

Verifikation von Auslegungsverfahren für Hochleistungs-Schneckenförderer

PROF. DR.-ING. Willibald A. GÜNTNER,

DIPLOM.-ING. Niels BLOMEYER

LEHRSTUHL FÜR FÖRDERTECHNIK MATERIALFLUSS LOGISTIK, TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Zusammenfassung

Es werden Auslegungsverfahren für vertikale und horizontale bis leicht geneigte Hochleistungs-Schneckenförderer vorgestellt, die eine anwendbare und praxistaugliche Möglichkeit sind, solche Förderergeräte für den täglichen Einsatz im Massengutumschlag auszulegen. Die Verifikation des Auslegungsverfahrens für vertikale Schneckenförderer durch Leistungsmessungen an zwei Referenzanlagen hat gezeigt, dass sich die im industriellen Einsatz befindlichen Anlagen mit guten Ergebnissen durch das Berechnungsverfahren nachrechnen lassen.

Abstract

This paper presents feasible and realistic designs for the daily use of vertical, horizontal and slightly tilted high-capacity screw conveyors in mass good transshipment. The design of vertical screw conveyors was verified by means of performance measurings at two industrial reference plants and the calculations showed good results.

1. Einleitung

Im Bereich des Massengutumschlags von Schüttgütern werden aufgrund steigender Anforderungen an Stetigförderer hinsichtlich der Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit der Förderanlage sowie im Bereich des Umweltschutzes immer häufiger auch hochleistungsfähige, schnelllaufende Schneckenförderer, die sogenannten Hochleistungs-Schneckenförderer, eingesetzt. Sie eignen sich besonders zur Förderung von pulverförmigen und feinkörnigen bis kleinstückigen Gütern.

Die Nachfrage nach bestmöglicher Technik im Bereich des Umschlags von Massenschüttgütern nimmt aufgrund zunehmender weltweiter Privatisierungen von Häfen und anderen öffentlichen Einrichtungen sowie einem erhöhten Handelsvolumen zwischen den Staaten und einer gestiegenen Sensibilisierung der Bevölkerung hinsichtlich der Umweltauswirkungen deutlich zu.

Besonders für bestimmte Massenschüttgüter wie z. B. Kohle, Getreide und Zement kann dabei eine weltweite Tendenz hin zu kontinuierlich arbeitenden Hochleistungs-Schneckenförderern festgestellt werden. Dies gilt insbesondere für den Schiffsverkehr.

Grund für die steigende Bedeutung ist die Notwendigkeit, die Schiffe schnell und effizient zu entladen, um die Liegezeiten zu verkürzen und die Auslastung der Schiffe zu verbessern.

Allerdings eignet sich die für die Auslegung von horizontalen bis leicht geneigten (0° bis 20° Förderereneigung) Schneckenförderern bekannte DIN 15262 nicht zur Berechnung von Hochleistungs-Schneckenförderern dieses Betriebsbereichs, und für den Bereich der vertikalen Schneckenförderer fehlt bisher völlig ein anwendbares und praxistaugliches Auslegungsverfahren.

Somit entstand der Wunsch und die Notwendigkeit, Auslegungsverfahren für vertikale und horizontale bis leicht geneigte Hochleistungs-Schneckenförderer zu entwickeln.

Mit Hilfe von umfangreichen experimentellen Untersuchungen an der in Abbildung 1-1 dargestellten Großversuchsanlage des Lehrstuhls fml konnten Dimensionierungs- und Auslegungsverfahren für vertikale und horizontale bis leicht geneigte Hochleistungs-Schneckenförderer im Rahmen eines von der AiF geförderten Forschungsprojektes entwickelt werden. Dabei wurden verschiedene Schüttgüter wie zum Beispiel Weizen oder Raps, sowie stückige Güter wie z. B. Kohle untersucht.



Abbildung 1-1: Großversuchsanlage des Lehrstuhls fml

Die Dimensionierungs- und Auslegungsverfahren werden im Folgenden beschrieben.

2. Vertikale Hochleistungs-Schneckenförderer

2.1. Auslegung vertikaler Schneckenförderer

2.1.1. Baugrößendimensionierung

Bei der Dimensionierung eines vertikalen Schneckenförderers ist der Massen- bzw. Volumenstrom, welcher gefördert werden soll, von entscheidender Bedeutung.

Als Eingangparameter für die Baugrößendimensionierung wird aus dem zu fördernden Massenstrom über die Schüttdichte des Förderguts der Volumenstrom I_v nach Gl. (2.1) ermittelt:

$$I_v = \frac{I_m}{\rho} \quad (2.1)$$

Mit dem zu fördernden Volumenstrom I_v kann die Baugröße des Förderers in Abhängigkeit des festgelegten Füllungsgrads anhand des in Abbildung 2-1 dargestellten Diagramms ausgewählt werden.

Zur Fördererauslegung werden dem Anwender Diagramme mit verschiedenen Betriebszuständen zur Verfügung gestellt. Aus diesen lässt sich für unterschiedliche Füllungsgrade, je nach Baugröße und dem geförderten Volumenstrom, eine Schneckendrehzahl und die dazugehörige Axialgeschwindigkeit v_{ax} ermitteln. Die Axialgeschwindigkeit wird im Verlauf der Baugrößendimensionierung zur Berechnung der Gutwinkelgeschwindigkeit ω_G benötigt. Ein solches Diagramm ist beispielhaft für den Füllungsgrad von 40 % in Abbildung2-1 dargestellt.

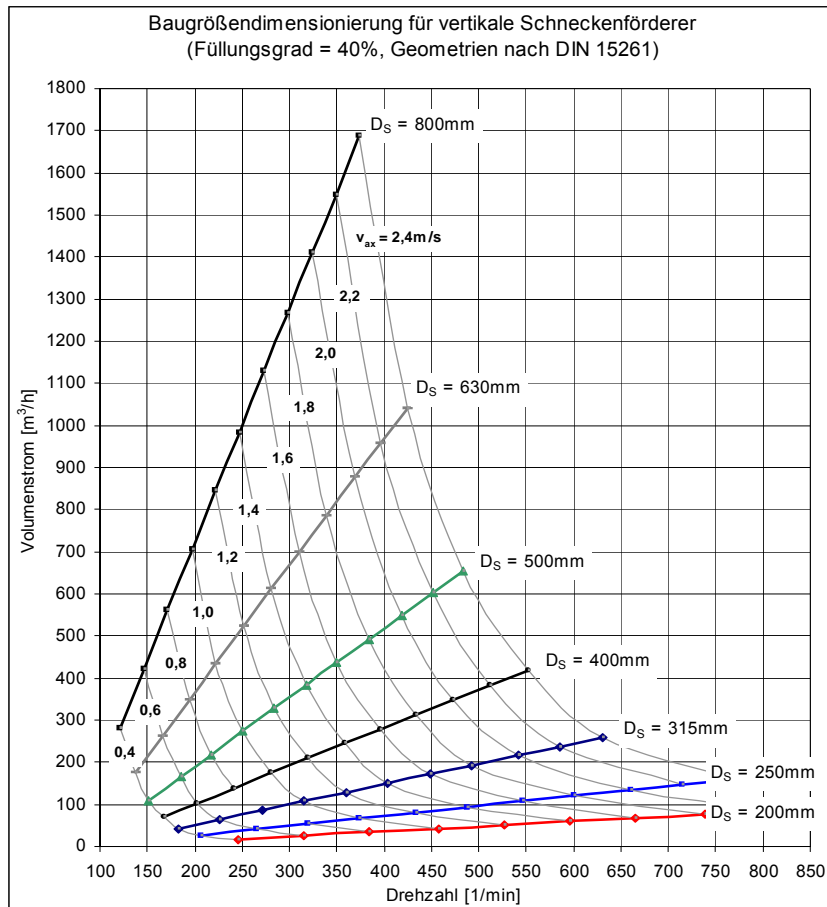


Abbildung 2-1: Baugrößendimensionierung in Abhängigkeit der Schneckendrehzahl n und der Gutaxialgeschwindigkeit v_G für Geometrien nach DIN 15261 für 40 % Füllungsgrad

Bei der Variation des Füllungsgrads und der Drehzahl ist weiterhin zu beachten, dass beide Parameter auf die spezifische Leistung des Schneckenförderers Einfluss nehmen. So können für den gleichen Volumenstrom unterschiedliche Förderer mit sehr verschiedenen spezifischen Leistungen gewählt werden.

2.1.2. Leistungsberechnung

Bei der Entwicklung eines Auslegungsverfahrens für vertikale Hochleistungs-Schneckenförderer stehen bei der Leistungsberechnung eine einfache Handhabung des Verfahrens, die ausreichende Genauigkeit der Berechnungsergebnisse für die Praxis im Vordergrund.

Wie Abbildung 2-2 zeigt, ist eine Auslegung anhand der analytisch ermittelten Leistungsanteile (Hubleistung, Rohrreibleistung und Wendelreibleistung) nicht möglich, da der gemessene Gesamtleistungsbedarf deutlich höher liegt. Grund hierfür sind Leistungsanteile wie z. B. Reibungsverluste im Inneren des Guts und im Spalt zwischen Wendel und Schneckenrohr. Diese wurden bislang nicht berücksichtigt. Sie werden in einer empirischen Leistungskenngröße, dem Förderfaktor, zusammengefasst.

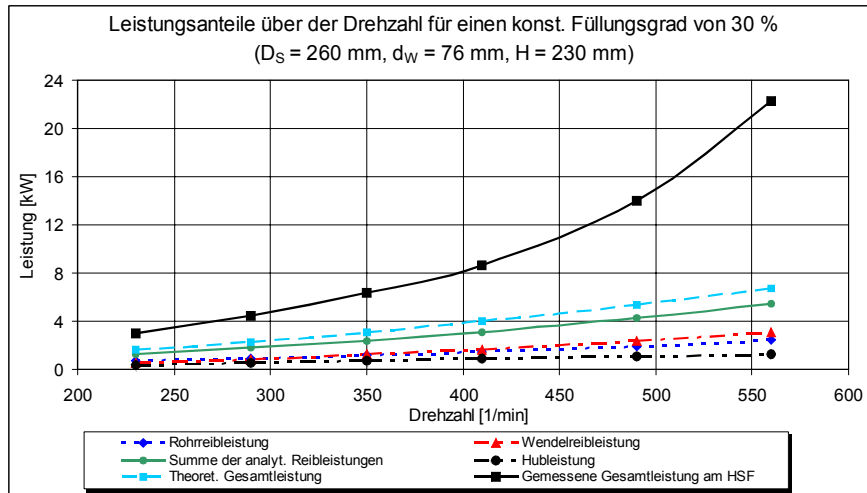


Abbildung 2-2: Verlauf unterschiedlicher Leistungsanteile über der Drehzahl für den Versuchsförderer (vertikale Förderung)

Da sowohl die Rohrreibung als auch die Wendelreibung einen großen Einfluss auf die Höhe der Gesamtreibleistung haben, werden beide Anteile in Form einer Gesamtreibleistung als Bezugsgröße für den Förderfaktor angesetzt.

Der Berechnungsansatz ergibt sich nach Gl. (2.2) aus den beiden analytisch zu berechnenden Leistungsanteilen Rohrreibung und Wendelreibung, einer empirischen Kenngröße (Förderfaktor λ_v) und der Hubleistung:

$$P_{Ges} = \lambda_v \cdot (P_{Rohr,Reib} + P_{Wendel,Reib}) + P_{Hub} \quad (2.2)$$

$$P_{Rohr,Reib} = \frac{I_m}{(\omega_S - \omega_G) \cdot H} \cdot \pi \cdot h \cdot r_{SP} \cdot \omega_G^3 \cdot \mu_R \cdot D_S \cdot \frac{1}{\cos \psi} \quad (2.3)$$

$$P_{Wendel,Reib} = \mu_S \cdot \frac{I_m}{V_{ax}} \cdot h \cdot (g \cdot \cos \alpha_{SP} + r_{SP} \cdot \omega_G^2 \cdot \mu_R \cdot \sin(\alpha_{SP} + \psi)) \cdot \frac{r_{SP} \cdot (\omega_S - \omega_G)}{\cos \alpha_{SP}} \quad (2.4)$$

Betrachtet man die Ansätze der Rohrreibung und Wendelreibung in Gleichung (2.3) und (2.4), so ist sofort erkennbar, dass diese einen beträchtlichen Berechnungsaufwand zur Folge haben und nur mit Computerunterstützung in einer angemessenen Zeit bewältigt werden können. Daher ist es notwendig, den Ansatz aus Gleichung (2.2) für den Anwender zu vereinfachen. Daraus folgt der Ansatz nach Gleichung (2.5).

Wie die experimentellen Untersuchungen gezeigt haben, besteht eine Abhängigkeit des Förderfaktors λ_v vom Schüttgut und der Gutwinkelgeschwindigkeit ω .

$$P = \lambda_{S,v} \cdot \lambda_\omega \cdot I_m \cdot h \cdot (\varepsilon_R \cdot \varphi_R \cdot P_{Rohr,Reib,spez} + \varepsilon_S \cdot \varphi_S \cdot P_{Wendel,Reib,spez}) + P_{Hub} \quad (2.5)$$

Der Förderfaktor λ_v wird daher in einen konstanten Schüttgutbeiwert und in den veränderlichen Rotationsbeiwert λ_ω aufgeteilt. Der konstante Schüttgutbeiwert $\lambda_{S,v}$ muss experimentell bestimmt werden. Der Rotationsbeiwert wird mit Hilfe der Formel

$$\lambda_\omega = 0.0484 \cdot \omega_a^2 - 1.1669 \cdot \omega_a + 8.0284 \quad (2.6)$$

bestimmt.

Die dafür nötige Gutwinkelgeschwindigkeit λ_{ω} berechnet sich aus:

$$\omega_G = \omega_S - \omega_{rel} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_S}{60} - \frac{2 \cdot \pi \cdot v_{ax}}{H} = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{n_S}{60} - \frac{v_{ax}}{H} \right) \quad (2.7)$$

Die dazu nötige Axialgeschwindigkeit v_{ax} lässt sich aus der Baugrößendimensionierung (siehe Abb.2-1) entnehmen.

Rohrreibung und Wendelreibung werden jeweils in einen Reibbeiwert, einen Füllungsbeiwert und eine spezifische Reibleistung zerlegt. Alle diese experimentell ermittelten Werte können grafisch bestimmt werden.

In Abbildung 2-3 und Abbildung 2-4 sind beispielsweise die spezifische Rohrreibung über der Drehzahl bzw. der Rohr- und Wendelreibungsfaktor über dem Reibwert zwischen Gut und Wendel aufgetragen.

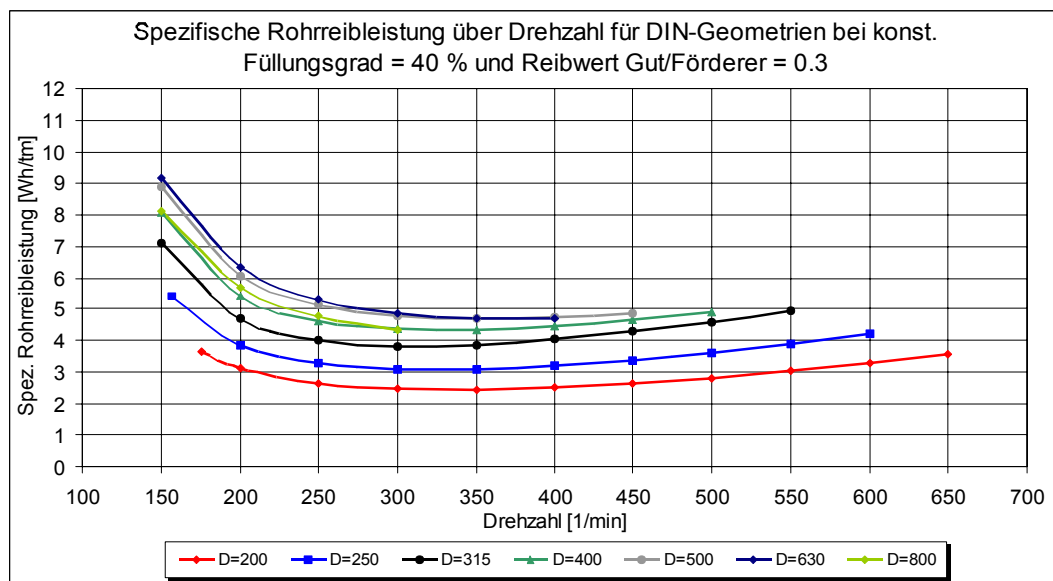


Abbildung 2-3: Verlauf der spezifischen Rohrreibung über der Drehzahl bei 40 % Füllungsgrad, Reibwerten zwischen Fördergut und Förderer von 0,3 und Fördergeometrien nach DIN 15261 (vertikale Förderung)

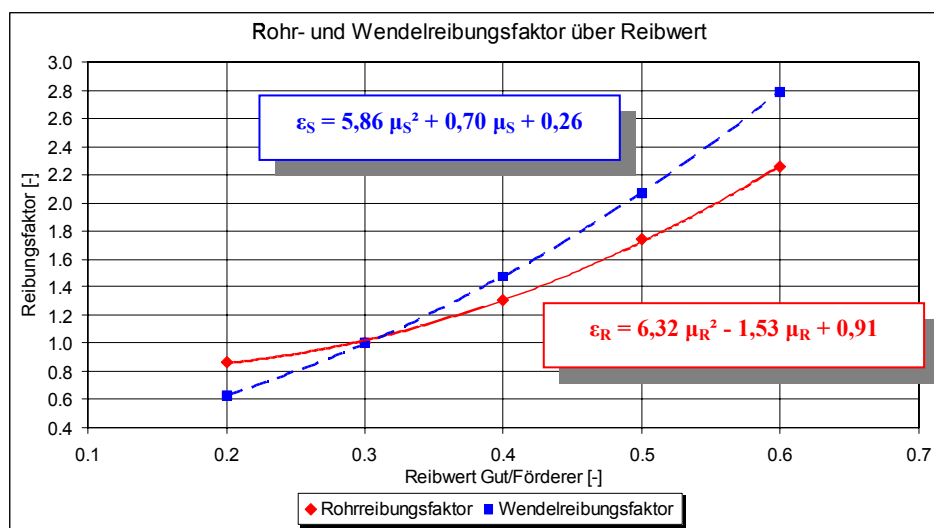


Abbildung 2-4: Verlauf des Rohr- und Wendelreibungsfaktors über dem Reibwert zwischen Fördergut und Innenrohr bzw. Schneckenwendel ($\mu_R = \mu_S$)

2.2. Verifikation mit Hilfe von Leistungsmessungen

2.2.1. Voraussetzungen

Da ein Vergleich zwischen dem Vertikalförderer der Versuchsanlage des Lehrstuhls fml einerseits und dem vertikalen Schneckenförderer einer externen Anlage andererseits vorgenommen werden soll, müssen im Vorfeld bestimmte Voraussetzungen gegeben und geklärt sein.

Grundbedingung für einen Vergleich zweier Anlagen ist, dass das geförderte Schüttgut übereinstimmt, sodass die gleichen Schüttgutbeiwerte angesetzt werden können. Das heißt, dass für eine Leistungsmessung nur eine Anlage herangezogen werden kann, die mit einem der Schüttgüter betrieben wird, die bereits in den Versuchsreihen am Lehrstuhl fml untersucht wurden.

Da der Massenstrom einen wichtigen Parameter bei der Leistungsbestimmung eines Schneckenförderers darstellt, muss dieser bei einer Messung bestimmt werden. Daher ist es sinnvoll, für eine Vergleichsmessung eine Anlage auszuwählen, die über ein Massenstrommesssystem, meist eine Bandwaage, verfügt.

2.2.2. Messungen an der Referenzanlage 1

Als erster Referenzförderer diente der vertikale Schneckenförderer eines Schiffsentladers zur Entladung von Steinkohle für ein Kohlekraftwerk.

Das zu fördernde Schüttgut wird dabei mit Hilfe eines speziellen Zuführorgans aus dem Schiff in den vertikalen Schneckenförderer transportiert. Dieser fördert das Material zu einem leicht geneigten Schneckenförderer, woraufhin es weiter bis zu einer vertikalen Rinne, in der das Material durch Schwerkraft auf einen Gurtförderer zum weiteren Transport ins Kohlekraftwerk fällt, transportiert wird.

Für die Verifikation des Berechnungs- und Auslegungsverfahrens wird ausschließlich der vertikale Schneckenförderer betrachtet. Die technischen Daten des vertikalen Schneckenförderers sind in Tabelle 2-1 dargestellt.

Tabelle 2-1: Technische Daten der Referenzanlage 1

	Wert	Einheit
Schneckendurchmesser	490	mm
Schneckenganghöhe	380	mm
Förderhöhe	13,25	m
Anzahl der Zwischenlager	2	-
Nennmassenstrom	300	t / h
Nennantriebsleistung	90	kW
Drehzahl	185	1 / min

Auf Basis der technischen Daten des Referenzförderers 1 und den ermittelten schüttguttechnischen Kennwerten wird das neu entwickelte Berechnungsverfahren mit der Leistungskurve der Referenzanlage 1 verglichen. Der Vergleich der beiden Kurven ist in Abbildung 2-5 dargestellt.

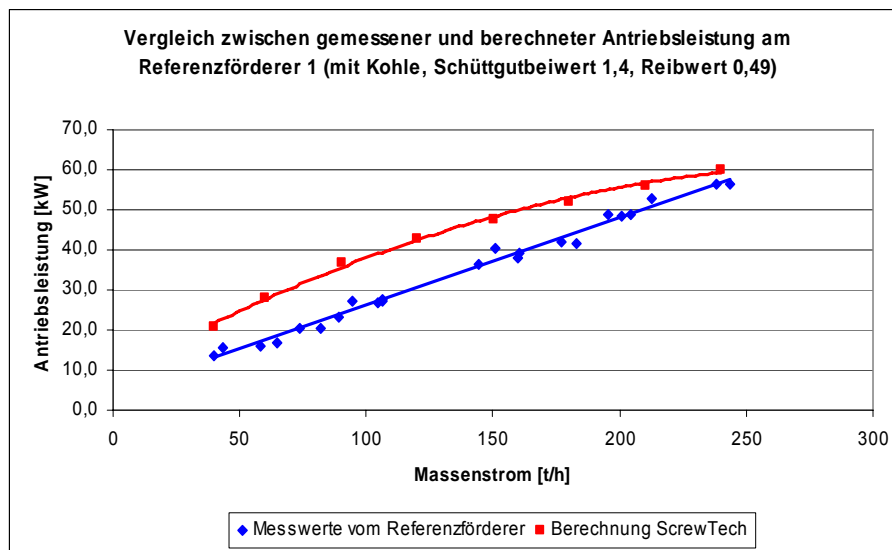


Abbildung 2-5: Vergleich zwischen gemessener und berechneter Antriebsleistung am Referenzförderer 1

Beim Vergleich der beiden Kurven aus der Leistungsmessung und der Berechnung der Antriebsleistung mit dem entwickelten Berechnungsverfahren lässt sich erkennen, dass die Kurve der Berechnung leicht über der Kurve der Messwerte der Leistungsmessung liegt. Zudem weist die Kurve der Berechnung eine leicht konvexe Form auf. Diese ergibt sich durch den unterschiedlichen Einfluss der Rohrreibung und der Wendelreibung zur Gesamtleistung. Mit zunehmendem Massenstrom und damit zunehmendem Füllungsgrad erhöht sich der Einfluss der Wendelreibung relativ zur Rohrreibung. Dieses Verhalten spiegelt sich in den Messwerten nicht wider.

Der Schneckenförderer der Referenzanlage 1 wird im Regelbetrieb mit einem Massenstrom von 200 bis 250 t/h betrieben. In diesem Betriebsbereich beträgt die Abweichung zwischen Messung und Berechnung der Antriebsleistung ca. 4% bis ca. 10%.

2.2.3. Messungen an der Referenzanlage 2

Auch als zweiter Referenzförderer diente der vertikale Schneckenförderer eines Schiffsentladers zur Entladung von Steinkohle für ein Kohlekraftwerk. Der Aufbau der Referenzanlage 2 gleicht sehr dem der Referenzanlage 1. Auch hier wird das zu fördernde Schüttgut mit Hilfe eines speziellen Zuführorgans aus dem Schiff in den vertikalen Schneckenförderer transportiert. Dieser fördert das Material zu einem leicht geneigten Schneckenförderer, woraufhin es weiter bis zu einer vertikalen Rinne, in der das Material durch Schwerkraft auf einen Gurtförderer zum weiteren Transport ins Kohlekraftwerk fällt, transportiert wird.

Sehr deutlich unterscheidet sich die Referenzanlage 2 von der Referenzanlage 1 durch ihre Größe und damit Leistungsfähigkeit. Während Referenzanlage 1 auf einen Massenstrom von 250 t/h ausgelegt ist, beträgt der Nennmassenstrom von Referenzanlage 2 1200 t/h.

Die technischen Daten des Schneckenförderers der Referenzanlage 2 sind in Tabelle 2-2 dargestellt.

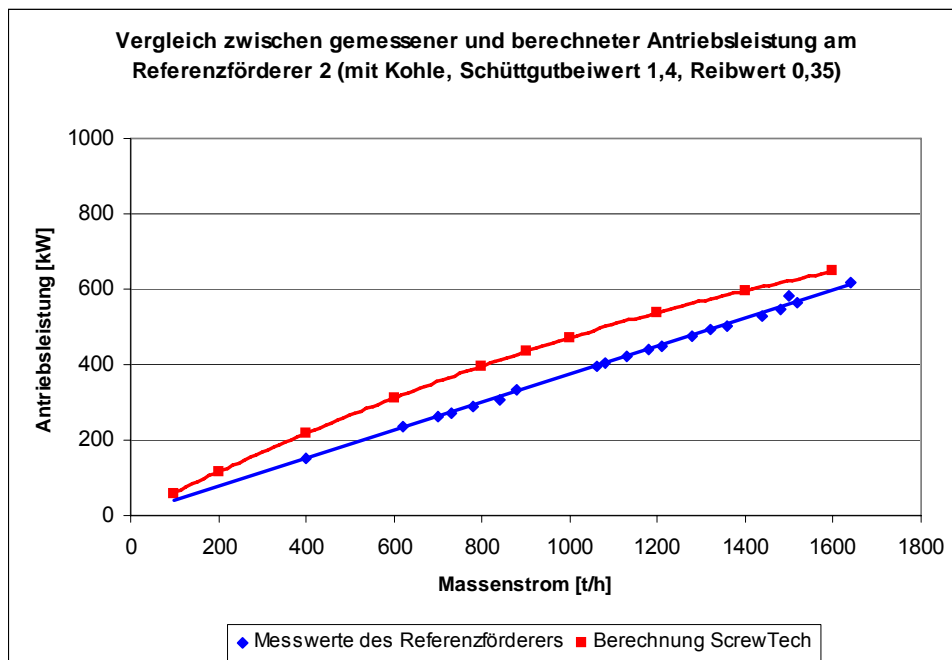
Tabelle 2-2: Technische Daten des vertikalen Schneckenförderers der Referenzanlage 2

	Wert	Einheit
Schneckendurchmesser	790	mm
Wellendurchmesser	270	mm
Schneckenganghöhe	675	mm
Förderhöhe	23,75	m
Anzahl der Zwischenlager	4	-
Nennmassenstrom	1200	t / h
Nennantriebsleistung	2 x 355	kW
Drehzahl	331	1 /min

Auf Basis der technischen Daten des Referenzförderers 2 und den ermittelten schüttguttechnischen Kennwerten wird das neu entwickelte Berechnungsverfahren mit der Leistungskurve der Referenzanlage 2 verglichen. Der Vergleich der beiden Kurven ist in Abbildung 2-6 dargestellt.

Beim Vergleich der beiden Kurven aus der Leistungsmessung und der Berechnung der Antriebsleistung mit dem entwickelten Berechnungsverfahren lässt sich erkennen, dass die Kurve der Berechnung leicht über der Kurve der Messwerte der Leistungsmessung liegt. Wie in Abbildung 2-5 lässt sich auch hier eine leicht konvexe Form der Kurve aus der Berechnung erkennen.

Der Schneckenförderer der Referenzanlage 2 wird im Regelbetrieb mit einem Massenstrom von ca. 1100 bis ca. 1400 t/h betrieben. In diesem Betriebsbereich beträgt die Abweichung zwischen Messung und Berechnung der Antriebsleistung ca. 10 % bis ca. 15 %.

**Abbildung 2-6: Vergleich zwischen gemessener und berechneter Antriebsleistung am Referenzförderer 2**

2.2.4. Zusammenfassende Bewertung

Bei beiden Messungen lässt sich erkennen, dass die Kurven der Berechnung leicht über den Kurven der Messwerte der Leistungsmessung liegen.

Zudem weisen die Kurven der Berechnung eine leicht konvexe Form auf. Diese ergibt sich durch den unterschiedlichen Einfluss der Rohrreibleistung und der Wendelreibleistung zur Gesamtleistung. Mit zunehmendem Massenstrom und damit zunehmendem Füllungsgrad erhöht sich der Einfluss der Wendelreibleistung relativ zur Rohrreibleistung. Dieses Verhalten spiegelt sich in den Messwerten zwar nicht wider, dennoch wird der Leistungsanstieg über dem Massenstrom gut abgebildet.

Die Abweichung zwischen Leistungsberechnung und Leistungsmessung beträgt in den relevanten Betriebsbereichen der jeweiligen Förderanlagen zwischen 4 % und 15 %.

Für die Anwendung des Berechnungsverfahrens für eine Auslegung ergibt sich somit eine gute Übereinstimmung zwischen Berechnung und Messung.

Mit den Referenzanlagen mit Schneckendurchmessern von 490 mm und 790 mm, und der Versuchsanlage des Lehrstuhls fml, mit einem Schneckendurchmesser von 260 mm, wurden drei Förderanlagen mit sehr unterschiedlichen Förderergrößen und somit auch Nennmassenströmen untersucht. Da das Berechnungsverfahren anhand der Versuchsanlage entwickelt wurde und die Berechnungsergebnisse beider Referenzanlagen gut mit den Messergebnissen übereinstimmen, kann auch von einer Übertragbarkeit des Berechnungsverfahrens auf anderer Förderergrößen ausgegangen werden.

3. Horizontale bis leicht geneigte Hochleistungs-Schneckenförderer

3.1. Auslegung horizontaler / leicht geneigter Hochleistungs-Schneckenförderer

3.1.1. Baugrößendimensionierung

Ebenso wie in der DIN15262 [DIN15262] leitet sich der Massenstrom aus folgendem Zusammenhang her: Die Förderquerschnittsfläche A ergibt sich aus dem Füllungsgrad φ und dem Schneckendurchmesser D_S zu:

$$A = \varphi \cdot A_{th} = \varphi \cdot \pi \cdot \frac{D_S^2}{4} \quad (3.1)$$

Mit der Axialgeschwindigkeit des Schüttgutes v_{ax} , welche sich aus der Schneckendrehzahl n_S und der Ganghöhe H ergibt

$$v_{ax} = n_S \cdot H \quad (3.2)$$

und der Schüttdichte ρ berechnet sich der Massenstrom I_M zu:

$$I_m = \rho \cdot I_v = \rho \cdot A \cdot v_{ax} = \rho \cdot \varphi \cdot \pi \cdot \frac{D_S^2}{4} \cdot n_S \cdot H \quad (3.3)$$

Zur Berechnung des Volumen- bzw. Massenstroms wird daher von einer rein axialen Gutbewegung ausgegangen. Rotatorische Geschwindigkeitskomponenten bleiben hier unberücksichtigt.

3.1.2. Leistungsberechnung

Die Antriebsleistung errechnet sich für den Bereich der horizontalen bis leicht geneigten Hochleistungs-Schneckenförderer ebenso wie in der *DIN 15262* [DIN15262] aus einem Reibanteil und einem Anteil für Hubarbeit (bei leicht geneigter Förderung).

$$P_{Ges,0^\circ-20^\circ} = P_{Reib,gesamt} + P_{Hub} \quad (3.4)$$

$$P_{Ges,0^\circ-20^\circ} = I_m \cdot g \cdot (\lambda_h \cdot l + h) \quad (3.5)$$

Damit gleicht der Ansatz des Auslegungsverfahrens sehr dem der DIN 15262, was eine Anwendung in der Praxis vereinfacht. Der wichtige Unterschied liegt jedoch im Verschiebewiderstandsbeiwert.

In der DIN 15262 wird der Verschiebewiderstandsbeiwert als Gutkonstante aufgeführt. Die experimentellen Untersuchungen in dieser Arbeit haben jedoch gezeigt, dass für den Bereich der Hochleistungs-Schneckenförderer der Verschiebewiderstandsbeiwert von verschiedenen Faktoren unterschiedlich beeinflusst und verändert wird, weshalb der Verschiebewiderstandsbeiwert λ_h bei Hochleistungs-Schneckenförderern keinesfalls als Konstante angesehen werden kann.

Hier ergibt sich der Verschiebewiderstandsbeiwert λ_h zu:

$$\lambda_h = \lambda_{S,h} \cdot \lambda_\beta \cdot \lambda_n \quad (3.6)$$

Um die verschiedenen Einflüsse auf den Verschiebewiderstandsbeiwert λ_h in geeignetem Maß übersichtlich darstellen zu können, wird dieser in verschiedene Komponenten unterteilt. Der Verschiebewiderstandsbeiwert λ_h setzt sich zusammen aus dem horizontalen Schüttgutbeiwert $\lambda_{S,h}$, dem Neigungsbeiwert λ_β sowie dem Geschwindigkeitsbeiwert λ_n .

Der horizontale Schüttgutbeiwert $\lambda_{S,h}$ muss experimentell ermittelt werden.

Aus den Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen wird ein linearer Einfluss der Förderneigung auf den Verschiebewiderstandsbeiwert abgeleitet. Der Neigungsbeiwert ergibt sich aus Gleichung (3.7):

$$\lambda_\beta = 0,045 \cdot \beta + 1 \quad (3.7)$$

Bei den experimentellen Untersuchungen dieser Arbeit konnte darüber hinaus eine Abhängigkeit des spezifischen Leistungsbedarfs P_{spez} und des Verschiebewiderstandsbeiwerts λ_h von der Drehzahl festgestellt werden. Um den Einfluss der Drehzahl in der Leistungsberechnung zu berücksichtigen, wird der sogenannte Geschwindigkeitsbeiwert λ_n eingeführt.

Dieser resultiert aus dem Verlauf des Verschiebewiderstandsbeiwerts λ_h über der Drehzahl n . Der Verlauf ist beispielhaft für verschiedene Neigungen des Schneckenförderers in Abbildung 3-1 für einen Füllungsgrad von 40 % dargestellt.

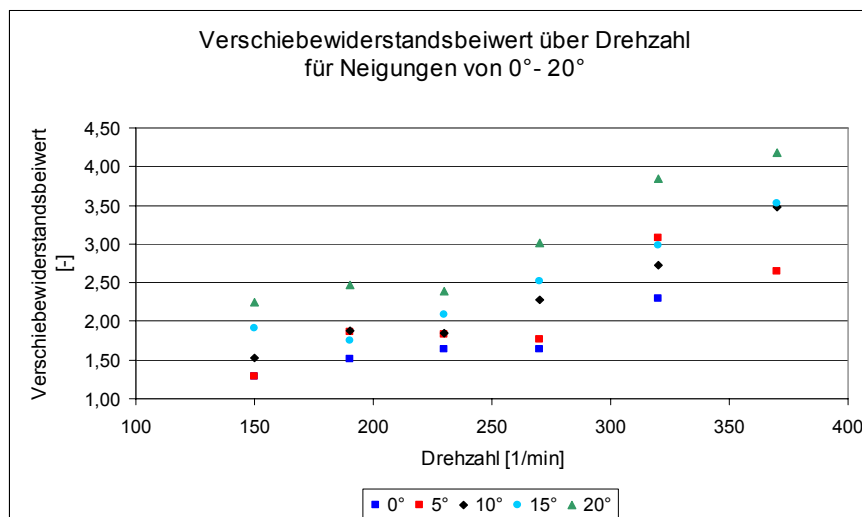


Abbildung 3-1: Verlauf des Verschiebewiderstandsbeiwerts λ_h über der Drehzahl (ohne Zwischenlager, Fördergut: Weizen, Fördererbaugröße 200 mm)

Zur Bestimmung des Geschwindigkeitsbeiwerts λ_n wird der gemittelte Verlauf des Verschiebewiderstandsbeiwerts λ_h für verschiedene Schüttgüter bei jeweils unterschiedlichen Fördererbaugrößen über der Drehzahl n aufgetragen. Daraus ergibt sich die folgende Näherungslösung zur Berechnung des Geschwindigkeitsbeiwerts λ_n (mit n in 1/min)

$$\lambda_n = 3,2 \cdot 10^{-5} \cdot n^2 - 9,7 \cdot 10^{-3} \cdot n + 1,73 \quad (3.8)$$

3.2. Anwendung der Diskreten Elemente Methode

Die durchgeführten experimentellen Untersuchungen stellen die Basis für die entwickelten Auslegungsverfahren dar. Da diese Versuche insgesamt sehr zeitintensiv sind, liegt es nahe, den Versuchsaufwand in der Zukunft möglichst gering zu halten. Dies gelingt jedoch nur, wenn ein Teil der Versuchsergebnisse auf einem anderen Weg zur Verfügung gestellt werden können. Ein geeignetes Mittel kann hierzu die Simulation sein.

Es wird daher untersucht, wie und in welchem Maße sich die experimentellen Ergebnisse durch eine Simulation der Bewegungsabläufe im Schneckenförderer abbilden lassen und ob ein teilweiser Ersatz der experimentellen Untersuchungen durch die Simulation möglich erscheint.

Die dazu eingesetzte Diskrete Elemente Methode (DEM) basiert auf dem Ansatz, dass für alle diskreten Partikel in einem Mehrkörpersystem die Newtonschen Bewegungsgleichungen für alle Freiheitsgrade gelöst werden. Für die Anwendung in der Schüttgutförderertechnik ist sie somit bestens geeignet und wird hier zur Nachbildung der Bewegungszustände verwendet.

In Abbildung 3-2 ist der Verlauf des Verschiebewiderstandsbeiwertes über der Drehzahl für eine rein horizontale Fördersimulation mit einem Füllungsgrad von ca. 30 % dargestellt. Es ist ein deutlicher polinomischer Anstieg des Verschiebewiderstandsbeiwertes über der Drehzahl zu erkennen. Dieses Verhalten konnte bei den experimentellen Untersuchungen ebenfalls festgestellt werden.

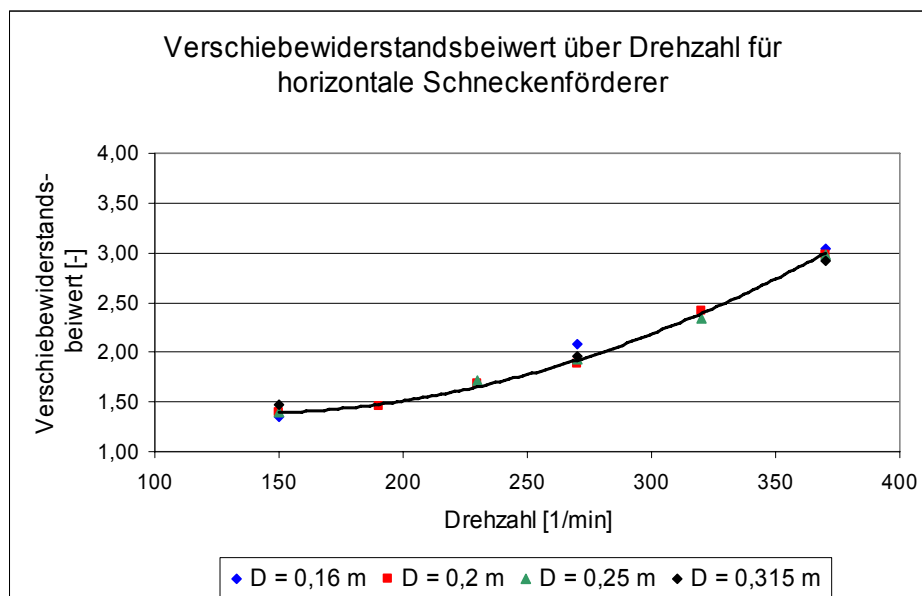


Abbildung 3-2: Verlauf des Verschiebewiderstandsbeiwertes über der Drehzahl für konstanten Füllungsgrad von 30 %

Vergleicht man die Abbildungen aus den experimentellen Untersuchungen mit jenen der Simulation, so kann in jeweils für die Förderung bei einem Füllungsgrad von ca. $\varphi = 30\%$ und einer Drehzahl von $n_s = 150$ 1/min der Verschiebewiderstandsbeiwert mit $\lambda = 1,4$ abgelesen werden. Dieser Wert wurde auch in den experimentellen Untersuchungen als Schüttgutbeiwert von Weizen gemessen.

Weiterhin lässt sich aus Abbildung 3-2 erkennen, dass für die Schneckenförderer der Baugrößen 160 mm, 200 mm, 250 mm und 315 mm die gleichen Werte für den Verschiebewiderstandsbeiwert, abhängig von der jeweiligen Drehzahl, berechnet werden (die Baugrößen beziehen sich auf die in der Norm DIN 15261 genormten Baugrößen).

In Abbildung 3-3 ist der Geschwindigkeitsbeiwert über der Drehzahl für die Fördersimulation bei Füllungsgrad 30 % dargestellt. Im Vergleich zu den mit der DEM berechneten Werten ist der Verlauf des Geschwindigkeitsbeiwertes des Auslegungsverfahrens aufgetragen. Für die Drehzahlen kleiner 250 1/min ergibt sich eine gute Übereinstimmung für Drehzahlen größer 250 1/min lässt sich eine zunehmende Abweichung der beiden Kurven erkennen. Dies lässt auf eine noch nicht abgeschlossene Kalibrierung des Schüttgutes schließen.

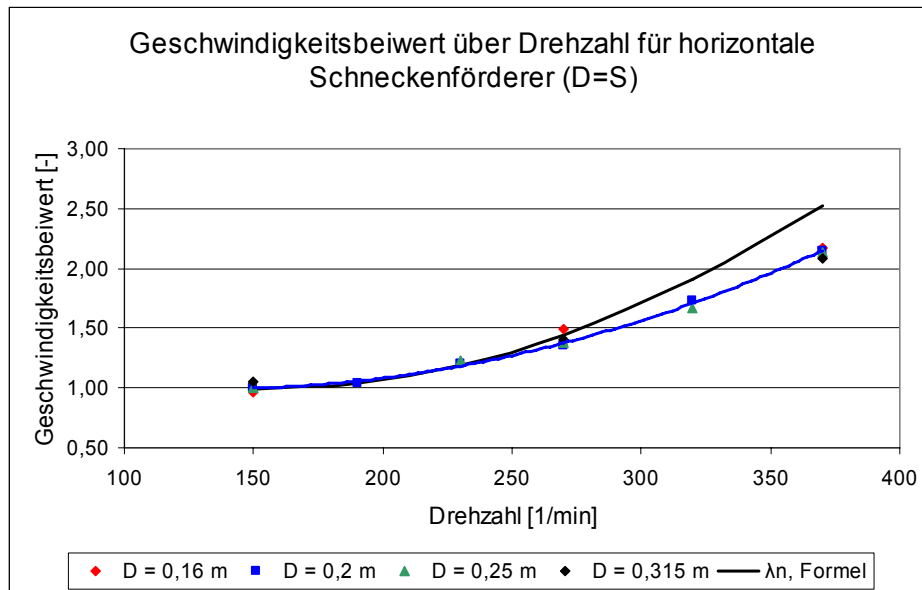


Abbildung 3-3: Verlauf des Geschwindigkeitsbeiwertes λn über der Drehzahl

Somit sind die Ergebnisse aus der Simulation lediglich als qualitativ anzusehen, welche die prinzipielle Anwendbarkeit der Diskreten Elemente Methode für Schneckenförderer bestätigen. Für eine quantitative Bestätigung bedarf es einer genaueren Kalibrierung der Schüttgutteilchen für die Simulation.

4. Zusammenfassung

Die vorgestellten Auslegungsverfahren für vertikale und horizontale bis leicht geneigte Hochleistungs-Schneckenförderer sollen eine anwendbare und praxistaugliche Möglichkeit sein, solche Fördergeräte für den täglichen Einsatz im Massengutumschlag auszulegen.

Die Verifikation des Auslegungsverfahrens für vertikale Schneckenförderer durch Leistungsmessungen an zwei Referenzanlagen hat gezeigt, dass sich die im industriellen Einsatz befindlichen Anlagen mit guten Ergebnissen durch das Berechnungsverfahren nachrechnen lassen.

Da die experimentellen Untersuchungen zur Entwicklung der Auslegungsverfahren sehr zeitintensiv sind, wurde geprüft, ob sich ein Teil der Versuchsergebnisse durch Simulation erzeugen lassen. Daher wurde versucht, verschiedene Betriebszustände mit Hilfe der Simulation mit der Diskreten Elemente Methode (DEM) nachzubilden. Es konnten sehr gute qualitative Ergebnisse erzielt werden. Durch eine genauere Kalibrierung des Simulationsschüttgutes ist es noch möglich, auch quantitative Ergebnisse zu erhalten.

Durch die Anlehnung an das Auslegungsverfahren der DIN 15262 erscheinen die beiden neuen Auslegungsverfahren auch in der Praxis gut anwendbar.

Literatur

- [Fot02] Fottner, J.: Auslegung und wirtschaftlicher Einsatz von Hochleistungs-Schneckenförderern. Dissertation TU München, 2002.
- [Grei94] Greinwald, K.: Untersuchung der Förderung leicht fließender Schüttgüter im senkrechten Schneckenförderer unter Berücksichtigung der Zwischenlager. Dissertation, TU München, 1994.
- [Groe03] Gröger, T.: Grundlagen der Diskreten Elemente Methode (DEM) in der Schüttgutfördertechnik. Begleitband Fachtagung Schüttgutfördertechnik 2003, Magdeburg, 2003.
- [Guen02] Günthner, W.A.; Fottner, J.; Rong, O.: Empirische Entwicklung von Kenngrößen zur Auslegung von Hochleistungs-Schneckenförderern.

- [Guen06] Forschungsbericht 2002, Herbert Utz Verlag GmbH, München, 2002.
Günthner, W.A.; Blomeyer, N.; Rong, O.: Entwicklung von praxistauglichen Auslegungsverfahren für Schüttgut-Hochleistungs-Schneckenförderer. Forschungsbericht 2006, Lehrstuhl fml, München, 2006.
- [Kat05] Katterfeld, A.; Gröger, T.: Kalibrierung von DEM-Simulationsmodellen für die Schüttgutfördertechnik. Begleitband Fachtagung Schüttgutfördertechnik 2005, Magdeburg 2005.
- [Krau04] Krause, F.; Katterfeld, A.: Funktionsanalyse eines Rohrkettenförderers mit Hilfe der Diskreten Elemente Methode. Begleitband Fachtagung Schüttgutfördertechnik 2004, Magdeburg, 2004.
- [Lin96] Linke, H.: Stirnradverzahnung, Berechnung Werkstoffe Fertigung. München, Carl Hanser Verlag, 1996.
- [Ro04] Rong, O.: Auslegungsverfahren für Hochleistungs-Schneckenförderer. Dissertation TU München, 2004.
- [SEW02] SEW-Eurodrive. Preiskatalog Getriebemotoren Ausgabe 06/2002. Bruchsal, 2002