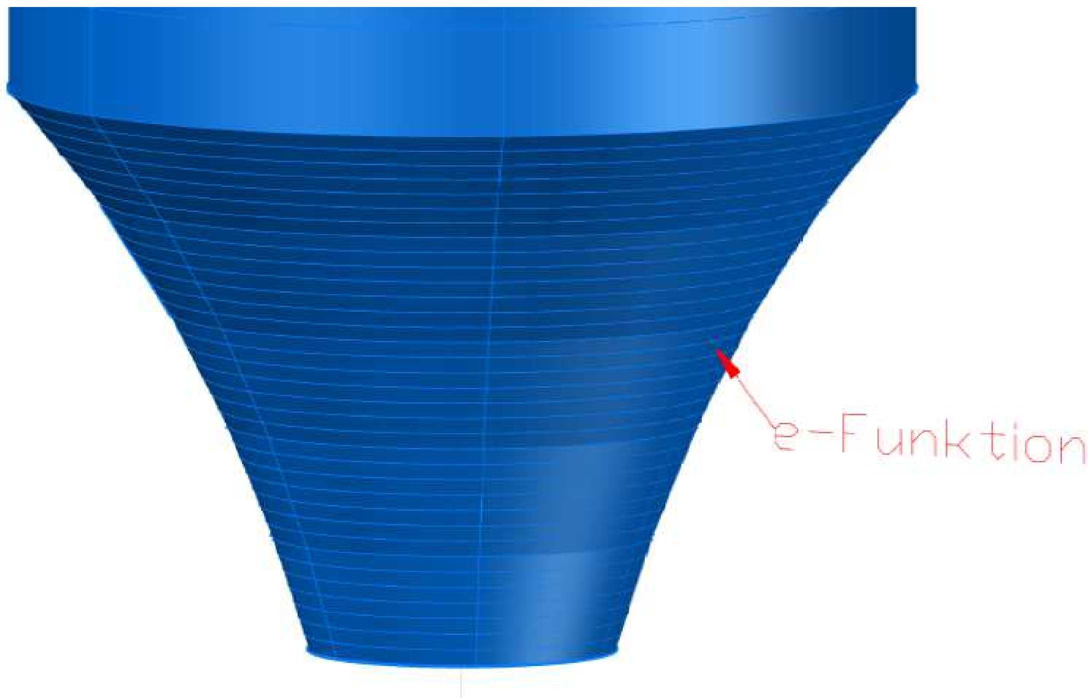
Stellt man an einen Silo bzw. Bunker die Anforderung dass im Konusbereich der Verjüngungsfaktor konstant ist, so gelten für dessen Geometrie folgende Zusammenhänge:

Anforderung für konstanten Verjüngungsfaktor:	A (n) / A (n+1) = konstant

Diese Anforderung wird erfüllt, wenn die Konusquerschnittsfläche in y-Richtung (d.h. in Richtung Auslauf) in einer e-Funktion abnimmt.

Abb. 3: Rundsilo mit exponentiellem Auslaufkonus

A0/A1 = A1/A2 = A2/A3 = A3/A4 = A4/A aus



Die e-Funktion hat folgende Form:

$$A(y) = A0 \cdot e^{-c \cdot y} \qquad (1)$$

Da in der Praxis der obere Konusquerschnitt A0, der Auslaufquerschnitt A aus sowie die gesamte Konushöhe y aus gegeben sind, kann aus diesen Randbedingungen der Wert von c errechnet werden:

$$Aaus = A0 \cdot e^{-c \cdot y\,aus}$$

Hieraus ergibt sich:

$$c = \ln\left(\frac{A\,aus}{A\,0}\right) \cdot \frac{1}{y\,aus} \cdot (-1) \qquad (2)$$

Eingesetzt in (1) ergibt sich:

$$A(y) = A0 \cdot e^{\ln\left(\frac{A\,aus}{A0}\right) \cdot \frac{y}{y\,aus}} \qquad (3)$$

Dieser Ausdruck lässt sich noch vereinfachen:

$$A(y) = A0 \cdot \left[e^{\ln\left(\frac{A\,aus}{A0}\right)}\right]^{\frac{y}{y\,aus}}$$

Und schließlich ergibt sich:

$$A(y) = A0 \cdot \left(\frac{A\ aus}{A0}\right)^{\left(\frac{y}{y\ aus}\right)} \qquad (4)$$

Mit dieser Formel lässt sich die Siloauslaufgeometrie für beliebige Siloformen (rund, quadratisch, rechteckig...) sehr einfach berechnen.

Zu beachten ist dass die Wandneigung im oberen Konusbereich (also bei y=0) zunehmend flacher wird. Die Konushöhe sollte also so gewählt werden, dass die Neigung in diesem Punkt noch so steil ist, dass zuverlässiges rutschen des Schüttguts sichergestellt ist.

In der Praxis lässt sich kein Silo mit exakt exponentiell verlaufendem Konus bauen. Man nähert den Konus dieser Form an, indem man denselben aus drei oder vier linear konischen Segmenten zusammensetzt, die sich trivial abwickeln lassen.

Das Volumen eines so geformten exponentiellen Auslaufkonus eines Rundsilos lässt sich wie folgt errechnen:

$$A(y) = \pi \cdot (R\ (y))^2$$

Somit ist

$$R(y) = \sqrt{\frac{A(y)}{\pi}} = \sqrt{\frac{A0}{\pi}} \cdot e^{ln\left(\frac{A\ aus}{A0}\right) \cdot \frac{y}{2 \cdot y\ aus}} = \sqrt{\frac{A0}{\pi}} \cdot \left(\frac{A\ aus}{A0}\right)^{\left(\frac{y}{2 \cdot y\ aus}\right)}$$

und

$$V = \pi \cdot \int_{yO=0}^{y\ aus} dy\ (R\ (y))^2 = A0 \cdot \int_{yO=0}^{y\ aus} dy\ e^{ln\left(\frac{A\ aus}{A0}\right) \cdot \frac{y}{y\ aus}}$$

Woraus sich folgender einfacher Ausdruck ergibt:

$$V = \frac{A0 \cdot y\ aus}{\ln\left(\frac{A\ aus}{A0}\right)} \cdot \left(\frac{A\ aus}{A0} - 1\right)$$

Versuche haben im direkten Vergleich gezeigt, dass das Materialflussverhalten eines so gestalteten Silos deutlich besser ist als das eines Silos mit konventionellem linearem Konus. Jedoch sind die Herstellungskosten eines so geformten Silos etwas höher, da mehrere Einzelkonen gewalzt und miteinander umlaufend verschweißt werden müssen. Dieser Mehraufwand ist jedoch gering im Vergleich zu den Problemen die ein blockierender Siloauslauf mit sich bringt.

Autoren:

Dipl.-Ing. (BA) Jochen Wankmiller, Björn Wankmiller