

Untersuchungen am senkrechten Schneckenförderer

Institut für landwirtschaftliches Maschinenwesen, Kiel

Durch die sacklose Getreideernte beim Tankmähdenschuss einerseits und die notwendige Rationalisierung der Speicherarbeit andererseits kommt den Förderaggregaten, besonders den Stetigförderern heute auch in der Landwirtschaft erhöhte Bedeutung zu. Angeregt durch die in letzter Zeit starke Einführung von Schneckenförderern in der Landwirtschaft wurden Untersuchungen angestellt, um die Bewegungsvorgänge des Fördergutes im Schneckenförderer und dessen Funktionen kennenzulernen. Im Vordergrund der Betrachtungen stand die senkrechte und schräge Förderung. Untersucht wurde die Abhängigkeit der Förderleistung und des Leistungsanspruchs von der Gestaltung eines Schneckenförderers und dessen Betriebsbedingungen.

Beschreibung der Versuchsanlage

Für die Versuche wurde im Institut ein Prüfstand gebaut (Bild 1). In einem Vorratsbehälter lagerte etwa 1250 kg Getreide, das durch einen Schacht einem kleineren, im Boden versenkten Kasten zulief. In diesen Kasten wurde der Schneckenförderer gestellt. Er konnte von 90° bis 30° geneigt werden. Aus dem Förderer kommend wurde das Fördergut in einem Trichter aufgefangen und in daruntergeschobene fahrbare Kästen geleitet, dann auf einer Tachowaage gewogen und schließlich dem großen Vorratsbehälter durch den Schneckenförderer wieder zugeführt.

Tafel 1: Abmessungen der Schneckenförderer

Förderer	I	II	III	IV
Gesamte Länge L in mm	3400	3400	2550	2520
Förderlänge l_F in mm	2820	2820	2000	2000
Schneckenrohr Innendurchmesser D . . in mm	182	182	88	81
Schneckenwelle Durchmesser δ in mm	44	44	16	16
Schneckenfläche Durchmesser d in mm	148	148	72	72
Ganghöhe h in mm	167	239	78	78
Steigung außen α_a	19,3°	27,2°	18,5°	18,5°
Steigung innen α_i	50,5°	60,0°	57,2°	57,2°
<i>Motor</i>				
Leistung N in kW	1,5	1,5	1,5	1,5
Drehzahl in U/min	1415	1415	1415	1415

Die Förderleistungen der Förderer I und III (Tafel 1) in ihrer Originalausführung¹⁾ wurden in Abhängigkeit vom Neigungswinkel festgestellt, um für die späteren Versuche eine Vergleichsbasis zu haben. Die Messungen ergaben folgende Werte:

Förderer I	Neigungswinkel				
	30°	45°	60°	80°	90°
320 U/min; Einlauf- länge 260 mm; Weizen (13,5% H ₂ O)					
Förderleistung in t/h	23,1	18,4	13,25	8,3	9,1
Förderer III	Neigungswinkel				
	30°	45°	60°	80°	90°
1050—980 U/min; Einlauf- länge 340 mm; Weizen (13,5% H ₂ O)					
Förderleistung in t/h	10,3	9,01	7,85	6,2	5,55

Im Laufe der Untersuchung durchgeführte Veränderungen an den Schneckenförderern, aber auch die Veränderung des Reibungs-

¹⁾ Die für die Versuche notwendigen Schneckenförderer wurden freundlicherweise von der Firma Friedrich Segler, Quakenbrück, und der Chemikalien-Aktiengesellschaft, Frankfurt, als Generalimporteur der Mayrath-Schneckenförderer, zur Verfügung gestellt.

beiwertes durch das ständige Schleifen und Polieren des Getreides am Gerät und der langsam abnehmende Wassergehalt des Getreides bewirken, daß die Ergebnisse der unter sonst gleichen Bedingungen, aber zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführten Versuche nicht immer zu vergleichen sind.

Die experimentellen Untersuchungen wurden mit Weizen verschiedener Sorten und Feuchtigkeitsgehalte sowie Reinheitsgrade durchgeführt (Tafel 2).

Tafel 2: Kenndaten des für die Versuche benutzten Getreides

	Weizen I	Weizen II	Weizen III
Feuchte (in % H ₂ O)	13	16	22
Litergewicht in g	778	754	680
1000-Korn-Gewicht in g	43,6	45,8	53,4
Böschungswinkel	28°	31°	38°
Reibungswinkel mit Förderer III	18°	19°	22°
Reibungswinkel mit Förderer IV	21°	22°	25°

Korngröße und Reibungsbeiwert sind in erster Linie von der Feuchtigkeit des Schüttgutes abhängig, der Reibungsbeiwert auch von der Oberflächengüte des Förderermaterials.

Dem Versuchsplan lag die Frage zugrunde, inwieweit Abmessung und Gestaltung des Schneckeneinlaufes Einfluß auf den Füllungsgrad der Zellen und damit auf die Förderleistung und den Leistungsanspruch haben. Zum anderen sollte die Frage beantwortet werden, wie die Drehzahl und der Abstand der Schnecke vom Schneckenrohr Förderleistung und Leistungsanspruch des Förderers beeinflussen. Als Zelle ist hier der freie Raum zwischen Schneckenrohr und Schnecke im Bereich einer Ganghöhe bezeichnet, wengleich bei senkrechter Förderung die Zellen lückenlos zusammenhängen. Sie existieren somit eigentlich nur als Gedankenbild oder Handhabe zum rechnerischen Erfassen des Zusammenhanges zwischen Drehzahl, Ganghöhe und Durchmesser des Schneckenrohres. Die Zellfüllung ist identisch mit dem durch eine Umdrehung der Schnecke gefördertem Gut.

Einflüsse auf die Förderleistung

Füllungsgrad

1. Einlauflänge

Die Füllung der einzelnen durch die Schneckenumgänge gebildeten Zellen wird um so besser, je mehr Getreide während des Fördervorganges im Einlauf zufließt. Das freie Schneckenende bildet im



Bild 1: Die Versuchsanlage

Getreide durch seine Umdrehungen einen Zylinder und verleiht dort den Körnern die für die Zellfüllung und Weiterführung im Schneckenrohr notwendige Beschleunigung.

Bei landwirtschaftlichen Schneckenförderern reguliert man die Einlauflänge meist durch Verkürzen beziehungsweise Verlängern des Schneckenrohres. Je nach Einstellung ragt aus dem Rohr ein mehr oder weniger langes, freies Schneckenende in das Fördergut. Um das Optimum der Einlauflänge zu finden, das heißt zu ergründen, wie weit eine Verkürzung des Schneckenrohres eine Steigerung der Förderleistung bringt, wurde das Rohr des Schneckenförderers III um 1050 mm verkürzt und durch je ein 50; 100; 200; 300 und 400 mm langes Rohrstück mit gleichem Durchmesser ersetzt. Das ermöglichte die Förderung mit von 0 bis 1050 mm verstellbarer Einlauflänge, aber sonst völlig gleichen Bedingungen. Der Motorcharakteristik entsprechend, nahm die Drehzahl bei voller Länge des Einlaufs leicht ab. Der Drehzahlbereich für die einzelnen Versuchsreihen ist im Diagramm, das die Ergebnisse der Versuche wiedergibt, jeweils angegeben (Bild 2).

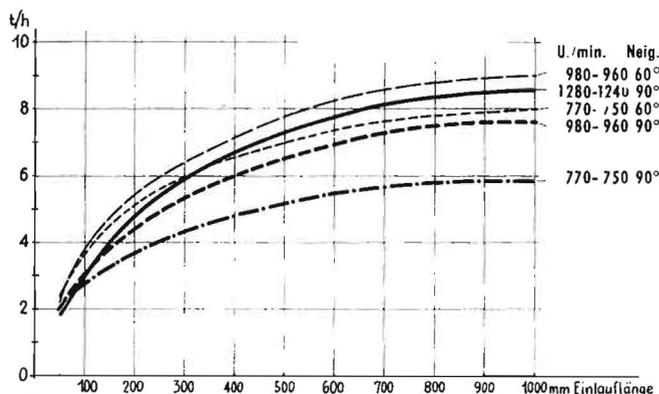


Bild 2: Förderleistung in Abhängigkeit von Einlauflänge und Drehzahl
Schneckenförderer III; Einlaufdurchmesser 72 mm; Weizen (13,5% H₂O)

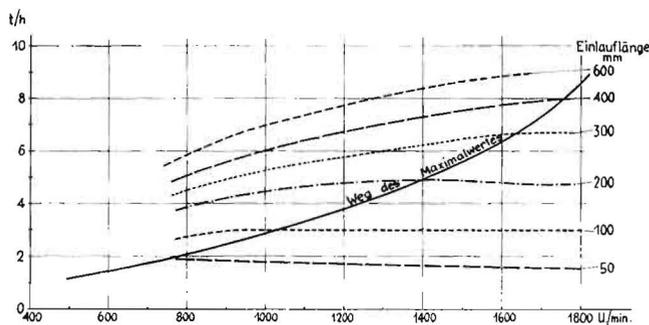


Bild 3: Abhängigkeit des Förderleistungs-Maximums von Drehzahl-erhöhung und Einlauflänge
Schneckenförderer III; Neigungswinkel 90°; Einlaufdurchmesser 72 mm; Weizen (13,5% H₂O)

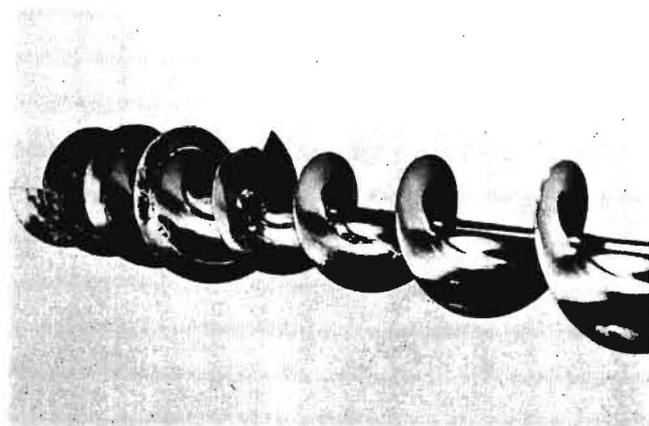


Bild 4: Die Verbreiterung der Schneckenfläche des Schneckenförderers III durch angeschweißten Blechstreifen

Danach steigt die Förderleistung mit zunehmendem freien Schneckenende, bis eine weitere Verlängerung des Schneckenendes keine Zunahme der Förderleistung mehr bringt.

Nach amerikanischen Forschungen [1] wächst die Förderleistung mit der Schneckendrehzahl bis zu einem Höchstbetrag, der beispielsweise von Förderern mit sechs Zoll Durchmesser bei etwa 800 U/min erreicht wird. Bei weiterer Drehzahlsteigerung nimmt die Leistung wieder ab, wenn schräg gefördert wird und bleibt fast konstant bei Steilförderung. Bei unseren Untersuchungen stellte sich heraus, daß die maximale Förderleistung außerdem von der Einlauflänge abhängt. Diese Zusammenhänge sind in Bild 3 zu erkennen.

Bei einer Einlauflänge von 50 mm liegt das Maximum der Förderleistung in unteren Drehzahlbereichen und wandert mit zunehmender Verlängerung des Einlaufes in Bereiche höherer Drehzahlen. Wegen der nicht ausreichend zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten konnten die Maxima der Förderleistungen nur bis 400 mm Einlauflänge experimentell ermittelt werden. Die Tendenz ist aber aus der Gesamtheit der vorhandenen Ergebnisse durchaus erkennbar.

Errechnet man die einzelnen Zelleninhalte nach den erreichten Förderleistungen, ergibt sich, daß der Inhalt der einzelnen Zelle bei gleichbleibender Drehzahl mit der Verlängerung des Einlaufes zunimmt, wenn diese Zunahme auch immer geringer wird. Mit Erhöhung der Drehzahl nimmt der Zelleninhalt aber ab. So ergibt sich bei höheren Drehzahlen, aber gleicher Länge des Einlaufes nach einem gewissen Punkt keine Erhöhung der Förderleistung mehr.

Förderung aus trichterförmigen Gefäßen

Eine weitere Möglichkeit, den Füllungsgrad eines Schneckenförderers zu erhöhen, besteht darin, den Zufluß des Fördergutes zum Schneckeneinlauf durch Verwendung eines trichterförmigen Gefäßes zu verbessern.

Im Versuch wurde der Schneckenförderer III in ein trichterförmiges Gefäß aus Preßpappe gehängt. Das brachte eine Steigerung der Förderleistung von 3,7 t/h auf 4,7 t/h bei Förderung von Weizen (13,5% H₂O; Einlauflänge 135 mm; 1000 U/min). Der Füllungsgrad stieg damit von etwa 18% auf 23%. Entscheidend für diese Wirkung war, daß der schlanke Trichter das von oben nachdrängende Korn zwangsläufig zur Mittelachse, also in die Schnecke leitete und die nur geringe Reibung zwischen Korn und Trichterwand einen zügigen Fluß des Fördergutes in den Einlauf gestattete.

Stärke der Schneckenwelle

Den entscheidenden Einfluß des Füllvorganges auf die Förderleistung eines Schneckenförderers zeigte auch die Untersuchung über den Einfluß des Durchmessers der Schneckenwelle.

Für diese Versuche wurde die Schneckenwelle des Schneckenförderers III in ihrer ganzen Länge vom Durchmesser $d = 16$ mm durch sauberes Umwickeln eines Blechstreifens zunächst auf einen Durchmesser von 27,5 und später von 38 mm gebracht. Die Ergebnisse zeigten eine lineare Abnahme der Förderleistung bei zunehmendem Durchmesser der Welle.

Ist der Durchmesser des aus dem Schneckenrohr herausragenden Schneckenwellenendes normal (16 mm) und nur die Schneckenwelle im Rohr durch Umwickeln verstärkt (27,5 oder 38 mm), so entspricht die mit einem derartigen Förderer erreichte Förderleistung der eines normalen Schneckenförderers.

Breite der Schneckenfläche im Einlauf

Die Untersuchung über den Einfluß des Durchmessers der Schneckenwelle zeigte, daß bei gegebenem Durchmesser der Schneckenfläche eine möglichst dünne Welle im Einlauf günstig ist. Umgekehrt dürfte bei gegebenem Wellendurchmesser auch ein Vorteil von einem vergrößerten Durchmesser der Schneckenfläche erwartet werden.

Diesen Gedanken folgend wurde die Schneckenfläche des Schneckenförderers III im Einlauf durch Anschweißen eines Blechstreifens an die Außenkante verbreitert (Bild 4). Dabei wurde

darauf geachtet, daß der Abstand vom verbreiterten Schnecken-
teil zum unteren Ende des Schneckenrohres genau so groß blieb
wie zwischen der übrigen Schnecke und dem Rohr, um Quetschun-
gen von Getreide zu vermeiden. Dieser Tastversuch brachte bei
senkrechter Stellung fast eine Verdoppelung der Förderleistung
des Förderers III. Das gab Veranlassung, weitere Versuche durch-
zuführen, deren Ergebnisse in den nachfolgenden Diagrammen
zusammengestellt sind.

In Bild 5 sind die Förderleistungen und der Leistungsbedarf vom
Förderer III in senkrechter Stellung bei Förderung von Weizen
verschiedener Feuchtigkeitsgrade in Abhängigkeit vom Durch-
messer der Schneckenfläche im Einlauf wiedergegeben. Die
graphische Darstellung zeigt eine starke Zunahme der Förder-
leistung bei Verbreiterung der Schneckenfläche im Einlauf, bis
eine weitere Verbreiterung eine Abnahme der geförderten Massen
bringt. Der Leistungsbedarf steigt mit der Förderleistung bis zu
deren Maximalpunkt und nimmt dann durch die erhöhte Rühr-
arbeit auf Grund der im Einlauf verbreiterten Schneckenfläche,
allerdings etwas langsamer weiter zu. Auch mit relativ feuchtem
Fördergut ist eine ähnliche Steigerung der Förderleistung durch
Verbreiterung der Schneckenfläche im Einlauf zu erreichen, wie
die voll ausgezogene Kurve zeigt, die die Förderleistungen bei
Getreide mit 22% Wassergehalt wiedergibt. Die Förderleistung
nimmt mit zunehmender Feuchte ab, während der Leistungs-

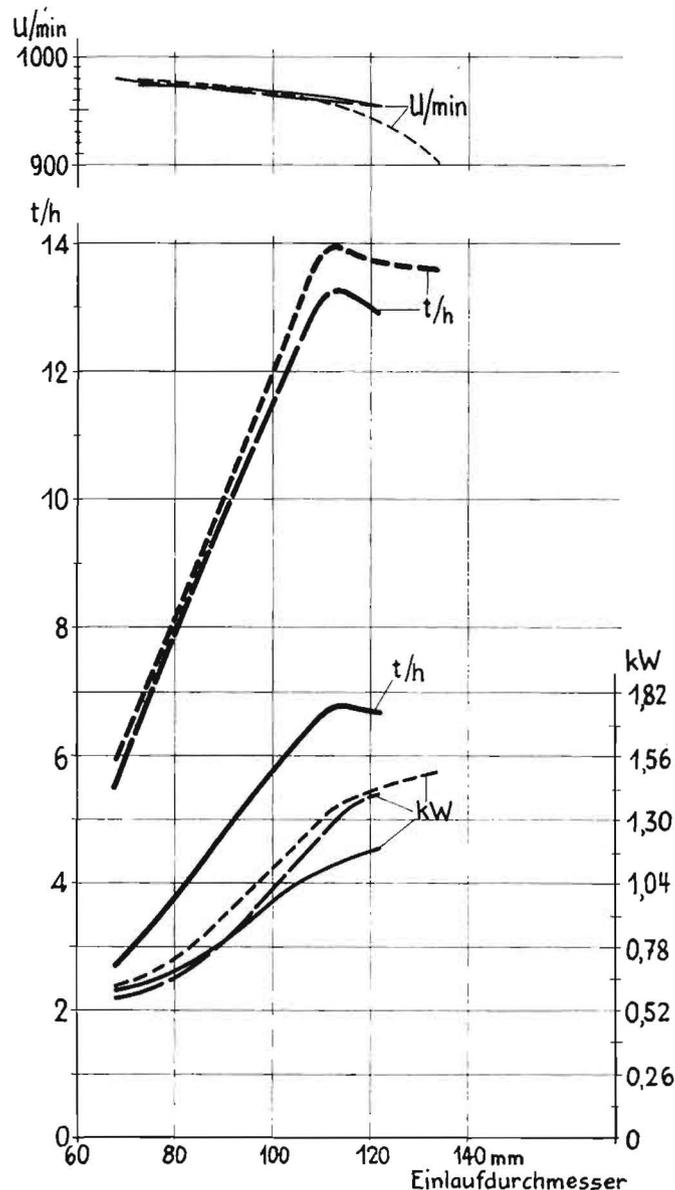


Bild 5: Förderleistung und Leistungsbedarf in Abhängigkeit vom Einlauf-
durchmesser bei verschiedenen Feuchtigkeitsgraden des Fördergutes

Schneckenförderer III
Neigungswinkel 90°
Einlauflänge 300 mm

----- Weizen (12% H₂O)
- - - - - Weizen (16,5% H₂O)
————— Weizen (22% H₂O)

anspruch des Gerätes bei erhöhtem Wassergehalt des Getreides
zunimmt. Der Durchmesser der Schneckenfläche im Einlauf, bei
dem die Förderleistung ihr Maximum erreicht, ist vom Feuchte-
gehalt des Getreides unabhängig.

Die Darstellung der Versuchsergebnisse bei einem Neigungswinkel
von 45° (Bild 6) macht den gleichen Anstieg der Förderleistung
bei Verbreiterung der Schneckenfläche im Einlauf deutlich. Mit
zunehmender Feuchte nimmt auch hier die Förderleistung deutlich
ab. Sie erreicht allerdings ihren Höchstwert bereits früher, das
heißt, bei einem geringeren Durchmesser als bei senkrechter
Förderung. Dieser Punkt ist wieder vom Feuchtegehalt des
Getreides unabhängig. Der Leistungsbedarf steigt bei Förderung
in 45°-Stellung stärker an als die Förderleistung. Die Leistungs-
bedarfskurve für Förderung von Weizen mit 12% Feuchtegehalt
macht, kurz bevor die Förderleistung ihr Maximum erreicht hat,
eine Stufe und steigt hernach noch steiler an. Die Stufe ist ver-
mutlich die Folge zweier Einflüsse: ab 92 mm Durchmesser der
Schneckenfläche läßt die bisherige Steigerung der Fördermenge
merklich nach; demzufolge steigt auch die Kurve des Leistungs-
bedarfs von da an wesentlich flacher, bei 102 mm Durchmesser
des Einlaufes ist der in der Unterseite des Schneckenrohres be-
findliche Teil der Zellen restlos gefüllt, so daß Stauungen mit
starker Bremswirkung auftreten. Die Kurve für den Leistungs-
bedarf bei Förderung von Weizen mit höherem Wassergehalt liegt
etwas höher und verläuft ohne Stufe. Die Förderleistung liegt bei
Weizen mit 22% Feuchte nicht so hoch, als daß sich in 45°-Stellung
die Füllung der einzelnen Zellen an den Schneckenflächen der
darüberliegenden Zellen stauen müßte, wie das bei der Förderung
von trockenem Weizen in dieser Stellung der Fall ist.

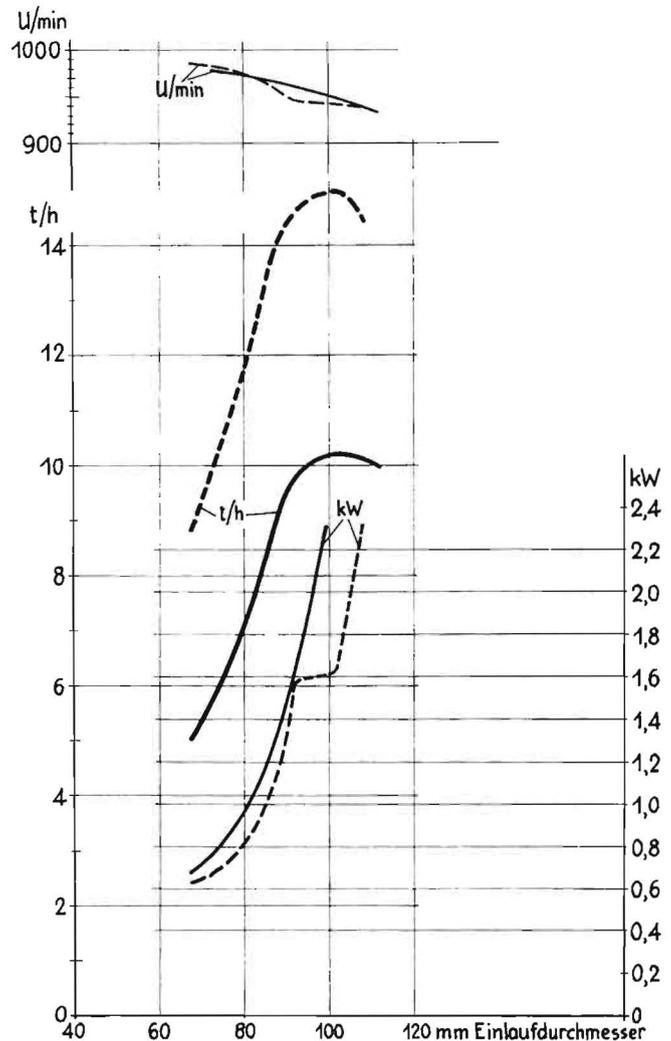


Bild 6: Förderleistung und Leistungsbedarf in Abhängigkeit vom Einlauf-
durchmesser bei verschiedenen Feuchtigkeitsgraden des Fördergutes, bei
schräger Förderung

Schneckenförderer III;
Neigungswinkel 45°
Einlauflänge 300 mm

----- Weizen (12% H₂O)
- - - - - Weizen (16,5% H₂O)
————— Weizen (22% H₂O)

Die Wirkung der Schneckenflächenverbreiterung auf die Förderleistung sowie der geforderte Leistungsbedarf ist auch von der Drehzahl abhängig (Bild 7). Da sich die Zahl der Zellen pro Stunde mit der Drehzahl erhöht und die Verbreiterung der Schneckenfläche im Einlauf eine bessere Füllung der einzelnen Zellen bewirkt, ist die Wirkung der Verbreiterung auf die Förderleistung um so größer, je höher die Drehzahl ist. Die Kurve der Förderleistungen bei 1400 U/min steigt deshalb wesentlich steiler an als die der Förderleistungen bei nur 435 U/min und liegt im ganzen wesentlich höher.

Die Einlaufregulierung, die — wie erwähnt — bei jedem landwirtschaftlichen Schneckenförderer zur fast völligen Entleerung von Gruben und Silos notwendig ist, kann auch bei verbreiteter Schneckenfläche im Einlauf durch ein verschiebbares Rohrstück erfolgen, dessen Durchmesser größer als der des verbreiterten Schneckenendes sein muß, um Quetschungen zu vermeiden. Das Getreide tritt nicht aus dem Verschieberohr nach oben aus, wohl aber um wenig in den Raum zwischen Schneckenrohr und Verschieberohr. Der dadurch erzeugte Druck genügt, um dem aufstrebenden Getreidestrom den Austritt zwischen Schneckenrohr und Verschieberohr zu verwehren.

Drehzahl

Neben dem Füllungsgrad hat die Drehzahl, mit der ein Schneckenförderer arbeitet, entscheidenden Einfluß auf seine Förderleistung. In Bild 8 sind die Ergebnisse von Versuchen wiedergegeben, bei denen die Förderleistung in Abhängigkeit von der Drehzahl untersucht wurde. Die Kurve für die Förderleistungen des Förderers III steigt mit zunehmender Drehzahl zunächst fast linear, nach 1200 U/min nur noch wenig bis zu einem Höchstwert an. Danach bleibt die Förderleistung konstant. Die Leistungsbedarfskurve steigt mit zunehmender Drehzahl am Anfang nur schwach und dann steiler werdend fast linear an. Nachdem die Förderleistung ihren Maximalwert erreicht hat, nimmt der Leistungsbedarf weiter zu, so daß sich bei etwa 1200 U/min eine Grenze der Wirtschaftlichkeit des Förderers III ergibt.

Sowohl die Förderleistung als auch der Leistungsbedarf des Förderers I steigen ebenfalls mit zunehmender Drehzahl. Der

Maximalwert der Förderleistung des Förderers I konnte mit den für den Versuch verfügbaren Hilfsmitteln leider nicht ermittelt werden. Da die Umfangsgeschwindigkeit proportional mit dem Radius der Schnecke wächst, muß die Förderleistung von größeren Schnecken bei Erhöhung der Drehzahl schneller ansteigen als die von kleineren.

Wie Bild 8 zeigt, bedarf es zumindest bei Schneckenförderern mit geringerem Durchmesser beträchtlicher Drehzahlerhöhungen, um größere Zunahmen der Förderleistung zu erreichen. Bei stark erhöhten Drehzahlen muß mit Schäden am Fördergut gerechnet werden. Es scheint, als ob eine Umfangsgeschwindigkeit von ungefähr 4,5 m/sec als obere Grenze für Schneckenförderer bei Förderung von Getreide hinsichtlich der Beschädigungsgefahr zu gelten hat.

Abstand zwischen Schnecke und Schneckenrohr

Um den Einfluß des Abstandes von der Schnecke zur Innenwand des Schneckenrohres auf die Förderleistung eines Schneckenförderers zu untersuchen, wurden die Leistungen der Förderer III und IV verglichen (Tafel 3).

Die beiden Förderer unterscheiden sich lediglich in ihrem Rohrdurchmesser, haben also verschiedenen Abstand zwischen Schneckenfläche und Rohrrinnenwand.

Tafel 3: Abmessungen und Förderleistungen zweier Geräte

	Förderer III	Förderer IV
Rohrdurchmesser in mm	88	81
Querschnitt in cm ²	5680	4940
Querschnitt in Prozent	100	84,5
Förderleistung in t/h	6,5	6,2
Förderleistung in Prozent	100	95,5
Leistungsbedarf in kW	6,5	6,6

Der um 15,5% kleinere Querschnitt des Förderers IV hätte eigentlich nur 84,5% der Förderleistung des Förderers III erwarten lassen. Die Leistung betrug aber 95,5%, war also relativ höher.

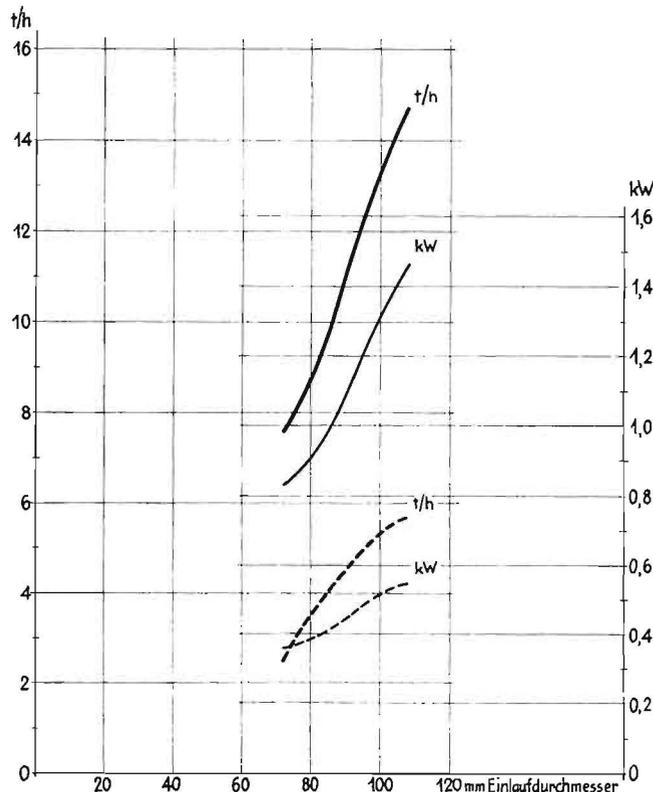


Bild 7: Förderleistung und Leistungsbedarf in Abhängigkeit vom Einlaufdurchmesser bei verschiedenen Drehzahlen

Schneckenförderer III
Neigungswinkel 90°
Einlauflänge 300 mm
Weizen (10% H₂O)

----- bei 435 U/min
—— bei 1400 U/min

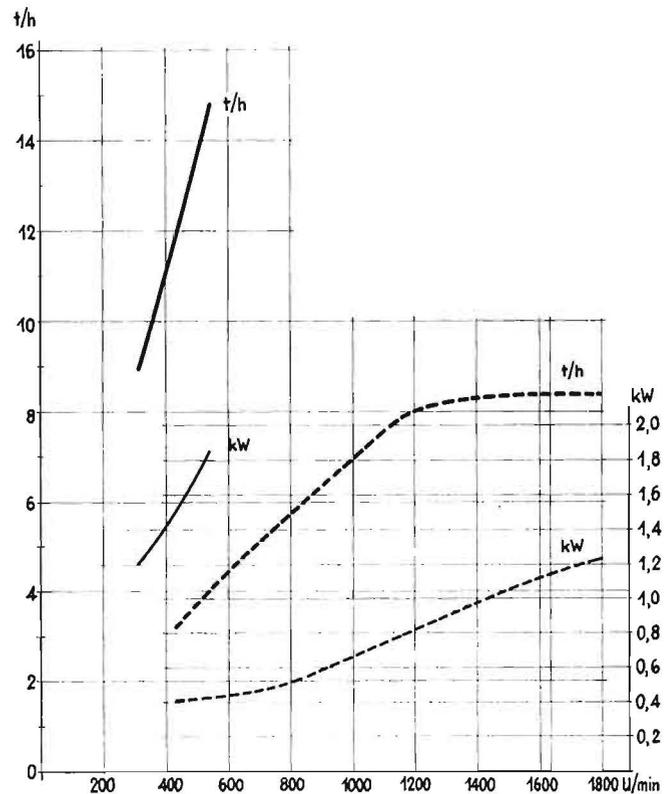


Bild 8: Förderleistung und Leistungsbedarf von Förderer I und III in Abhängigkeit von der Drehzahl

—— Schneckenförderer I
Einlauflänge 220 mm
Einlaufdurchmesser 148 mm
Neigungswinkel 90°
Weizen (12% H₂O)

----- Schneckenförderer III
Einlauflänge 300 mm
Einlaufdurchmesser 72 mm

Der verengte Querschnitt des Schneckenrohres vermindert hier das ständige Herabrieseln des Fördergutes über den Rand der Schneckenfläche.

Trotz aller Bemühungen gelang es nicht, die Rohrrinnenwand des Förderers IV bezüglich des Reibungsbeiwertes der Innenwand des Förderers III voll anzugleichen. Die Ergebnisse der Förderleistungen beider Förderer sind dadurch zu ungunsten des Förderers IV verschoben. Die erhöhte Reibung drückt sich auch sicher in etwas erhöhten Leistungsbedarf aus, der eigentlich hätte geringer sein müssen.

Leistungsanspruch

Der Leistungsanspruch bei der Schneckenförderung hängt ab von

1. den Abmessungen, der Form und dem Material des Förderers,
2. den Eigenschaften des Fördergutes und
3. dem Neigungswinkel des Schneckenförderers zur Horizontalen.

Der Energieverbrauch teilt sich auf in

1. Reibungsarbeit zwischen Schneckenfläche und Fördergut,
2. Reibungsarbeit zwischen Schneckenrohr und Fördergut,
3. Reibungsarbeit zwischen den Körnern des Fördergutes,
4. die reine Hubarbeit,
5. Reibungsarbeit zwischen den einzelnen Teilen des Fördergerätes und
6. Beschleunigungsarbeit im Einlaufbereich.

Welch entscheidenden Einfluß die einzelnen Reibungsbeiwerte auf den Leistungsanspruch haben, zeigte der während der ersten Zeit nach Inbetriebnahme eines Schneckenförderers laufend sinkende Leistungsanspruch bei gleicher oder sogar steigender Förderleistung durch das ständige Schleifen der Körner mit den Schneckenenteilen. Eine solche Zunahme der Förderleistung bis zum endgültigen Maximalwert lag zum Beispiel beim Förderer III bei ungefähr 15%, der Leistungsbedarf nahm dabei bis zum endgültigen Minimalwert um etwa 10% ab.

Bei den verschiedenen Zusammenstellungen der Versuchsergebnisse wurde der jeweilige Leistungsbedarf in einer zusätzlichen Kurve dargestellt.

Ausgehend von einem bestimmten Mindestbedarf bewirken zunehmende Drehzahlen einen fast linear ansteigenden Leistungsbedarf, wie von MILLIER [1] berichtet wird und auch am Verlauf der Leistungsbedarfskurven in Bild 8 zu erkennen ist.

Bei der Senkrechtförderung steigt der Leistungsanspruch mit der durch Verbreiterung der Schneckenfläche im Einlauf erhöhten Förderleistung bis zum Maximalpunkt fast linear, danach weniger steil an.

Bei der Förderung im Neigungswinkel von 45° steigt der Leistungsanspruch wesentlich stärker als die durch eine ebensolche zunehmende Verbreiterung erhöhte Förderleistung bis zum Maximalpunkt und dann nach einer Stufe noch steiler an.

Vergleicht man den Leistungsbedarf eines Förderers mit verbreiteter Schneckenfläche im Einlauf bei Förderung in einem Neigungswinkel von 90° mit einem ebensolchen Förderer bei Förderung im Winkel von 45°, ergibt sich eine klare Überlegenheit der 90°-Stellung eines Schneckenförderers bezüglich seines Leistungs-

Tafel 4: Der elektrische Arbeitsaufwand für die Förderarbeit
Schneckenförderer III; 300 mm Einlaufänge; 980—960 U/min; Weizen (13% H₂O).

	Neigungswinkel 45°		
	Förderleistung in t/h	14,0	12,0
mech. Hubarbeit in mt	19,8	16,95	12,71
elektr. Arbeitsaufwand in kWh/h	1,36	0,84	0,65
elektr. Arbeitsaufwand pro mt in kWh/h	0,069	0,0495	0,051
	Neigungswinkel 90°		
	Förderleistung in t/h	14,0	12,0
mech. Hubarbeit in mt	28,0	24,0	18,0
elektr. Arbeitsaufwand in kWh/h	1,36	1,11	0,8
elektr. Arbeitsaufwand pro mt in kWh/h	0,0485	0,0462	0,0445



Bild 9: Demonstration des Fördervorgangs mit gefärbten und ungefärbten Weizenkörnern in einem Glasrohr

bedarfs pro Einheit des geförderten Gutes, wenn man berücksichtigt, daß bei 45°-Förderung das Gut weniger hoch gefördert wird als bei 90°-Stellung.

Ein Vergleich zwischen dem elektrischen Arbeitsaufwand und der damit erzielten mechanischen Hubarbeit ergibt die in Tafel 4 zusammengestellten Werte.

Tafel 4 weist den günstigsten Wirkungsgrad eines Förderers mit verbreiteter Schneckenfläche im Einlauf bei senkrechter Förderung aus. Die amerikanischen Arbeiten [1] ergaben, daß Schneckenförderer ihren günstigsten Wirkungsgrad bei einem Neigungswinkel zwischen 40° und 60° haben. Eine erhöhte Zellenfüllung bewirkt also eine Verschiebung des Wirkungsgradmaximums zur senkrechten Stellung des Schneckenförderers.

Beobachtung und Darstellung des Fördervorganges

Um den Fördervorgang im Innern eines Schneckenförderers beobachten zu können, wurde zunächst im Schneckenrohr eines derartigen Fördergerätes ein Fenster in der Größe 1000 · 120 mm seitlich angebracht. Deutlich war nun zu erkennen, daß das im Rohr sichtbare Fördergut nicht wie vermutet schräg aufwärts strebte, sondern etwa wellenförmig in Drehrichtung waagrecht um die Schnecke kreiste. Beim Anhalten des Fördervorganges verblieb wesentlich mehr Fördergut im Schneckenrohr, als man das auf Grund der Zellenzahl und Zellenfüllung erwarten konnte. Die von den einzelnen Schneckenengängen herunterfallenden Körner bilden unter dem Einfluß der Zentrifugalkraft an der Rohrrinnenwand einen Getreidemantel, der mit etwa $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{100}$ der Schnecken-drehzahl umläuft.

Die im Innern des Rohres aufsteigenden Körner haben also nicht direkt mit dem Schneckenrohr Reibung, sondern nur mit dem Getreidemantel. Die mittlere Stärke dieses Getreidemantels läßt sich errechnen. Das Volumen der verbleibenden Zelle wird mit zunehmender Stärke des Getreidemantels kleiner. Der Füllungsgrad der Zellen ist somit höher, als bisher ohne Berücksichtigung des Getreidemantels auf Grund einer bestimmten Förderleistung und einer festgesetzten Drehzahl angenommen wurde.

Wie die Ergebnisse mehrerer Versuche zeigten, ist die Stärke des Getreidemantels wohl von der Drehzahl, aber noch stärker von der Breite der Schneckenfläche im Einlauf abhängig. Ähnlich der Wirkung einer Preßschnecke wird bei verbreiteter Schneckenfläche im Einlauf alles einmal ins Schneckenrohr gebrachte Getreide nach oben gefördert und nur noch ein sehr dünner Mantel aus Getreide dreht sich — in diesem Falle etwas schneller — um die Schnecke. Diese etwas schnellere Umdrehung ist offenbar

die Folge der stark verminderten Wandstärke des Getreidemantels, der sich außen an das stillstehende Rohr des Förderers lehnt und auf seiner Innenseite von dem starken, schraubenförmig aufsteigenden Fördergutstrom berührt wird.

Eine deutliche und anschauliche Darstellung der Vorgänge im Innern eines Schneckenförderers gelang schließlich durch die Anfertigung eines Förderers mit einem Plexiglasrohr, der von Hand getrieben wird. Das Aufsteigen oder, besser gesagt, das Aufwärtsgeschobenwerden der Körner im Innern, also auf der Schneckenfläche, macht folgender Vorgang deutlich: der ins Getreide gestellte Förderer mit Glasrohr wird bis zur Hälfte mit Weizen gefüllt und diese Schicht mit einer wesentlich dünneren Schicht blau gefärbten Weizens überdeckt. Setzt man nun die Schnecke durch langsames Drehen in Bewegung, kann man deutlich beobachten, wie die ungefärbten Weizenkörner auf der Schneckenfläche durch die Schicht gefärbter Körner nach oben stoßen, während blaue Körner seitlich von den Schneckengängen zwischen Schnecke und Schneckenrohr fallen (Bild 9). Sie werden von den aus der darunterliegenden Zelle herausdrängenden Körnern zum Teil gehindert, weiter als nur eine Ganghöhe herabzufallen. Sie bauen so einen Getreidemantel auf. Dieser Vorgang läuft aber während des ganzen Fördervorganges, wodurch zum Teil ein ständiges Auf- und Abbauen vor sich geht. Oft aber bleiben auch dieselben Körner eine lange Zeit im Mantel. Durch den jeweils im Innern vorbeiziehenden Schneckenumfang tritt die außen sichtbare wellenförmige Bewegung auf.

Füllt man das gläserne Schneckenrohr zu einem Drittel mit ungefärbtem Weizen, bringt darauf eine etwa 15 cm dicke Schicht mit blau gefärbtem Weizen und darauf wieder eine ebensolche dicke Schicht ungefärbten, scheint es, als wandere nach Förderbeginn der Abschnitt aus blauen Körnern fast geschlossen langsam nach oben (Bilder 10—15). In Wirklichkeit schieben sich aber an der Schneckenwelle ungefärbte Körner in die darüber liegende blaue Schicht und blaue Körner wiederum in die darüber liegende ungefärbte Körnermenge. Andererseits fallen bei diesem Vorgang blaue Körner seitlich von den Schneckengängen in die Zone ungefärbter Körner und Körner der darüber liegenden Schicht in die Höhe der blauen Körner. So tritt allmählich an den Grenzlinien der beiden Schichten ein Gemisch von blauen und ungefärbten Körnern auf, welches mehr oder weniger schnell mit umläuft. Entsprechend der Drehzahl erscheinen dann die bunten Körner bald am Austritt des Schneckenrohres und werden dort ausgeworfen. Im Getreidemantel bleiben blaue Körner noch recht lange erhalten, ja sie finden sich sogar noch tiefer, als sie bei Förderbeginn waren. Vergleicht man die beiden Möglichkeiten der Förderleistungssteigerung, also die Erhöhung der Drehzahl und die bessere Zellfüllung durch Verbreiterung der Schneckenfläche im Einlauf, so ist schon allein der Gefahr der Beschädigung des Fördergutes

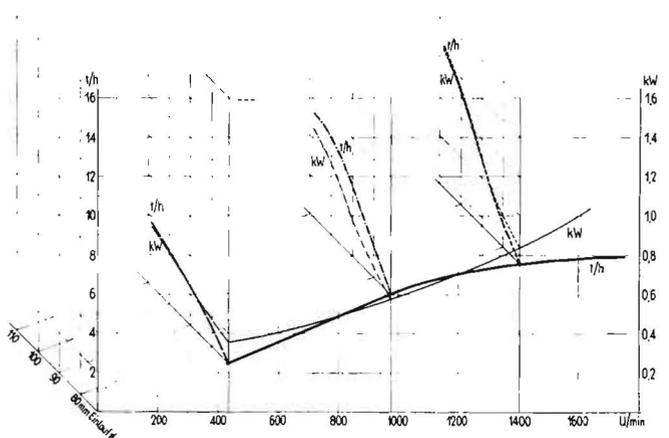


Bild 16: Förderleistung und Leistungsbedarf in Abhängigkeit von Drehzahl und Einlaufdurchmesser
 Schneckenförderer III; Neigungswinkel 90°; Einlauflänge 300 mm; Weizen (19% H₂O)
 — Drehzahlsteigerung bei Einlaufdurchmesser 72 mm; Verbreiterung der Schneckenflächen im Einlauf bei — — — 975 U/min, - - - 1405 U/min

und der erhöhten Beanspruchung des Förderers wegen der Weg über die größere Zellfüllung vorzuziehen. Noch überzeugender ist aber eine Betrachtung der Förderleistung und ihres Leistungsbedarfes, wie sie zum Beispiel in Bild 8 dargestellt sind. Der Verlauf der Förderleistungskurve für den Schneckenförderer III zeigt erstens, daß die Möglichkeit der Förderleistungssteigerung durch eine Drehzahlerhöhung begrenzt ist, und zum anderen — im Vergleich mit Bild 5 — daß der dabei auftretende, auf das geförderte Gut bezogene Leistungsanspruch immer höher ist, als bei Förderleistungssteigerung durch Verbreiterung der Schneckenfläche im Einlauf. Das über die Drehzahlerhöhung erreichbare Maximum an Förderleistung wird durch Verbreiterung der Schneckenfläche im Einlauf weit übertroffen.

Bild 16 soll diese Zusammenhänge verdeutlichen. Es zeigt in räumlicher Darstellung die Zunahme der Förderleistung bei Drehzahlerhöhung bis zu einem Maximum, das sich unter den im Bild angegebenen Bedingungen bei etwa 8 t/h und etwa 1750 U/min einstellt. Der Leistungsbedarf nimmt dabei ebenfalls mit der Drehzahl zu, steigt aber, nachdem die Förderleistung ihren Maximalpunkt erreicht hat, weiter an. Verbreitert man beispielsweise bei 975 U/min den Durchmesser der Schneckenfläche im Einlauf, so bewirkt das bereits bei relativ geringem Leistungsbedarf eine stärkere Zunahme der Förderleistung als es durch eine Erhöhung der Drehzahl möglich ist. Eine Verbreiterung der Schneckenfläche im Einlauf bei 1405 U/min bewirkt Förderleistungen, die über das



Bilder 10—15: Der Fördervorgang in einzelnen Phasen

durch Drehzahlerhöhung erreichte Förderleistungsmaximum noch weiter hinausgehen — im Beispiel bis zu 15 t/h.

Wie EPHREMIDIS [2] berichtet, wirkt sich beim waagrecht arbeitenden Schneckenförderer eine Erhöhung der Drehzahl günstiger auf die Zunahme der Förderleistung aus als eine stärkere Füllung der Zellen. Die vorliegende Arbeit zeigt den umgekehrten Sachverhalt beim senkrechten oder schräg arbeitenden Schneckenförderer. Dieser Unterschied erklärt sich aus der gegensätzlichen Rolle, die der Reibung hierbei zukommt. Bei der Waagrechtförderung ist die Reibung nur nachteilig, Da sie mit zunehmender Zellfülle wächst, ist der Weg über die Drehzahlerhöhung sinnvoller. Bei der Schräg- oder Senkrechtförderung ist die Reibung aber nicht nur nachteilig und hinderlich, sondern zum Teil sehr nützlich. Ihr Vorhandensein zwischen Rohrwand und Fördergut verhindert teilweise das Umlaufen des Getreides mit der Schnecke und macht so den Fördervorgang überhaupt erst möglich. Mit zunehmender Zellfüllung steigt die Reibung und mit ihr, ganz im Gegensatz zum waagrecht arbeitenden Schneckenförderer, der Wirkungsgrad des Gerätes.

Auch die Tatsache, daß sich mit zunehmender Zellfüllung das Wirkungsmaximum eines Schneckenförderers von der Schräg- zur Senkrechstellung verschiebt, läßt sich durch die Auswirkung eines Teiles der Reibung erklären. Bei schrägliegendem Zellraum verkleinert sich nämlich die Fläche der nützlichen Reibung an der Schneckenrohrinnenwand und senkt damit den Wirkungsgrad des Gerätes. Die Möglichkeit der besseren Zellfüllung durch Verbreiterung der Schneckenfläche im Einlauf dürfte somit die senkrechte Anwendung der Schneckenförderer sehr begünstigen.

Nicht zuletzt trägt die Möglichkeit einer erhöhten Zellfüllung auch deswegen zur wirtschaftlichen Getreideförderung bei, weil sich damit die Leistung eines Schneckenförderers von geringem Durchmesser soweit steigern läßt, daß er den Förderer mit größeren Abmessungen ersetzen kann — ohne dessen höhere feste Kosten zu verursachen.

Zusammenfassung

Gestaltung und Abmessung des Einlaufes der in der Landwirtschaft eingesetzten Schneckenförderer bestimmen weitgehend deren Förderleistung, aber auch ihren Leistungsbedarf. Mit zunehmender Länge des Einlaufes erhöht sich der Füllungsgrad der Zellen und damit die Förderleistung bis zu einem Höchstwert, der auch bei weiterer Verlängerung der frei herausragenden Schnecke nicht überschritten werden kann. Dieser Höchstwert ist von der Drehzahl abhängig. Mit zunehmender Umfangsgeschwindigkeit strebt die Förderleistung eines Schneckenförderers einem Höchstwert zu, der auch bei weiterer Erhöhung der Drehzahl nicht überschritten werden kann. Der Füllungsgrad der einzelnen Zellen nimmt dabei ab. Mit zunehmender Breite der Schneckenfläche und abnehmendem Durchmesser der Schneckenwelle im Einlauf steigt der Füllungsgrad der Zellen und damit die Förderleistung bis zu einem Höchstwert, nach dessen Erreichung eine weitere Verbreiterung keine Zunahme mehr bringt, sondern nur ein stärkeres Rühren des Fördergutes bewirkt. Der Leistungsbedarf steigt dabei linear an.

Mit zunehmendem Füllungsgrad der Zellen verschiebt sich der optimale Wirkungsgrad eines Schneckenförderers vom Neigungswinkel zwischen 45° und 60° zum Neigungswinkel von 90°. Der Leistungsbedarf steigt bei Förderung im Neigungswinkel von 90° mit zunehmender Förderleistung linear, bei Förderung im Winkel von 45° aber stärker als die Förderleistung an. Mit zunehmendem Abstand von der Schnecke zur Innenwand des Schneckenrohres nimmt die Förderleistung eines Schneckenförderers ab. Eine Verbreiterung der Schneckenfläche im Einlauf mindert die Nachteile dieses Abstandes. Das Schneckenrohr eines Schneckenförderers ist während des Förderganges stärker gefüllt, als das auf Grund der von jedem einzelnen Schneckengang geförderten Menge und der Zahl der Schneckengänge in diesem Förderer zu erwarten ist, weil die ständig über den Rand der Schneckenfläche herabfallenden Körner an der Rohrinne wand einen Mantel bilden, der zum Teil ständig auf- und abgebaut wird und langsamer als die Schnecke in Drehrichtung umläuft. Die Stärke des Mantels ist abhängig von der Drehzahl und dem Füllungsgrad der einzelnen Zellen, der wiederum von der Gestaltung des Einlaufes bestimmt wird.

Schrifttum

- [1] MILLIER, W. F.: Bucket elevators and auger conveyors for handling free-flowing materials. Agricultural engineering. 39 (1958), S. 552—555
- [2] EPHREMIDIS, C.: Untersuchungen zum Fördervorgang beim waagrecht arbeitenden Schneckenförderer. Dissertation, Hannover 1957
- [3] AUMUND, H.: Hebc- und Förderanlagen. 4. Aufl., Springer-Verlag, Berlin 1958

Résumé

Adolf Koenig and Udo Riemann: "Investigations on Vertical Worm Conveyors."

The shape and dimensions of the inlet of worm conveyors used in agricultural practice have a great effect on their performance as well as on their power requirements.

Increasing the length of the inlet also increases the degree of filling up to a maximum, beyond which further increases in the length of the freely protruding worm have no effect. This maximum value is dependent upon the revolutions per minute of the worm.

The quantity of material conveyed by a worm conveyor approaches a maximum value as the peripheral speed of the worm increases. This maximum value, once attained, cannot be exceeded by increasing the revolutions per minute of the worm. The degree of filling of the individual turns decreases during this process.

Increasing the area of the worm and decreasing the diameter of the worm shaft in the inlet also increases the degree of filling of the turns and, consequently, the performance of the conveyor until a maximum value is attained. When this value is reached, any further increase in the area of the worm does not cause any increase in the quantity conveyed but only results in greater agitation of the material conveyed. The increase in power requirements is linear.

With increased degree of filling of the turns the optimum efficiency of a worm conveyor is no longer to be found between angles of inclination of 45° to 60° but is obtained when the conveyor is at an angle of 90°. In this position the increase in power requirements is linear with increasing mass conveyed. However, at an inclination of 45° power requirements increase faster than does the mass conveyed.

Increasing clearance between the worm and the inner wall of the housing causes the quantity conveyed to drop. An increase in the area of the worm surfaces at the inlet reduces the disadvantages of this clearance.

When a worm conveyor is in operation, the housing always contains more of the product conveyed than the sum of the contents of the individual turns of the worm. This is due grains falling off the edges of the worm and piling up to form a sleeve inside the conveyor housing. This sleeve is constantly increasing and decreasing and rotates slower than the worm but in the same direction. The thickness of this sleeve is dependent upon the revolutions per minute of the conveyor and the degree of filling of the individual turns, which, in turn, is dependent upon the shape of the inlet of the conveyor.

Adolf Koenig et Udo Riemann: «Recherches sur les élévateurs à vis.»

La conception et les dimensions de l'entrée des vis transporteuses utilisées dans l'agriculture, déterminent en premier lieu le débit, mais également les besoins en puissance.

En augmentant la longueur de l'entrée, le degré de remplissage des filets augmente et en même temps le débit qui va jusqu'à une valeur maximum qui ne peut être dépassée même en prolongeant encore la partie saillante de la vis. Cette valeur maximum dépend du nombre de tours.

En augmentant la vitesse circonférentielle, le débit d'une vis transporteuse atteint à une valeur maximum qui ne peut être dépassée même en augmentant encore le nombre de tours. Le degré de remplissage des différents filets diminue en même temps.

En augmentant la largeur de la surface de la spirale et en diminuant le diamètre de l'arbre à l'entrée de la vis, le degré de remplissage des filets augmente et, par conséquent le débit qui va jusqu'à une valeur maximum, mais un élargissement supplémentaire de la largeur de la spirale n'apporte plus aucun accroissement du débit, mais rend seulement plus énergique le brassage du produit à transporter. Les besoins en puissance augmentent en même temps d'une façon linéaire. Quand le remplissage des filets augmente, le rendement optimum d'une vis transporteuse passe d'un angle de 45—60° à un angle de 90°. Les besoins en puissance et le débit augmentent d'une façon linéaire quand le transport se fait à un angle de 90°. Par contre, l'augmentation des besoins en puissance est plus grande que celle du débit à un angle de 45°.

En augmentant la distance entre la vis et la paroi intérieure du tube, le débit de la vis diminue. Un élargissement de la surface de la spirale à l'entrée peut compenser l'inconvénient de la distance plus grande.

Le tube de la vis est plus rempli pendant le fonctionnement que l'on le peut supposer compte tenu de la quantité acheminée dans chaque filet et du nombre de filets, car les grains qui tombent à chaque instant au-dessus du bord de la surface de la vis constituent à la paroi intérieure du tube un écran qui est toujours partiellement défilé et reconstruit et qui se déplace plus lentement que la vis dans le sens de la rotation. L'épaisseur de l'écran dépend du régime et du degré de remplissage des différents filets qui lui-même dépend de la conception de l'entrée.

Adolf Koenig y Udo Riemann: «Ensayos hechos con el transportador vertical de tornillo sin fin.»

Forma y dimensiones de la boca de entrada de los transportadores de tornillo sin fin, empleados en la agricultura, tienen una influencia decisiva en la capacidad transportadora, pero también en la potencia que requieren estas instalaciones.

A medida que aumente el largo de la entrada, aumenta también la carga de las células, y con ésta la capacidad transportadora, hasta llegar al valor máximo, del que no es posible pasar, ni tampoco alargando más el extremo libre del tornillo sin fin. Este valor máximo depende del número de rotaciones que da el tornillo sin fin.

Aumentando la velocidad periférica, la capacidad transportadora se acerca cada vez más al valor máximo, del que no puede pasarse, aumentando más el número de rotaciones, porque va bajando el grado de carga de las células.

Aumentando el ancho de la superficie helicoidal, bajando en cambio el diámetro del eje en la entrada, la carga de las células aumenta, y con ella la capacidad transportadora hasta llegar al máximo que, una vez alcanzado, ya no puede aumentar con el empleo de anchos mayores de la superficie helicoidal. Este aumento sólo conducirá a que el material se remueva más, aumentando el consumo de energía en proporción lineal.

Aumentando el grado de carga de las células, el rendimiento óptimo del transportador desplaza el ángulo de inclinación de entre 45° y 60° al ángulo de 90°. La potencia necesaria, aumentando la capacidad transportadora en transporte con ángulo de 90°, aumenta en proporción lineal; en cambio, en transporte con ángulo de 45° aumenta más que la capacidad transportadora.

Aumentando la distancia libre entre el tornillo sin fin y la superficie interior del tubo de transporte, la capacidad transportadora decrece. Un ancho mayor de la superficie helicoidal en la entrada reduce la desventaja que produce esta distancia excesiva.

El tubo de transporte de un transportador de tornillo sin fin, estando la máquina en marcha, contiene mayor cantidad de grano que la que se supone, fundándose en la cantidad transportada por cada paso individual y en el número de pasos que tenga el tornillo, porque los granos que caen continuamente por el borde de la hélice, forman una capa en la pared interior del tubo, deshaciéndose y rehaciéndose esta capa continuamente, circulando más despacio que el tornillo en su sentido de rotación. El grueso de esta capa depende del número de rotaciones que da el tornillo y del grado de carga de las diferentes células que, a su vez, depende de la forma de la boca de entrada.

RUNDSCHAU

Der neue NSU-Wankel-Rotationskolbenmotor

Das Prinzip der Rotationskolbenmaschine ist schon lange bekannt. Es gibt über diese Maschinen ein umfangreiches Patentschrifttum; doch war es bisher nur gelungen, nach diesem Prinzip Pumpen und Kompressoren zu bauen, jedoch keine Verbrennungsmaschinen mit ausreichender Betriebssicherheit. Alle Versuche scheiterten am Abdichtungsproblem der rotierenden gegenüber den feststehenden Teilen und am Problem der Beseitigung der Verbrennungsrückstände. Es ist das Verdienst des Ingenieurs FELIX WANKEL, Technische Entwicklungsstelle, Lindau, und seiner Mitarbeiter, auf Grund jahrelanger Untersuchungen Wege zu befriedigenden Lösungen für die Abdichtung gefunden zu haben. Anfang 1954 kam ein Entwicklungsvertrag mit den NSU-Werken in Neckarsulm zustande und damit konnte die Versuchsbasis wesentlich erweitert werden. Dem Entwicklungsleiter dieser Werke, Dr.-Ing. FROEDE ist es zu verdanken, daß es in mühevoller Entwicklungsarbeit gelungen ist, einige Prototypen von Rotationskolbenmotoren als Verbrennungsmaschinen zu bauen, welche die Brauchbarkeit des Prinzips und der Konstruktion für einen Ottomotor unter Beweis stellten. Über den NSU-Wankel-Motor ist auf einer VDI-Tagung in München im Januar 1960 vor einem großen Kreis von Ingenieuren ausführlich berichtet worden [1 ÷ 4].

Die wesentlichen Merkmale

Der neue Rotationskolbenmotor von NSU-Wankel besteht im wesentlichen aus einem umschließenden Körper, dessen Mantellinie eine Epitrochoide ist, und einem umschlossenen Körper, dem sogenannten Läufer, der bei Drehbewegung mit seinen Ecken an

der Mantelfläche entlanggleitet. So werden kontinuierliche Räume mit veränderlichem Volumen gebildet, wie bei einem üblichen Verbrennungsmotor. Auf diese Weise werden die Ansaug-, Verdichtungs-, Expansions- und Ausschubvorgänge verwirklicht, genau wie bei einem Viertaktmotor.

Wenn der umschließende Körper und der umschlossene Körper eine Drehbewegung um ihre parallel zueinander liegenden Achsen ausführen, dann spricht man von *Drehkolbenmaschinen* (DKM), wenn der umschließende Körper jedoch feststeht, und der umschlossene Körper eine kreisende Bewegung ausführt, dann ist dafür die Bezeichnung *Kreiskolbenmaschine* (KKM) gewählt worden. Bei den NSU-Werken sind beide Bauarten entwickelt und erprobt worden. Beide Bauarten haben Vor- und Nachteile. Die Vorteile der KKM-Bauart — festes äußeres Gehäuse, eine Zündkerze, einfache Kühlmittelzuführung — haben dazu geführt, daß diese für die letzten Prototypen ausschließlich verwendet wird.

Wie entsteht eine Trochoide?

Eine Trochoide entsteht, wenn ein Rollkreis auf einem feststehenden Kreis abrollt; man spricht von einer Epitrochoide, wenn das Abrollen auf der Innenseite des feststehenden Kreises vor sich geht. Bei dem neuen NSU-Wankel-Motor handelt es sich um eine Epitrochoide. Ihr Entstehen ist in Bild 1 veranschaulicht.

Wir haben uns vorzustellen, ein außenverzahntes Rad R mit dem Durchmesser $2r$ und ein innenverzahntes Rad K mit dem Durchmesser $3r$; beide Räder stehen im Eingriff miteinander, wobei Rad R mit seiner Achse a rotiert. Das Rad K dreht sich um seine feststehende Achse i mit $\frac{2}{3}$ der Drehzahl von a und in gleicher Richtung. Abstand e ist die Exzentrizität. Stellt man sich nun an der Seitenfläche des Rades K einen Schreibstift P angebracht vor, dann zeichnet dieser bei der Drehung des Getriebes auf der mit R festverbundenen Ebene eine zweibogige Trochoide T auf.

Die Wirkungsweise des neuen Motors

In Bild 2 ist ein perspektivischer Schnitt und in Bild 3 im Schema die Wirkungsweise eines Kreiskolbenmotors mit einer Epitrochoide im feststehenden Gehäuse und einer inneren Hüllfigur in Form eines dreieckigen Läufers mit gewölbten Seiten dargestellt. In Bild 2 sind die umlaufenden Teile: Die Triebwelle (1) mit einem Exzenter, über welchen das Drehmoment auf die Triebwelle übertragen wird. (Der Exzenter ist im Bild 2 direkt nicht sichtbar, seine Lauffläche mag durch den Kreis (9) gekennzeichnet

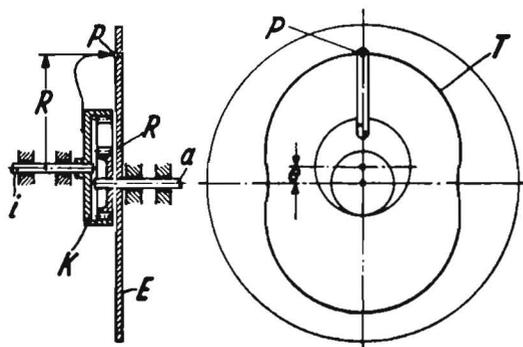


Bild 1: Entstehung einer zweibogigen Epitrochoide