

Berechnungsverfahren für stark geneigte Schneckenförderer

Stefan Rakitsch, Willibald A. Günthner, Paul Schmidt

Die Dimensionierung und Auslegung von Schneckenförderern zur stark geneigten Förderung von Schüttgut beruht heute noch oft auf Erfahrungswerten der Anlagenhersteller. Deshalb bearbeitete der Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik ein von der DFG gefördertes Projekt mit dem Ziel ein sicheres und einfach anwendbares Dimensionierungs- und Auslegungsverfahren für stark geneigte Schüttgut-Schneckenförderer unter Berücksichtigung von Konstruktions-, Betriebs- und Schüttgutparametern zu entwickeln.

Die Vorteile, wie der einfache und robuste Aufbau, die niedrigen Anlagen- und Wartungskosten, die geringe Störanfälligkeit und im Besonderen die staubdichte Ausführung, führen häufig zum Einsatz von Schneckenförderern für den stetigen Schüttguttransport. Schneckenförderer sind für den Transport staubförmiger, körniger und leicht feuchter Schüttgüter geeignet. Der Einsatz von Schneckenförderern beim Massengutumschlag ist in der Aufmacher-Abbildung dargestellt. Die Anforderungen hinsichtlich Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit aber auch bezüglich der Energieeffizienz und des Umweltschutzes für Schneckenförderer sind in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Es ist deshalb wichtig Schneckenförderer auf die geforderte Förderaufgabe hin passend zu dimensionieren und auszulegen, um eine Überdimensionierung oder Ausfälle zu vermeiden. Entscheidend hierbei sind der erreichbare Volumenstrom bzw. die Geometrie- und Betriebsparameter, um einen geforderten Volumenstrom zu erreichen, und die dazu nötige Antriebsleistung. Diese Zielgrößen müssen für den Nutzer einfach und praxisnah aber dennoch sicher und zuverlässig bestimmbar sein. Da es bis heute keine Berechnungsverfahren hierzu gibt, war das Ziel des Projekts die Ermittlung von Berechnungsverfahren für stark geneigte Schneckenförderer.



1 Stand der Forschung

Am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik wurden in den letzten Jahren bereits zahlreiche Arbeiten durchgeführt, die sich der Beschreibung von Schneckenförderern und der Entwicklung von Dimensionierungs- und Auslegungsvorschriften widmeten. Gerade die letzten Arbeiten [1, 2] hatten die Schaffung von praxistauglichen Verfahren, die für den Anwender leicht zu beherrschen sind, zum Ziel. Sowohl für die horizontalen bis leicht geneigten als auch für die vertikalen Schneckenförderer entstanden so Verfahren, die stark an die *DIN 15262* [3] angelehnt sind. Im Unterschied zum genormten Berechnungsverfahren wurden die komplexen Einflussparameter entweder grafisch oder durch mehrdimensionale Kennzahlen dargestellt.

Ebenfalls wurden bereits Untersuchungen an stark geneigten Schneckenförderern durchgeführt. Dabei wurden immer feinere Berechnungsalgorithmen und Programme entwickelt, mit denen es möglich ist die Förderung von stark geneigten Schneckenförderern zu berechnen [4]. Grundlage ist die analytische Betrachtung der Spannungsverhältnisse im Inneren des Schüttguts und an den Berührungspunkten mit dem Schneckenförderer. Das Schüttgut im Schneckenförderer wird dazu in Segmente unterteilt, für die einzeln die Bewegungsgleichungen gelöst werden. Aus der Aufsummierung der einzelnen Geschwindigkeiten und Reibkräfte kann schließlich der Volumenstrom berechnet werden. Obwohl diese Betrachtungen die Förderung in geneigten Schneckenförderern gut beschreiben, genügen sie nicht dem Ansatz eines einfachen und praxistauglichen Berechnungsverfahrens. Der Grund liegt in der nötigen Komplexität des analytischen Modells, das nicht durch einen geschlossen lösbaren Gleichungssatz beschrieben werden kann.

Weiteres Ergebnis dieses Projekts war, dass nicht alle Betriebsbereiche eines Schneckenförderers analytisch beschrieben werden können. In Abhängigkeit von Schneckendrehzahl und Schneckenneigung liegen im Schneckenförderer verschiedene Bewegungszustände des Schüttguts vor. Prinzipiell beruht der Guttransport im Schneckenförderer darauf, dass das Schüttgut, welches durch Schwerkraft und/oder Zentripetalkraft ans Rohr gedrückt wird, durch die Schneckenwendel vorwärts geschoben wird. Liegt das Schüttgut nur durch die Schwerkraft auf dem Rohr, spricht man von einer translatorischen Förderung, das Schüttgut wird ohne nennenswerte Umwälzung translatorisch vorwärts bewegt, wohingegen man beim Anpressen des Schüttguts infolge einer Zentripetalkraft von einer rotatorischen Bewegung – ein Großteil der Bewegungsenergie wird in Rotation umgesetzt – spricht. Eine analytische Beschreibung ist nur möglich, wenn eine dieser beiden Förderarten allein vorliegt. Beim stark geneigten Schneckenförderer können solche analytisch nicht beschreibbaren Mischzustände vorliegen, erlauben aber dennoch eine Förderung [4].

2 Entwickelte Berechnungsmodelle

Im Rahmen dieser Untersuchung wird deshalb ein semi-empirisches Verfahren angewendet, um den erzielbaren Volumenstrom und die erforderliche Antriebsleistung im geneigten Schneckenförderer bestimmen zu können. Grundlage für ein semi-empirisches Verfahren ist ein analytischer Grundansatz, der um empirische Kenngrößen, die die analytisch nicht erfassbaren Einflüsse in Abhängigkeit bekannter Parameter abbilden, erweitert wird [5]. Damit ist es möglich die Berechnungsverfahren so zu gestalten, dass sie an das Vorgehen bekannter Normen und Richtlinien, wie der *DIN 15262* [3] oder der *VDI 2330* [6], erinnern und eine hohe Akzeptanz unter potentiellen Anwendern erwarten lassen. Der Aufbau der Berechnungsformeln wird im Folgenden dargelegt.

2.1 Erzielbarer Volumenstrom

Der erzielbare Volumenstrom I_V berechnet sich als Produkt aus der axialen Geschwindigkeit v_{ax} und der durchflossenen Querschnittsfläche A . Diese wird als Kreisring durch den Schnecken-durchmesser D und den Wellendurchmesser d beschrieben. Da der Schneckenförderer nicht komplett gefüllt ist, reduziert sich diese Fläche gemäß dem Füllungsgrad φ . Die axiale Gutgeschwindigkeit v_{ax} spiegelt die Überlagerung der translatorischen durch die rotatorische Förderung wider. Während beim Ansatz der *DIN 15262* [3] ein Vorschub von einer Schneckenganghöhe pro Umdrehung angesetzt wird, muss dieser Vorschub beim Ansatz für den stark geneigten Schneckenförderer reduziert werden, da ein Teil der Bewegung in die rotatorische Komponente umgesetzt wird. Die axiale Geschwindigkeit ist damit immer kleiner als der Vorschub bei einer ansonsten gleichen horizontalen Förderung [4] und wird daher als Anteil der axialen Geschwindigkeit beim horizontalen Förderer gesehen. Der erzielbare Volumenstrom I_V lässt sich damit wie folgt berechnen:

$$I_V = A \cdot v_{ax} = \varphi \cdot \frac{1}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot \pi \cdot S \cdot n \cdot \zeta \quad (1)$$

Dabei ist ζ ein Geschwindigkeitsbeiwert, der im Intervall $0 \leq \zeta \leq 1$ liegt. Die gesetzten Grenzen des Beiwerts sind anschaulich zu erklären: Einerseits findet für $\zeta = 0$ keine Förderung statt. Dieser Fall kann auch für Schneckendrehzahlen größer $n = 0$ 1/s auftreten, wenn die Mindestdrehzahl unterschritten wird. Andererseits wird für $\zeta = 1$ die maximale Gutaxialgeschwindigkeit der horizontalen Förderung erreicht. Der Geschwindigkeitsbeiwert ζ ist ein dimensionsloser spezifischer Kennwert, der als Ergebnis der empirischen Untersuchungen die Abhängigkeit des erzielbaren Volumenstroms von den Einflussparametern darstellt.

2.2 Erforderliche Antriebsleistung

Zur Berechnung der erforderlichen Antriebsleistung werden, wieder dem semi-empirischen Ansatz folgend, die analytisch bestimmbare Hubleistung und die nur empirisch erfassbaren Reibleistungen aufsummiert. Damit entspricht auch das Vorgehen zur Leistungsberechnung der bekannten Berechnungsvorschrift der *DIN 15262* [3]. Die Reibungsverluste werden durch Multiplikation der geförderten Masse mit einem fiktiven Reibungsbeiwert berechnet. Während beim Vorgehen nach *DIN 15262* dazu der konstante Verschiebewiderstandsbeiwert λ_{DIN} verwendet wird, findet beim erarbeiteten Verfahren der Leistungsbeiwert λ als mehrdimensionale Kenngröße Verwendung und erfasst alle Verlustleistungsanteile durch Reibung. Die Hubleistung errechnet sich aus dem Hubwiderstand zur Überwindung der Förderhöhe H und hat ebenfalls die geförderte Masse als Bezug. Diese kann durch den geförderten Volumenstrom I_V , die Schüttdichte ρ , die Förderlänge L und die Fallbeschleunigung angegeben werden. Damit ergibt sich die erforderlichen Antriebsleistung P zu:

$$P = I_V \cdot \rho \cdot g \cdot \left(\lambda \cdot \frac{D}{S} \cdot L + H \right) \quad (2)$$

Der Leistungsbeiwert λ ist ein dimensionsloser Kennwert und abhängig von den maßgeblichen Geometrie-, Betriebs- und Schüttgutparametern. Er folgt als Ergebnis der empirischen Datenerhebung, die im Folgenden beschrieben ist.

3 Datenerhebung

Zur Erhebung der für die Bestimmung der empirischen Beiwerte nötigen Daten wurden verschiedene Methoden angewandt: Die Auswertung von analytischen Berechnungsverfahren aus früheren Forschungsarbeiten, experimentelle Versuche mit einer Großversuchsanlage für Schneckenförderer sowie Simulationen nach der Diskreten Elemente Methode (DEM). Durch diesen Einsatz verschiedener Methoden zur Datengewinnung war es möglich Datensätze für alle (Rand-)Bereiche des Anwendungsbereichs zu gewinnen.

Die experimentellen Versuche wurden mit der Großversuchsanlage am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik durchgeführt. Diese gleicht sowohl in ihren geometrischen Abmessungen als auch in ihren technischen Daten mehr einer industriellen Förderanlage als einer modellhaften Versuchsanlage. Zur Durchführung der experimentellen Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojekts wurde der Betriebsbereich der Neigungsvorrichtung von maximal 20° auf maximal 60° erweitert und ein neuer Schneckenförderer, der zur stark geneigten Förderung geeignet ist, integriert. Neben dieser fördertechnischen Umgestaltung wurden auch messtechnische Komponenten ergänzt bzw. hinsichtlich Ihrer Funktionalität wesentlich erweitert. Damit können die Einflussfaktoren Schneckendrehzahl, Füllungsgrad und Neigung direkt eingestellt oder kontinuierlich überwacht werden. Die erforderliche Antriebsleistung sowie der erzielte Massenstrom lassen sich direkt messen. Aus den aufgezeichneten Daten können schließlich die zur Erstellung der Berechnungsverfahren nötigen Kenngrößen berechnet werden.

Des Weiteren wurden Daten durch Simulationen nach der Diskreten Elemente Methode (DEM) gewonnen. Die Simulationen wurden mit einem PET-Granulat als Schüttgut durchgeführt, wie es auch an der Großversuchsanlage verwendet wird, da es in den Eigenschaften bekannt ist und Vergleiche möglich sind. Vorbereitend wurden die simulierten Partikel, die aufgrund der zu erwartenden Rechenzeit größer sind als die originalen Partikel, kalibriert, um trotz der größeren Partikel korrekte Ergebnisse zu erhalten. Simuliert wird die Förderung im Schneckenförderer bei verschiedenen Neigungen, Drehzahlen, Füllungsgraden und Schneckendurchmessern. Als Zielgrößen werden die durchschnittliche axiale Gutgeschwindigkeit und das an der Schneckenwelle gemessene Drehmoment ausgewertet. Damit können die zur Erstellung der Berechnungsverfahren nötigen Kenngrößen ermittelt werden.

Als dritte Möglichkeit der Datengewinnung wurde auf das analytische Berechnungsmodell des Vorgängerprojekts [4], wie oben beschrieben, zurückgegriffen, da hiermit gute Ergebnisse für die Bestimmung des Volumenstroms für geneigte Schneckenförderer erzielt werden können, auch wenn die Berechnung sehr aufwändig und nur numerisch möglich ist. Dennoch erscheint es sinnvoll bei Parameterstufen, für die Versuche nicht möglich oder Simulationen zu aufwendig sind, auf diese Berechnungsalgorithmen zurückzugreifen. Zusätzlich werden Parameterkombinationen berechnet, wie sie in den Simulationen und Versuchen verwendet werden, um eine Validierung des Verfahrens durchzuführen. Das Berechnungsverfahren liefert als Ergebnis die Gutwinkelgeschwindigkeit des Schüttguts im Schneckenförderer. Daraus kann der Geschwindigkeitsbeiwert berechnet werden.

4 Daten- und Regressionsanalyse

Die gewonnenen Daten der Beiwerte werden anschließend bezüglich der Einflüsse der untersuchten Parameter analysiert und somit für die Erstellung der Dimensionierungs- und Auslegungsverfahren aufbereitet. Dazu wird eine lokal gewichtete Regression verwendet, um die Einflüsse deskriptiv bewerten zu können. Bei dieser werden die Zusammenhänge zwischen Parametern und Zielgröße völlig flexibel und unabhängig von Restriktionen geschätzt. Es liefert daher sehr genaue Ergebnisse, die aber mit einer hohen Komplexität erkauft werden müssen: Durch die freie Gestaltung der Zusammenhänge ist es meist nicht möglich den gefundenen Zusammenhang in kompakten Formeln, wie sie in diesem Projekt gewünscht sind, darzustellen. Dennoch erlaubt die grafische Darstellung des modellierten Zusammenhangs einen Blick auf den zugrundeliegenden Effekt. Im Anschluss daran bilden diese Effekte die Basis für die Regressionsmodelle. Durch diese werden die Zielgrößen Geschwindigkeitsbeiwert ζ und Leistungsbeiwert λ in Abhängigkeit der untersuchten Einflussparameter in einem formelmäßigen Zusammenhang dargestellt. Neben einer adäquaten Anpassung des Modells an die vorhandenen Datensätze steht dabei die Einfachheit des Modells im Vordergrund. Abschließend wird die Güte der Formeln beurteilt, um zu überprüfen, ob die gefundenen Formeln das reale Verhalten mit ausreichender Genauigkeit abbilden.

4.1 Geschwindigkeitsbeiwert

Für den ermittelten Geschwindigkeitsbeiwert ζ^* konnten signifikante Einflüsse der Parameter Schneckendrehzahl n , Schneckendurchmesser D , Füllungsgrad φ und Schneckenneigung β beobachtet werden. Durch deskriptive Auswertung der lokal gewichteten Regressionen lassen sich die in Abbildung 1 dargestellten Zusammenhänge identifizieren.

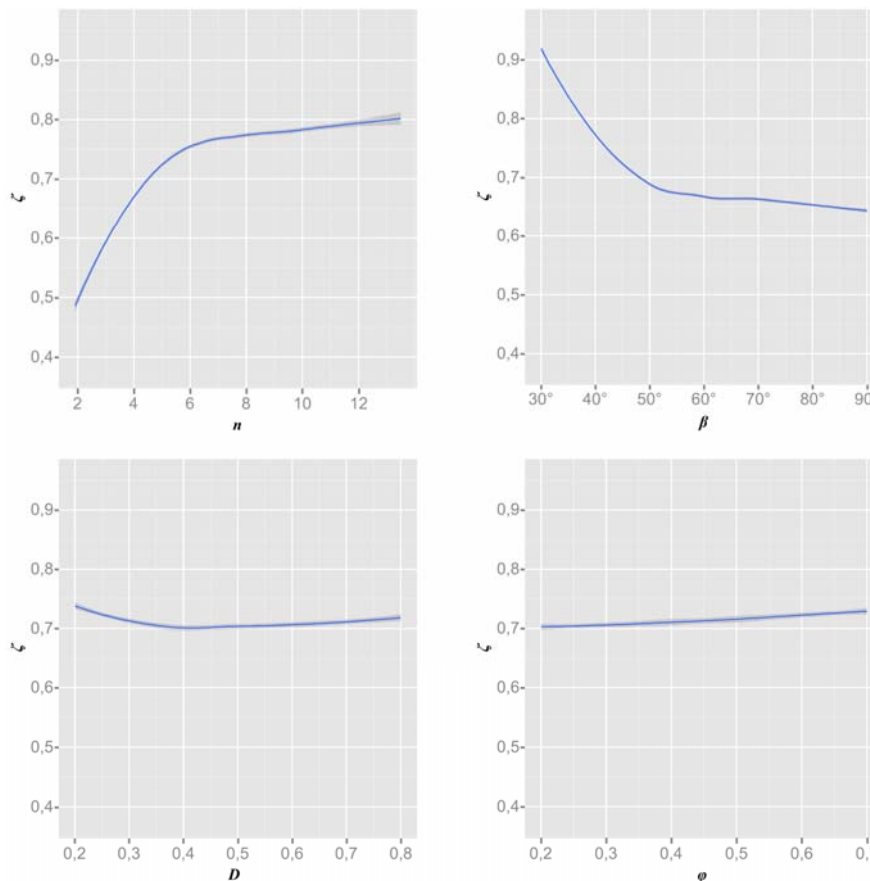


Abbildung 1: Ergebnisse der lokal gewichteten Regression für den Geschwindigkeitsbeiwert

Die erkennbaren Zusammenhänge bilden die Grundlage für ein erstes Regressionsmodell. Den stärksten Einfluss hat die Schneckendrehzahl n . Der Verlauf der Kurve entspricht einer Potenzfunktion. Der Einfluss der Schneckenneigung β lässt sich ebenfalls am besten durch eine Potenzfunktion abbilden. Für den Füllungsgrad lässt sich ein leichter linearer Einfluss, für den Schneckendurchmesser ein leicht nicht-linearer Einfluss erkennen, der sich aber ohne nennenswerten Genauigkeitsverlust ebenfalls als linearer Einfluss abbilden lässt. Es zeigte sich aber, dass sich der Einfluss der Schneckenneigung nicht nur auf den Geschwindigkeitsbeiwert, sondern auch auf die Einflüsse der anderen Parameter auswirkt. Das Modell mit den beschriebenen Einflüssen wird daher so erweitert, dass die Koeffizienten der übrigen Parameter ebenfalls von der Schneckenneigung abhängen. Dies wurde bei der folgenden Bildung des Regressionsmodells berücksichtigt. Damit ergibt sich die in Gleichung (3) dargestellte Formel zur Berechnung des Geschwindigkeitsbeiwerts ζ :

$$\zeta = 0,782768 + 983,0707 \cdot \beta^{-2,532883} - 1,191981 \cdot n^{-0,799694} + 0,282653 \cdot D + 0,099595 \cdot \varphi + (472364,1 \cdot n^{-0,799694} - 112625,1 \cdot D + 40349,4 \cdot \varphi) \cdot \beta^{-3,87148} \quad (3)$$

Um abschließend die Güte des gefundenen Regressionsmodells beurteilen zu können, werden die durch das Regressionsmodell berechneten Werte für den Geschwindigkeitsbeiwert ζ mit den ermittelten Werten ζ^* verglichen und grafisch dargestellt. Je näher die Punkte in Abbildung 2 an der Winkelhalbierenden liegen, desto besser ist dabei das Modell. Es ist zu erkennen, dass keine größeren Ausreißer vorhanden sind und sich die Datenpunkte des geschätzten Geschwindigkeitsbeiwerts ζ gut an die Winkelhalbierende anschmiegen. Zahlenmäßig kann die Güte des Modells zudem mit Hilfe der Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers bewertet werden. Dieser beträgt für das vorliegende Modell $\sqrt{MQF} = 0,0125$. Dies entspricht auch bei den kleinsten ermittelten Geschwindigkeitsbeiwerten einer durchschnittlichen Abweichung von ca. drei Prozent und zeigt die ausreichende Genauigkeit des Modells. Ein Vergleich der ermittelten und geschätzten Werte des Geschwindigkeitsbeiwerts in einzelnen Kategorien der Parameter bestätigt zudem, dass das gefundene Berechnungsmodell in nahezu allen Bereichen eine ausreichende Genauigkeit besitzt. Einzig in Randbereichen kleiner Füllungsgrade und Schneckendurchmesser gibt es Abweichungen.

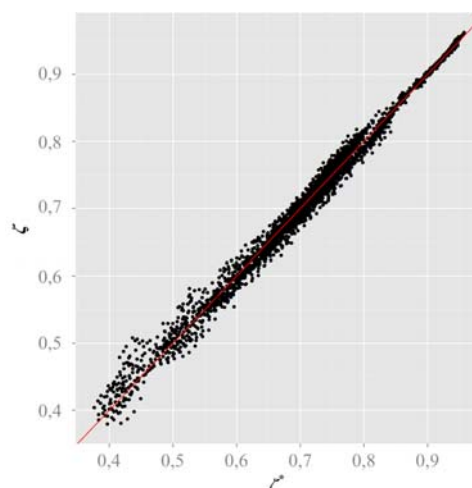


Abbildung 2: Modellgüte für den Geschwindigkeitsbeiwert

4.2 Leistungsbeiwert

Die Auswertung des Leistungsbeiwerts λ zeigte signifikante Einflüsse der Parameter Schneckendrehzahl n , Füllungsgrad φ und Schneckenneigung β . Der Schneckendurchmesser D wird hier nicht betrachtet, da er keinen signifikanten Einfluss auf den Leistungsbeiwert λ hat. Zudem werden die Schüttgutparameter innere Reibung μ_i , Reibwerte gegen Schneckenwendel und Rohr μ_s sowie Schüttdichte ρ als Einflussgrößen des Schüttguts betrachtet. Es wird davon ausgegangen, dass der Reibwert gegen Schneckenwendel und Rohr gleich ist, Werkstoff ist Stahl. Um den Einfluss der Parameter deskriptiv beurteilen zu können, wird wieder eine lokal gewichtete Regression angewendet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt.

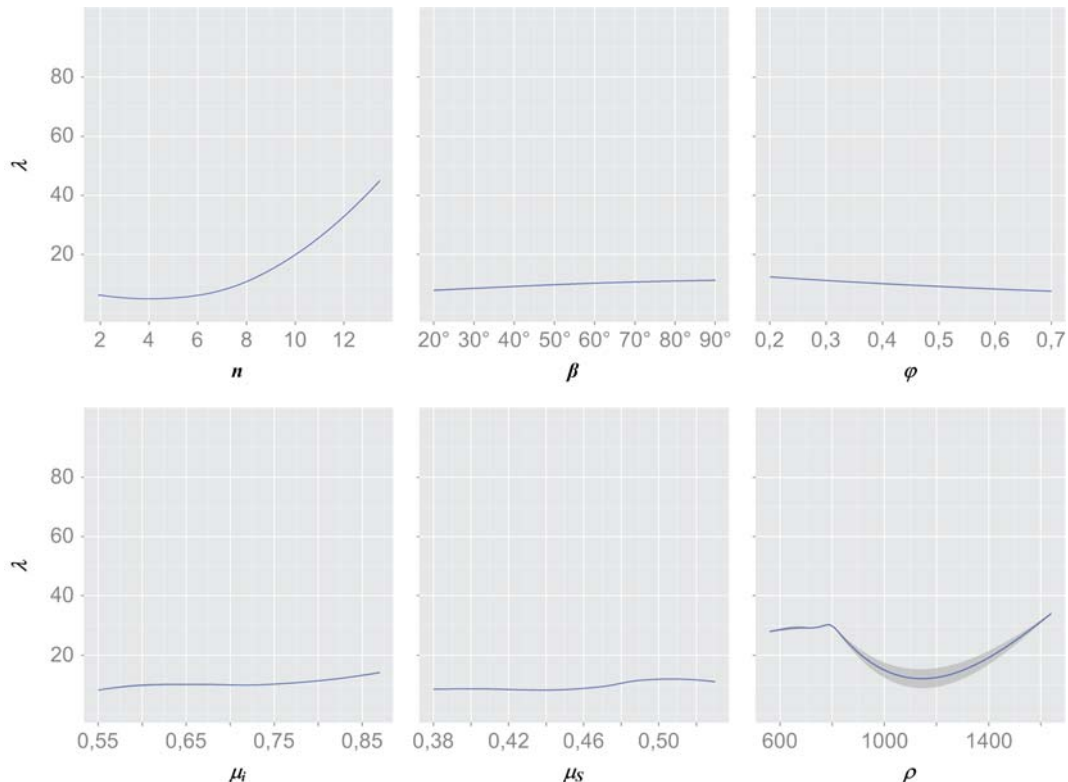


Abbildung 3: Ergebnisse der lokalen gewichteten Regression für den Leistungsbeiwert

Wie schon beim Geschwindigkeitsbeiwert hat auch hier die Schneckendrehzahl n großen Einfluss. Zu erkennen ist eine Potenzfunktion, die als Funktion zweiten Grades abgebildet wird. Für den Neigungswinkel β zeigt sich ein linearer positiver Zusammenhang, der sich leicht abschwächt. Der Einfluss des Füllungsgrades φ ist linear negativ einzustufen. Bei den Schüttgutparametern lassen sich die folgenden Zusammenhänge identifizieren, wobei anzumerken ist, dass nur immer bestimmte Kombinationen der drei Parameter möglich sind, die dann ein Schüttgut beschreiben. Daher ist eigentlich immer der Einfluss aller drei Parameter auf den Leistungsbeiwert λ gemeinsam zu bewerten. Dennoch werden im Folgenden die einzelnen Parameter betrachtet, da der Einfluss des Schüttguts vereinfacht durch diese Parameter beschrieben werden soll. Der Einfluss des inneren Reibwerts μ_i ist schwach positiv und wird als linear angesetzt. Ähnlich ist der Zusammenhang beim Reibwert gegen Schneckenwendel und Rohr μ_s . Auch hier kann von einem schwach positiven linearen Einfluss ausgegangen werden. Für die Schüttdichte ρ fällt zunächst das deutliche Minimum auf. Dieses entsteht aber nur aufgrund der dort fehlenden Werte, da nur ein ausgewerte-

tes Schüttgut eine Schüttdichte größer $\rho = 820 \text{ kg/m}^3$ aufweist. Hier konnte ebenfalls ohne Genauigkeitsverlust ein linearer Ansatz verfolgt werden, der gemäß dem Beginn der Kurve als schwach positiv angenommen wird. Die identifizierten Zusammenhänge bilden wieder die Grundlage für das Regressionsmodell des Leistungsbeiwerts. Beim Leistungsbeiwert zeigt sich, dass die Drehzahl n Einfluss auf die Parameter Schneckenneigung β und Füllungsgrad φ hat. Dies wurde bei der Bildung des Modells berücksichtigt. Es ergibt sich folgende Formel für den Leistungsbeiwert λ :

$$\begin{aligned} \lambda = & 9,52201 + 0,09319 \cdot \beta - 11,38242 \cdot \varphi + 1,91517 \cdot \mu_i + 0,00281 \cdot \rho + 1,10910 \cdot \mu_s \\ & + (-2,637751 - 0,049604 \cdot \beta + 3,338970 \cdot \varphi) \cdot n \\ & + (0,346506 + 0,004990 \cdot \beta - 0,383227 \cdot \varphi) \cdot n^2 \end{aligned} \quad (4)$$

Abschließend wird wiederum die Güte der gefundenen Berechnungsvorschrift für den Leistungsbedarf untersucht. In Abbildung 4 sind dazu wieder die berechneten Werte des Leistungsbeiwerts λ über den ermittelten Werten dargestellt. Es zeigen sich wenige Ausreißer im Bereich großer Werte des Leistungsbeiwerts. Da aber ca. 95 Prozent der untersuchten Punkte im Bereich bis $\lambda = 25$ liegen und dort die Punkte nah an der Winkelhalbierenden anliegen, kann insgesamt eine gute Übereinstimmung attestiert werden. Dies zeigt auch die Berechnung der Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers. Eine abschließende Beurteilung wie gut die Übereinstimmung der ermittelten Datenpunkte mit dem berechneten Modell in den verschiedenen Kategorien der Parameter ist, identifiziert keine großen Ausreißer. Eine ausreichende Genauigkeit des Berechnungsverfahrens ist damit gegeben.

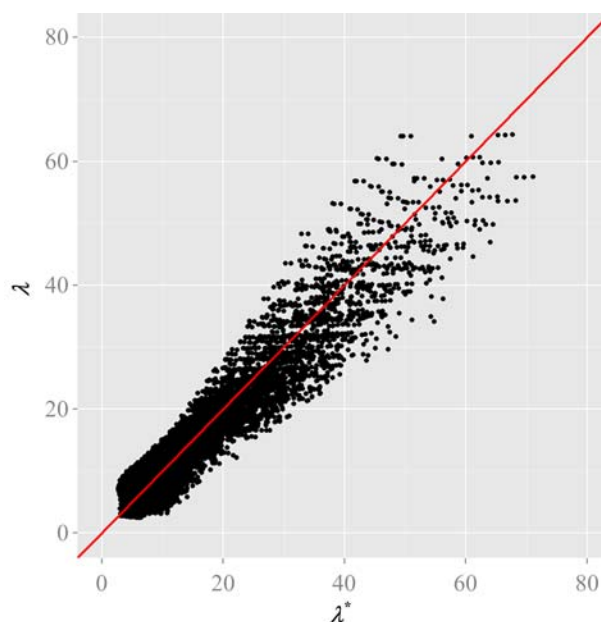


Abbildung 4: Modellgüte für den Leistungsbeiwert

Die gefundenen Regressionsmodelle erweisen sich als zur Berechnung des Geschwindigkeitsbeiwerts und Leistungsbeiwerts geeignet. Der erzielbare Volumenstrom wie auch die erforderliche Antriebsleistung von geeigneten Schneckenförderern können damit berechnet werden.

5 Zusammenfassung

Im durchgeführten Projekt wird die Förderung von Schüttgut in Schneckenförderern im Neigungsbereich zwischen 20° und 60° untersucht. Ziel ist die Entwicklung eines einfachen, praxistauglichen und sicheren Verfahrens zur Berechnung des erzielbaren Volumenstroms und der erforderlichen Antriebsleistung. Wie auch für andere Betriebsbereiche von Schneckenförderern (horizontal bis leicht geneigt und vertikal), wird bei der Bestimmung der Berechnungsvorschriften ein semiempirisches Verfahren angewendet, um die komplexen Vorgänge im Inneren des Schneckenförderers, die analytisch nicht beschreibbar sind, abbilden zu können. Grundlage für ein solches Verfahren ist ein analytischer Grundansatz, der um empirische Kenngrößen erweitert wird. Als Grundansatz werden die aus der *DIN 15262* bekannten Formeln in leicht modifizierter Form verwendet. Um die empirischen Kenngrößen zuverlässig für den gesamten Anwendungsbereich bestimmen zu können, ist eine ausreichende Menge an Datensätzen nötig. Diese notwendigen Datensätze werden mit drei verschiedenen Möglichkeiten erzeugt: Experimentelle Untersuchungen an einer Großversuchsanlage, Simulationen nach der Diskreten Elemente Methode und Berechnung mit numerischen Verfahren, die in Vorgängerprojekten erarbeitet wurden. Durch diese Aufspaltung der Datengewinnung auf verschiedene Methoden ist es möglich alle Bereiche des Anwendungsbereichs mit Datensätzen zu belegen. Die gewonnenen Datensätze werden mit statistischen Methoden eingehend ausgewertet. In einem ersten Schritt wird dazu deskriptiv untersucht, welche Parameter Einfluss auf die bestimmten Kennwerte haben und welcher Art diese Einflüsse sind. Aufbauend darauf können in einem zweiten Schritt diese Erkenntnisse in die Regressionsmodelle für die empirischen Kenngrößen einfließen. Die berechneten Regressionsgleichungen werden anschließend auf ihre Güte hin untersucht, um sicherzustellen, dass die Ergebnisse die Anforderungen an die Genauigkeit erfüllen. Ergebnis sind einfache Formeln, die die Zusammenhänge der Einflussparameter auf die Kenngrößen beschreiben und damit eine zuverlässige Vorhersage ermöglichen. Zusammen mit den analytischen Grundansätzen können damit der mögliche Volumenstrom und die dazu nötige Antriebsleistung berechnet werden.

Formelzeichen

Formelzeichen	Einheit	Name
A	[m ²]	Querschnittsfläche
D	[m]	Schneckendurchmesser
H	[m]	Förderhöhe
I_V	[m ³ /s]	Volumenstrom
L	[m]	Förderlänge
P	[W]	(Förder-)Leistung
MQF	[-]	Mittlerer quadratischer Fehler
S	[m]	Schneckenganghöhe
d	[m]	Wellendurchmesser
g	[m/s ²]	Fallbeschleunigung
n	[1/s]	Schneckendrehzahl
v_{ax}	[m/s]	Gutaxialgeschwindigkeit
β	[°]	Schneckenneigung
ζ	[-]	Geschwindigkeitsbeiwert
ζ^*	[-]	Ermittelter Geschwindigkeitsbeiwert
λ	[-]	Leistungsbeiwert
λ^*	[-]	Ermittelter Leistungsbeiwert
λ_{DIN}	[-]	Verschiebewiderstandsbeiwert der DIN 15262
μ_S	[-]	Reibwert gegen Schneckenwendel und Rohr
μ_i	[-]	Innerer Reibwert des Schüttguts
ρ	[kg/m ³]	Schüttdichte
φ	[-]	Füllungsgrad

Literatur

- [1] Günthner, W. A.; Fottner, J.; Rong, O.: Empirische Entwicklung von Kenngrößen zur Auslegung von Hochleistungs-Schneckenförderern für Schüttgut. München: Herbert Utz Verlag, 2002.
- [2] Günthner, W. A.; Blomeyer, N.; Rong, O.: Entwicklung von praxistauglichen Auslegungsverfahren für Schüttgut-Hochleistungs-Schneckenförderer. Forschungsbericht zum IGF-Projekt 14149 N/1 der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Maschinenbau e.V.; Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München. Garching b. München, 2006.
- [3] DIN 15262:1983-01. Stetigförderer - Schneckenförderer für Schüttgut - Berechnungsgrundsätze. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth.
- [4] Vollmann, A.: Untersuchung der Schüttgutförderung in geneigten Schneckenförderern. Dissertation. München: Technische Universität München, 2000.
- [5] Fottner, J.: Auslegung und wirtschaftlicher Einsatz von Hochleistungs-Schneckenförderern. Dissertation. München: Technische Universität München, 2002.
- [6] VDI 2330:1993-02. Schneckenförderer. Verein deutscher Ingenieure e.V. Berlin: Beuth.