

EDV-gestützte Optimierung des Fördervorgangs in der senkrechten Förderschnecke

Dr.-Ing. M. Fehlauer/Dr. habil. K. Baganz
 Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

Verwendete Formelzeichen

D_w	m	Durchmesser der Schneckenwendel
$D_{w \min}$	m	Minstdurchmesser
d_w	m	Durchmesser der Schneckenwelle
H	m	Förderhöhe
K_d	—	Verhältnis d_w/D_w
K_F	—	Füllungsgrad
K_S	—	Steigungsverhältnis
P_{ges}	W, kW	Gesamtenergiebedarf
\dot{m}	t/h; kg/s	Massestrom
n_w	U/min	Drehzahl der Schneckenwendel
$n_{w(0,2...0,4 \gamma_{max})}$	U/min	Drehzahlbereich bei Gutsteigungswinkel $\gamma = 0,2 \dots 0,4 \gamma_{max}$
v_v	m/s	senkrechte Fördergeschwindigkeit
α	°	Steigungswinkel der Schneckenwendel
γ	°	Gutsteigungswinkel gegenüber dem Schneckenrohr
γ_{max}	°	maximaler Gutsteigungswinkel gegenüber dem Schneckenrohr
η_w	—	Wirkungsgrad der senkrechten Förderschnecke
μ_R	—	dynamischer Reibkoeffizient zwischen Gut und Schneckenrohr
μ_w	—	dynamischer Reib-

koeffizient zwischen Gut und Schneckenwendel
 Dichte des Fördergutes
 dynamischer Reibwinkel zwischen Gut und Schneckenwendel

1. Einleitung

Wie bereits in [1] gezeigt wurde, ist eine durchgängige mathematische Erfassung des Fördervorgangs sowie die Ermittlung des erforderlichen Energieaufwands für senkrechte Förderschnecken möglich.

Eine direkte Berechnung der senkrechten Förderschnecke ist aber nicht möglich, sondern sie muß, ausgehend von einem Gutsteigungswinkel γ , über die Gutumfangsgeschwindigkeit v_{HR} iterativ erfolgen. Ein hoher manueller Rechenaufwand wäre erforderlich, wenn, ausgehend von einem Förderproblem (Förderhöhe, Volumenstrom, Fördergut), der Fördervorgang annähernd optimiert werden sollte.

Aus dieser Problemstellung ergab sich die Notwendigkeit der Erarbeitung eines Rechenprogramms [2].

2. Optimierungskriterium und Wirkung der Einflußgrößen

Als Optimierungskriterium wird der energetische Wirkungsgrad benutzt, um den Fördervorgang mit minimalem Energiebedarf zu gestalten.

Bei der Optimierung sind Festlegungen sowohl zur Gestaltung der Konstruktionsparameter als auch zur Wahl von Betriebsparametern zu treffen. Zunächst wird auf die Beeinflussung des Wirkungsgrades durch einzelne Parameter eingegangen.

Ausgehend von Dezimalen des maximalen Gutsteigungswinkels erfolgt eine Berechnung der zugehörigen Wirkungsgrade.

In Abhängigkeit von der Drehzahl der Schneckenwendel n_w nähert sich der Gutsteigungswinkel asymptotisch dem Maximalwert [3]: $\gamma_{max} = (90^\circ - \alpha - \varrho_w)$.

Bei Variation jeweils eines Einflußparameters und Konstanz der übrigen Einflußparameter soll an einem Beispiel die Wirkung auf den Fördervorgang dargestellt werden. Als wesentliche Einflußparameter ergeben sich:

- Durchmesser der Schneckenwendel D_w
- Steigungsverhältnis K_S
- Verhältnis $K_d = d_w/D_w$
- Massestrom \dot{m}
- Reibwert zwischen Gut und Schneckenrohr μ_R
- Reibwert zwischen Gut und Schneckenwendel μ_w .

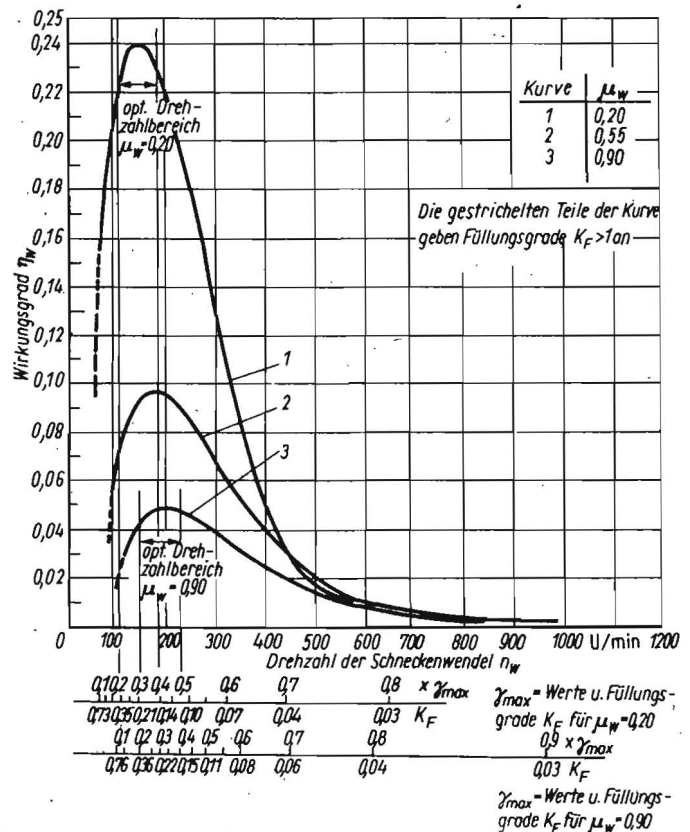
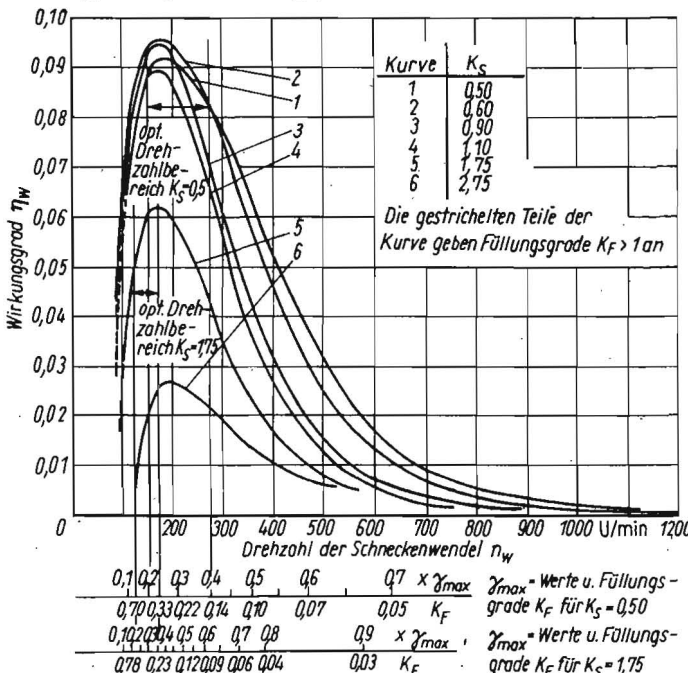
Aus der Betrachtung des Wirkungsgrades ergibt sich zunächst ein optimaler Drehzahlbereich, in dem das Maximum des Wirkungsgrades auftritt (Bilder 1 und 2).

Dieser Bereich kann über den maximalen Gutsteigungswinkel γ_{max} gekennzeichnet werden. Es gilt

$$n_{w \text{ opt}} = n_w(0,2 \dots 0,4 \gamma_{max})$$

Bild 2. Wirkungsgrad η_w als Funktion der Drehzahl n_w bei unterschiedlichem Reibwert μ_w ($\mu_R = 0,55$; $D_w = 600$ mm; $K_S = 0,75$; $K_d = 0,30$; $\varrho_G = 760$ kg/m³; $\dot{m} = 26,4$ kg/s)

Bild 1. Wirkungsgrad η_w als Funktion der Drehzahl n_w bei unterschiedlichem Steigungsverhältnis K_S ($\mu_R = \mu_w = 0,55$; $D_w = 600$ mm; $K_d = 0,3$; $\varrho_G = 760$ kg/m³; $\dot{m} = 26,4$ kg/s)



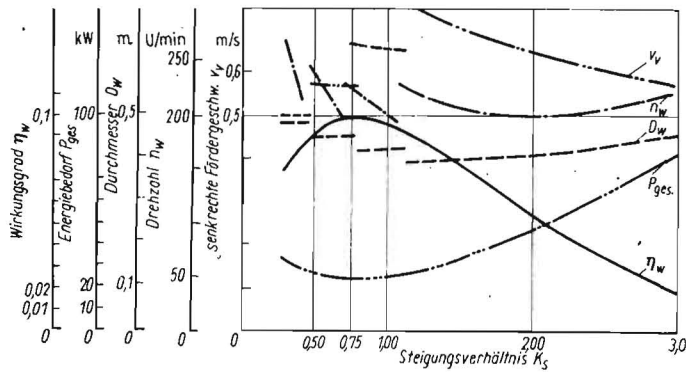


Bild 3
Optimalwerte als Funktion des Steigungsverhältnisses K_S
($\eta_R = \eta_W = 0,55$;
 $K_d = 0,3$; $\rho_G = 760 \text{ kg/m}^3$;
 $\dot{m} = 26,4 \text{ kg/s}$; $H = 10 \text{ m}$;
 $K_F = 0,45$)

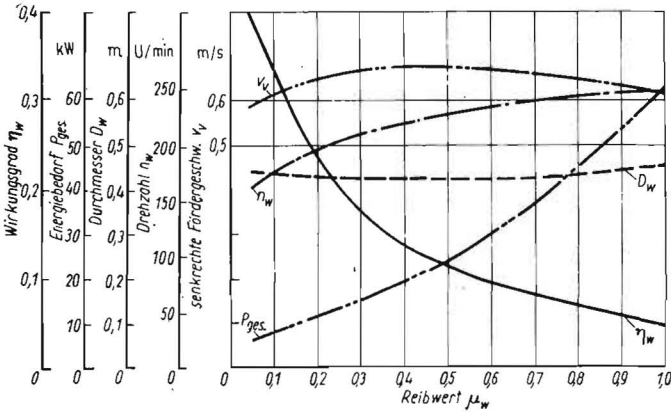


Bild 4
Optimalwerte als Funktion des Reibwerts μ_w
($\mu_R = 0,55$; $K_S = 0,75$;
 $K_d = 0,3$; $\rho_G = 760 \text{ kg/m}^3$;
 $\dot{m} = 26,4 \text{ kg/s}$; $H = 10 \text{ m}$;
 $K_F = 0,45$)

Als weitere Abhängigkeit ergibt sich, daß bei vorgegebenem Massestrom \dot{m} ein Mindestdurchmesser $D_{W \min}$ sowie eine Mindestdrehzahl $n_{W \min}$ erforderlich sind, um einen Füllungsgrad $K_F < 1$ zu realisieren.

Der Einfluß des Steigungsverhältnisses im Bereich $K_S = 0,5 \dots 1,0$ auf den Wirkungsgrad ist gering; in diesem Bereich befindet sich auch das Optimum bezüglich des Wirkungsgrades (Bild 1).

Veränderungen des Verhältnisses $K_d = d_w/D_W$ haben ebenfalls nur geringen Einfluß auf das Maximum des Wirkungsgrades. Eine Vergrößerung des Wellendurchmessers führt aber gleichzeitig zu einer Zunahme des Füllungsgrades. Um höhere Wirkungsgrade zu realisieren, sind große Reibwerte μ_R zwischen Gut und Schneckenrohr erforderlich. Von wesentlichem Einfluß auf den Wirkungsgrad ist die Höhe des Reibwerts zwischen Gut und Schneckenwandel μ_w . Durch Vermindern des Reibwerts μ_w ist eine beträchtliche Erhöhung des Wirkungsgrades erreichbar (Bild 2). Dieser Einfluß überwiegt alle übrigen Einflußparameter.

3. Rechneroptimierung einer senkrechten Förderschnecke

Für die iterative Berechnung optimaler Konstruktions- und Betriebsparameter einer senkrechten Förderschnecke und auch die Bestimmung der Leistungskennlinien, ausgehend von einem zu lösenden Förderproblem, kann somit vom optimalen Drehzahlbereich ausgegangen werden.

Hierzu liegt im Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim ein Rechenprogramm BESS [2] vor, das in FORTRAN für den Kleinrechner KRS 4200 geschrieben wurde. Die Optimierungsrechnung geht von dem Bereich des Gutsteigungswinkels γ aus, für den das Optimum nach dem Vorgesagten zu erwarten ist.

Zur eigentlichen Optimierung sind die Vorgaben der Gutparameter $\mu_R, \mu_w, \rho_G, \dot{m}$

Betriebsparameters \dot{m} sowie die Konstruktionsparameter K_S, K_d, H notwendig. Für den Füllungsgrad K_F ist ein Festwert auszuwählen. Der Durchmesser der Schneckenwendel D_W ist dem Rechner zunächst als Vorwahl vorzugeben. Die Berechnung des optimalen Werts von D_W erfolgt dann während des Iterationsvorgangs. Hierbei sucht der Rechner den Maximalwert des Wirkungsgrades bei größter Annäherung an den vorgegebenen Festwert für K_F aus. Die Wirkung der einzelnen Einflußparameter für den jeweiligen Punkt des maximalen Wirkungsgrades ermitteln.

Folgende Einflußparameter werden untersucht, wobei neben dem Wirkungsgrad η_w der erforderliche Gesamtenergiebedarf P_{ges} für den Fördervorgang innerhalb der senkrechten Förderschnecke, der Durchmesser der Schneckenwendel D_W , die Drehzahl der Schneckenwendel n_w sowie die dazugehörige senkrechte Fördergeschwindigkeit des Gutes v_v ausgewiesen werden:

- Steigungskoeffizient K_S
- Verhältnis $K_d = d_w/D_W$
- Massestrom \dot{m}
- Füllungsgrad K_F
- Reibwert zwischen Gut und Schneckenrohr μ_R
- Reibwert zwischen Gut und Schneckenwendel μ_w .

Ausgehend von dem gewählten Beispiel ist zu folgern, daß sich das Optimum des Wirkungsgrades bei einem Steigungsverhältnis $K_S = 0,75$ (Bild 3) befindet. Das Optimum ergibt sich unabhängig von den jeweils gewählten Kombinationen der Konstruktions-, Betriebs- und Gutparameter, was durch Variation der Einflußgrößen mit dem genannten Rechenprogramm bestätigt werden konnte. Das Verhältnis K_d beeinflusst den Wirkungsgrad η_w nur geringfügig, es sollte auf keinen Fall $K_d < 0,6$ gewählt werden.

Anzustreben wäre, das Verhältnis K_d möglichst klein zu wählen, da eine Zunahme von K_d

gleichzeitig zu einer Vergrößerung des Wendeldurchmessers D_W führt.

Der Massestrom \dot{m} hat keinen Einfluß auf den Wirkungsgrad.

Der Füllungsgrad sollte $K_F > 0,3$ gewählt werden, da zu geringe Füllungsgrade erheblich größere Durchmesser der Schneckenwendel erfordern. Nach Nilsson [4] erfordert die Realisierung von $K_F > 0,6$ spezielle Zuführeinrichtungen.

Die Wirkung des Reibwerts zwischen Gut und Schneckenrohr bei $\mu_R > 0,3$ ist nur noch gering. Eine Vergrößerung des Reibwerts μ_R führt zwar zu einer Verbesserung des Wirkungsgrades, hat aber gleichzeitig eine Verringerung der senkrechten Fördergeschwindigkeit v_v und somit eine Vergrößerung des Schneckenwendeldurchmessers D_W zur Folge, so daß Maßnahmen zur Vergrößerung des Reibwerts $\mu_R > 0,5 \dots 0,6$ nicht als zweckmäßig anzusehen sind. Es ist ein Mindestwert von μ_R erforderlich, um den Fördervorgang zu gewährleisten.

Von entscheidendem Einfluß auf den Wirkungsgrad ist der Reibwert zwischen Gut und Schneckenwendel μ_w . Verringerungen dieses Reibwerts führen zu beträchtlichen Verbesserungen des Wirkungsgrades. Der Einfluß auf den Durchmesser der Schneckenwendel D_W kann dabei vernachlässigt werden (Bild 4).

Die Unstetigkeiten für die Kurven von D_W, v_v, n_w im Bild 3 sind damit zu begründen, daß das Rechenprogramm nach dem maximalen Wirkungsgrad orientiert ist, und bei Abweichungen vom maximalen Wirkungsgrad während des Iterationsvorgangs ein Umspringen des Rechners auf eine neue D_W -Kurve erfolgt.

4. Zusammenfassung

Der Fördervorgang innerhalb der senkrechten Förderschnecke ist von einer Vielzahl von Konstruktions-, Betriebs- und Gutparametern abhängig. Die unter bestimmten Annahmen aufgestellte Berechnungsvorschrift [1] läßt eine iterative Optimierung des Fördervorgangs in der senkrechten Förderschnecke zu. Ausgehend von einem optimalen Drehzahlbereich, für den ein Definitionskriterium gefunden wurde, ist ein Rechenprogramm erarbeitet, das es ermöglicht, für ein zu lösendes Förderproblem eine senkrechte Förderschnecke annähernd zu optimieren.

Auf der Grundlage eines Beispiels werden die Wirkung der einzelnen Einflußparameter erläutert und entsprechende Grenzwerte bzw. Optimalwerte ermittelt, die bei der Konzipierung von senkrechten Förderschnecken von Bedeutung sind.

Literatur

- [1] Fehlauer, M.: Berechnungsvorschrift für Schneckenförderer zur Senkrechtförderung landwirtschaftlicher Schütt- und Halmgüter. agrartechnik 30 (1980) H. 1, S. 14—18.
- [2] Fehlauer, M.: Untersuchungen zur Senkrechtförderung landwirtschaftlicher Schütt- und Halmgüter mittels Schneckenförderer. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation 1979.
- [3] Baganz, K.: FORTRAN-PROGRAMM BESS, Programm-Bibliothek. FZM Schlieben/Bornim, 1978 (unveröffentlicht).
- [4] Nilsson, L.G.: On the Vertical Screw Conveyor for Non-cohesive Bulk Materials (Über den senkrechten Schneckenförderer für kohäsionsloses Schüttgut). Acta Polytechnica Scandinavica. Mechanical Engineering Series. Nr. 64 (1971).