

Roland GÜNTHER
Fachhoch Schule Münster

ENTWICKLUNGSTRENDS ZUR MAXIMIERUNG DER FÖRDERHÖHE BEI DER VERTIKALEN STETIGFÖRDERUNG VON SCHÜTTGÜTERN

Inhalt. Es wurden Beschränkungen im Einsatz von konventionellen mit Ketten, Stahlseilen und Gurten als Zugorganen dargestellt. Eine Anwendung von hochfesten Aramidseilen eröffnet neue Wege bei der Weiterentwicklung von vertikalen Stetigförderern.

TENDENCJE ROZWOJOWE W ZAKRESIE ZWIĘKSZANIA WYSOKOŚCI PODNOSZENIA W CIĄGŁYM TRANSPORCIE PIONOWYM

Streszczenie. Podano ograniczenia w zastosowaniu konwencjonalnych przenośników kubelkowych, w których organami pociagowymi są łańcuchy, liny stalowe lub taśmy. Zastosowanie wysoko wytrzymałych lin aramidowych umożliwia dalszy rozwój tych przenośników dla potrzeb transportu pionowego.

In vielen Bereichen der Industrie ist die vertikale Förderung von Schüttgütern anzutreffen, wobei die Vorteile der stetigen Förderung im Hinblick auf Maximierung der Förderströme günstigere wirtschaftliche, logistische und verfahrenstechnische Abläufe bei erheblich reduziertem Energiebedarf schon seit langer Zeit anerkannt sind.

Folgerichtig sind hierfür auf dem Gebiet der mechanischen Fördermittel Entwicklungen nachvollziehbar, die sämtlich auf einem der ältesten Fördermittel überhaupt beruhen, nämlich dem Becherwerk.

Grundsätzlich besteht das Becherwerk aus einem endlosen Förderstrang, der aus Ketten oder Gurten mit zugfesten Einlagen als Zugorgan und daran in mehr oder weniger großen Teilungsabständen befestigten Tragorganen gebildet ist. Dieser Förderstrang wird über eine obere und untere Umkehrstation geführt und je nach Art des Zugorgans an der oberen Umkehrstation formschlüssig oder kraftschlüssig angetrieben, was häufig auch eine externe Vorspannkraft voraussetzt.

Die Fördergutabgabe erfolgt schöpfend oder durch direkte Befüllung, während die Fördergutabgabe nach dem Schwerkraft- oder Fliehkraftprinzip erfolgt.

Schließlich gibt es Becherwerkskonstruktionen, die nach dem Prinzip der Innenförderung oder der Außenförderung gestaltet sind, wobei auch horizontale oder geneigte Fördererabschnitte vorkommen können.

Je nach Teilungsabstand der Tragorgane und in Abhängigkeit von der Fördergeschwindigkeit entsteht ein stetig pulsierender Förderstrom.

Neben konstruktiven Optimierungsbemühungen bei den Elementen und Baugruppen eines Becherwerkes sind Entwicklungstrends nachvollziehbar, die interessante artverwandte Konstruktionen mit kastengurtartigen Fördersträngen, wie z. B. das bekannte FLEXOWELL-System, hervorgebracht haben, und die sämtlich auch eine Maximierung der Förderhöhe zum Ziel haben.

Die Gründe hierfür sind naheliegend, denn es gibt in den Bereichen der Industrie der Steine und Erden, der Zementindustrie, der Beschickung von Hochsilos, im Bauwesen (Tiefbau) und insbesondere im Bergbau (Hauptschachtförderung, Zwischensohlenförderung und Tagebau) Anwendungen, in denen die grundsätzlichen Vorteile der stetigen Vertikalförderung von Schüttgütern ebenfalls genutzt werden sollen wie in den Bereichen, wo die Becherwerkstechnik bereits vorteilhaft etabliert ist.

In den 60-er Jahren galt ein Becherwerk mit 60m Förderhöhe für einen massenmäßigen Förderstrom von 600t/h als technische Spitzenleistung /1/.

Wissenschaftliche Untersuchungen u. a. zu den Themen „Befüllvorgang von Bechern“ und „Ermittlungen der Becherentleerungsvorgänge“ flankierten die Bemühungen zur Schaffung von Hochleistungsbecherwerken, die nicht allein durch eine Förderhöhe > 60 m, sondern auch durch massenmäßige Förderströme > 600t/h gekennzeichnet sind.

In den 80-er Jahren wurden Becherwerke der sogenannten konventionellen Bauart mit Stahlseilgurten als Zugorgan mit Förderhöhen bis zu 120 m ausgeführt und derzeit sind Förderhöhen von 132 m realisiert.

Es darf vermutet werden, dass die technischen Leistungsgrenzen dieser konventionellen Bauart nahezu erreicht sind, was in der sogenannten Reißlänge der Förderstränge begründet liegt.

Bei Becherwerken mit Ketten als Zugorgan wird die Maximierung der Förderhöhe nicht weiter verfolgt, da die Grenzwerte der Festigkeit bei ca. 60 m Förderhöhe bereits erreicht sind.

Die Förderhöhen bei den Becherwerken mit Stahlseilen als Zugträger in den Gurten werden durch die Festigkeitswerte der Endlosverbindungen begrenzt, für die zudem der Sicherheitsfaktor berücksichtigt werden muß. Die Problematik der Endlosverbindungen mit den rechnerisch nicht erfaßbaren Festigkeitswerten führt dazu, dass im stationären Betrieb ein Sicherheitsfaktor von $S = 9$ nicht unterschritten wird. Lediglich für Anfahrzustände unter Belastung gilt kurzzeitig ein Sicherheitsfaktor von $S = 6$ als kleinster zulässiger Grenzwert /3/.

Da ist es bemerkenswert, dass mit der Sonderausführung „POCKETLIFT“ der Firma *Svedala Flexowell Fördersysteme GmbH, Moers*, ein geradezu spektakulär anmutender Fortschritt im Bemühen der Maximierung der Förderhöhe gelungen ist (BILD 1).

Bei dem System „POCKETLIFT“ wird der Förderstrang aus zwei Stahlseilgurten gebildet, zwischen denen die Tragorgane (POCKETS) angeordnet sind. Die erhöhte Anzahl

von Stahlseilen in den Gurten sowie deren größere Baubreiten liefern entsprechend höhere Festigkeitswerte, so dass größere Förderhöhen möglich werden. Der derzeitige Maximalwert liegt bei 208m /4/.

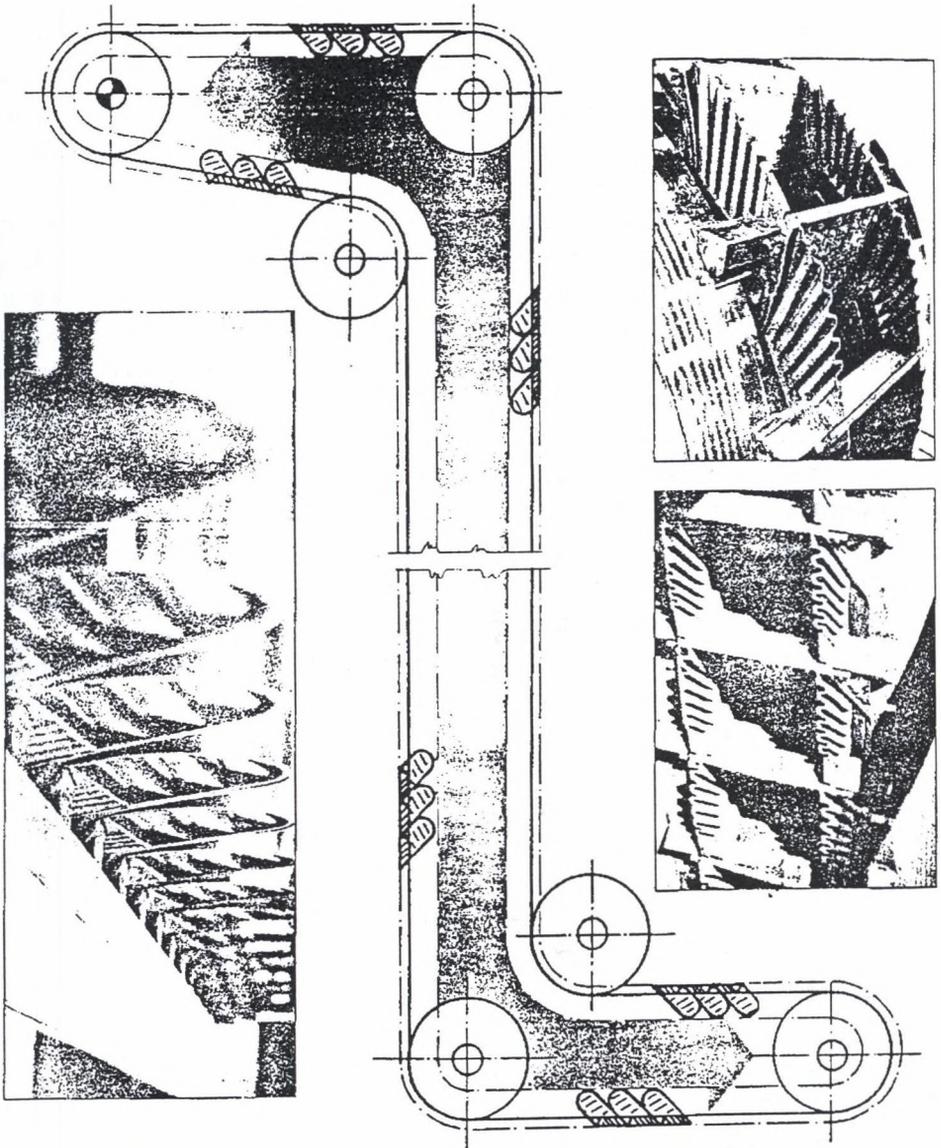


Bild 1. System POCKETLIFT
Rys.1. Przenośnik kubelkowy systemu POCKETLIFT

Wie bei jedem System signalisieren auch hier die Grenzwerte der Festigkeit des Förderstrangs die maximal erreichbaren Förderhöhen. Sofern der Förderstrang aus Stahlseilgurten gebildet wird, gibt es zu den zugehörigen Endlosverbindungen, die als unlösbar anzusehen sind, keine Alternative. Damit ist auch vorbestimmt, dass der Förderstrang werksseitig endlos geschlossen werden muß. In diesem Zustand muß er zum Einsatzort transportiert werden, was von Fall zu Fall eine technische Herausforderung bedeutet. Gleichermäßen stellt auch der Montagevorgang, also der Einbau des Förderstrangs in die Gerüstkonstruktion, einen aufwendigen Vorgang dar, der nur mit teuren technischen Hilfsmitteln möglich ist.

Nach einem einfachen Analogieschluß kann die Maximierung der Förderhöhe nur mit einer Minimierung der Eigenmasse des Förderstrangs unter Beibehaltung oder Erhöhung der Festigkeitswerte des Zugorgans und seiner Endlosverbindungen einhergehen, wobei die Einflüsse aus Förderlastanteil und Beanspruchungen des Förderstrangs infolge Fördergutaufnahme sowie sonstige Widerstände zunächst eliminiert bleiben. Insbesondere bleibt auch der ' Sicherheitsfaktor gegen Bruch des Förderstrangs bei dieser Betrachtung zunächst unberührt.

Die wesentliche Aufgabe besteht also in der Entwicklung eines leichten und hochfesten Förderstrangs.

Da in der Weiterentwicklung von Ketten und Fördergurten keine nennenswerten Fortschritte zu erwarten sind, hat sich die Entwicklung der Zugträger auf neue Elemente mit zugehörigen lösbaren Endlosverbindungen zu konzentrieren.

Die Zugträger, die bereits heute in hochfesten Gurten eingesetzt sind, nämlich Stahlseile, müssen dabei unberücksichtigt bleiben, weil deren Endlosverbindungen nur durch Langspleißverbindungen möglich sind, die ihrerseits als unlösbar gelten.

Zudem muß der Zugträger eines Förderstrangs aus mehreren Seilen gebildet werden, und bei großen Förderhöhen ist dann davon auszugehen, dass die Fertigungslängen der Seile Differenzen aufweisen werden, was zu unterschiedlichen Beanspruchungen und damit zu erheblichen Unsicherheiten führen muß.

Daraus leitet sich für die notwendigen Entwicklungen eine weitere Forderung ab, dass nämlich die lösbare Endlosverbindung für Seile deren unterschiedliche Fertigungslängen auszugleichen vermag.

Was die Zugträger Seile selbst betrifft, ist davon auszugehen, dass Stahlseile ungeeignet sind. Im Zusammenwirken mit Klemmverbindungen zur Befestigung von Tragorganen für das Schüttgut sowie mit einer lösbaren Endlosverbindung wurden einschlägige Prüfstandsversuche unter praxisnahen Beanspruchungen durchgeführt, wobei eine erforderliche Lebensdauer der Stahlseile nicht ermittelt werden konnte /2/.

Hingegen stellten sich bei der gleichartigen Erprobung von Seilen aus Aramiden wesentlich günstigere Ergebnisse ein, die Fortsetzung der Entwicklungsaktivitäten zur Maximierung der Förderhöhe bei der vertikalen Stetigförderung rechtfertigen.

Hochtestfaserseile aus Aramiden

Die Entwicklung der High-Tech-Faser „Aramid“ begann bereits 1938 mit der Erfindung des Nylons der *Firma Du Pont* und wurde seither konsequent weiterverfolgt.

Hochfestfasern bestehen aus Makromolekülen. Alle Makromoleküle enthalten immer mindestens eine, sich durch das ganze Molekül hindurchziehende Kette aus miteinander verknüpften Atomen. Diese Kette bildet das „Rückgrat“ der makromolekularen Verbindung. Das Aramid ist ein aromatisches Polyamid und besitzt ein makromolekulares Gefüge.

Neben dem Begriff des Makromoleküls wird meist ohne weitere Differenzierung der Begriff des Polymers verwendet. Die Dichte kristalliner Polymere ist relativ hoch und ihr spezifisches Volumen folglich niedriger, wobei die Dichte amorpher und kristalliner Polymere bis zu 15% differieren kann. Eine dichte Packung ist Grundvoraussetzung für hohe Festigkeit.

Die Aramidfaser wird im Schmelzspinnverfahren hergestellt und nachfolgend verstreckt bzw. fixiert. Um hochfeste Polymerfasern zu erhalten, muß bei der Herstellung für eine möglichst vollständig gestreckt-kettige und parallele Ausrichtung der Kettenmoleküle gesorgt werden.

Im Gegensatz zum Stahl und seinem atomaren Gitteraufbau bestehen die Hochfestfasern aus eindimensionalen, langgestreckten Molekülketten mit äußerst stabilen kovalenten Bindungen in Zugrichtung und schwachen Wasserstoffbrückenbindungen in der Querachse. Diese letztgenannten Bindungen bewirken derzeit eine noch relativ geringe Querfestigkeit der Faser.

Die hohe Festigkeit in Zugrichtung steht in unmittelbarer Abhängigkeit zum Orientierungsgrad der Polymerketten. Je besser die Ketten in Faserrichtung parallelisiert sind, desto höhere Festigkeiten werden erreicht. Daher sind besondere Polymere, die sich aufgrund ihrer Kettensteifigkeit während der Verarbeitung selbst orientieren, zur Ausbildung hochfester Fasern prädestiniert.

Die Hochfestfaser Aramid vereint im besonderen Maße die physikalischen, chemischen und thermischen Eigenschaften. Die Aramidseile bieten zahlreiche Vorteile wie niedriges spezifisches Gewicht, gute Verarbeitbarkeit und Korrosionsbeständigkeit.

Das Aramid erzielt bereits weitaus höhere Festigkeitswerte bei vergleichbarem Dehnungsverhalten zum Stahl. Der hohe E-Modul und ein sehr geringes Kriechen unter Last runden das sehr positive, aber noch nicht abschließend erforschte Bild dieses innovativen Werkstoffes ab.

Der Entwicklungsstand z.B. auf dem Gebiet der Anwendungsforschung von Seilen aus Hochfestfasern, speziell aus Aramiden, empfiehlt dieses Bauelement neuerdings dort, wo Alternativen (Stahlseile, Ketten, Gurte usw.) nicht oder nur bedingt geeignet sind.

Durch die Entwicklung von Klemmverbindungen, die als Lastaufnahmemittel oder Mitnehmer gestaltet werden können, und die zudem Seilscheiben problemlos passieren, sind neuartige Fördermittel vorstellbar. Hierzu gehört auch die Entwicklung und Erprobung von

lösbaren Endlosverbindungen für diese neuartigen Zugelemente, die ebenfalls Seilscheiben problemlos, d.h. ohne nennenswerten Polygoneffekt, passieren können.

Die grundsätzlich vorstellbaren neuartigen Fördermittel gehören also wesentlich I zu den mechanischen Stetigförderern, die durch einen endlos verbundenen Förderstrang gekennzeichnet sind. Dieser Förderstrang basiert auf Seilen aus Hochfestfasern als Zugorgan, an denen in Abständen Tragorgane befestigt sind.

Die Langzeiterprobung zur Ermittlung der Lebensdauer eines typischen Förderstrangs in praxisnaher Größenordnung und unter realistischen Beanspruchungen erfolgte, nachdem die Seile aus Hochfestfasern ihrerseits beim Seilhersteller mit allen seiltypischen Beanspruchungen, die bei Anwendungen in der Fördertechnik erwartet werden müssen, mit zum Teil spektakulär positiven Ergebnissen getestet wurden.

Diese Erkenntnisse führten zwischenzeitlich zu mehreren Seilkonstruktionen, von denen besonders auf die Ausführung **COSA** (BILD 2) verwiesen wird.

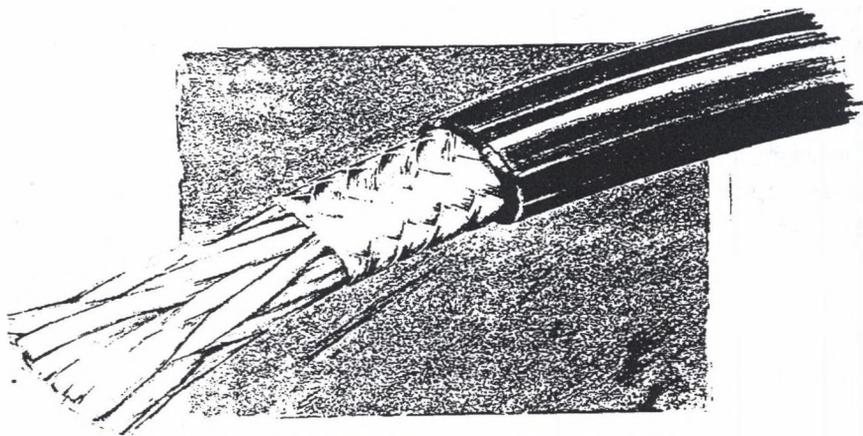


Bild 2. Aramidseil, Typ: COSA
Rys.2. Lina aramidowa typu COSA

Die **COSA**-Ausführung gilt als absolut drehungsfrei, was in der geflochtenen Seilmachart begründet liegt. Besonders bemerkenswert ist, dass Aramidseile bei hoher Festigkeit sehr leicht sind und ein annähernd lineares Spannungs - Dehnungs - Verhalten aufweisen, bei einer Bruchdehnung, die der von Stahlseilen entspricht.

Zudem weisen Aramidseile eine hohe Biegewechselfestigkeit und insbesondere eine deutlich höhere Lebensdauer als vergleichbare Zugorgane innerhalb eines Betriebstemperaturbereiches von -50°C bis $+150^{\circ}\text{C}$ auf.

Die Beständigkeit gegenüber allen üblichen korrodierenden Einflüssen ist als sehr gut zu bezeichnen, ebenso die Widerstände gegenüber abrasiven Beanspruchungen.

Die Erprobung eines typischen Förderstranges erfolgte auf einem Versuchsstand und beschränkte sich auf die Ermittlung der Zahl der Umläufe als Kriterium für die Lebensdauer der Seile im Zusammenwirken mit den Seilklemmverbindungen und der lösbaren Endlosverbindung.

Die überaus positiven Ergebnisse wurden nachträglich bei anderen Anwendungen nicht nur bestätigt, sondern noch überboten.

Es ermutigte zu konsequenten Produktentwicklungen, bei denen als Zugorgane nunmehr Aramidseile in Zusammenwirkung mit entsprechend gestalteten Zubehörteilen und wenigstens einer Endlosverbindung vorgesehen wurden.

Produktinnovationen mit aramidseilen

Grundsätzlich sind diese Produktinnovationen durch das gemeinsame Merkmal gekennzeichnet, dass der Förderstrang aus mehreren parallel angeordneten Seilen besteht, die durch mindestens eine lösbare Verbindungskonstruktion endlos geschlossen sind.

In mehr oder weniger großen Abständen befinden sich Klemmverbindungen an den Seilen, an denen diverse Tragorgane befestigt werden können. Gleichzeitig ist an den Klemmverbindungen die Befestigung von Führungselementen für eine gleitende oder rollende Führung des Förderstrangs möglich.

Nach der Lehre kraftschlüssig angetriebener Systeme ist ein derartiger Förderstrang mit einer Spannvorrichtung zu versehen, die ebenso wie diverse Um- und Ablenkstationen durch eine einfache Seilscheibe mit entsprechend vielen Seilrillen ausgeführt wird. Das Problem seitlicher Verschiebungen des Förderstrangs, wie z.B. bei einem System Band/Tommel, ist hierbei nicht zu erwarten.

Ein derartiger Förderstrang kann auch mehrere lösbare Endlosverbindungen aufweisen, so dass Montage- und Demontearbeiten leicht durchgeführt werden können. Somit sind auch nachträgliche Verlängerungen des Förderstrangs oder auch partielle Auswechslungen bei eventuellen Schadensfällen möglich.

Die Flexibilität des Förderstrangs erlaubt Linienführungen mit Kurven in vertikaler Ebene. Grundsätzlich sind auch Linienführungen in sphärischer Richtung und mit zahlreichen Um- und Ablenkungen möglich, ohne dass sich z.B. Polygoneffekte nachteilig auswirken.

Besonders bemerkenswert ist die Tatsache, dass die lösbare Endlosverbindung für eine erforderliche Anzahl von Seilen gestaltet werden kann und dass unterschiedliche Herstellungstoleranzen der Seile stufenlos ausgeglichen werden können.

Weiterhin ist die lösbare Endlosverbindung so dimensioniert, dass sie die Betriebsfestigkeit entsprechend der jeweiligen Seilanzahl erträgt. Damit ist ein Merkmal gewährleistet, das allein für sich genommen eine deutliche Erhöhung der Förderhöhe begründet /5/.

Dieses Merkmal und die Tatsache, dass aus Aramidseilen gebildete Zugträger bei einem Fördermittel für die stetige vertikale Schüttgutförderung eingesetzt werden, ermutigt zu der Prognose, dass Förderhöhen von bis zu 1000 m mittelfristig nicht als Utopie erscheinen. Dabei werden Förderströme von bis zu 800 t/h gefördert werden können.

Auf der Grundlage heutiger Erkenntnisse sind bereits auf der Basis des erwähnten POCKETLIFTs Entwicklungsaktivitäten für ein Fördermittel begonnen worden, bei dem die Stahlschlurpe durch Zugorgane aus Aramidseilen ersetzt sind.

Parallele Entwicklungen von Fördermitteln mit Aramidseilen als Zugorgan haben z. B. im Aufzugsbau für die Personenförderung bereits die ~Praxisreife erreicht /6/. Dem hierbei erforderlichen Bedürfnis nach Bauteilsicherheit wird man insofern gerecht, als in das Aramid eine Kohlenstoff-Faser eingeflochten ist, die elektrisch leitet und Faserrisse meldet.

Auch die Kontrolle der Betriebsdehnung kann als Kriterium für die Ablegereife dienen. Aramidseile können vor ihrem Einsatz auch statisch oder dynamisch vorgereckt werden, wodurch die konstruktionsbedingte Dehnung weitestgehend eliminiert werden kann.

Der Werkstoff Aramid ist darüber hinaus in anspruchsvollen Bereichen der Technik wie z. B. in der Luft- und Raumfahrt, der Ozeanographie und in der Sicherheitstechnik bereits etabliert.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass die Maximierung der Förderhöhe bei der vertikalen Schüttgutförderung mit mechanischen Fördermitteln gegenüber dem Stand der Technik um ein mehrfaches möglich ist, wenn bei den einschlägigen Entwicklungsaktivitäten Aramidseile als Zugträger mit dazugehörigen Klemmverbindungen und lösbaren Endlosverbindungen berücksichtigt werden.

Das Erreichen derart extremer Förderhöhen bedeutet selbstverständlich, dass die Linienführung des Förderstrangs so einfach wie möglich gestaltet werden muß, damit Umlenkungen und Ablenkungen auf ein Mindestmaß reduziert und Wechselbiegungen des Förderstrangs möglichst ganz vermieden werden.

Die typischen L- und S-förmigen Linienführungen, die besonders gut mit Wellkantengurtförderern und dem System POCKETLIFT realisiert sind, sollten also mit Rücksicht auf die wechselnden Umlenkungen bei Seilfördermitteln im Extrembereich vermieden werden. Dieser Kompromiss muß jedoch nicht nachteilig im Hinblick auf Fördergutbeschickung und -entleerung gesehen werden.

Bei der sogenannten Innenförderung ist eine problemlose Beschickung der Tragorgane in einem horizontalen Fördererabschnitt möglich, während die Entleerung ebenso problemlos nach dem Schwerkraftprinzip erfolgt (BILD 3).

Der geordnete Befüllvorgang und die garantierte Entleerung der Tragorgane werden die Kriterien für die maximale Fördergeschwindigkeit liefern. Diese wird je nach Länge der Entleerungsstrecke im Bereich von 0,8 bis 1,5 m/s liegen, was die massenmäßigen Förderströme auf ca. 600 t/h begrenzen könnte.

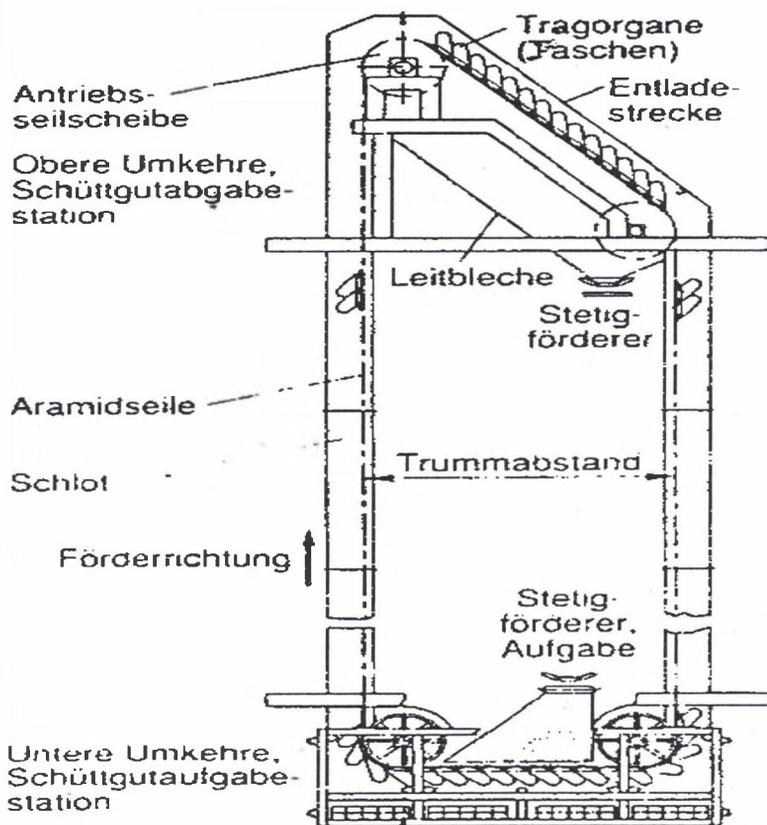


Bild 3. ROPE-POCKET-CONVEYOR; Innenförderung

Rys.3. Transportowanie wewnętrzne przenośnikami ROPE-POCKET

Werden höhere Förderströme gefordert, so ist parallele Anordnung von 2 Seilfördermitteln zu prüfen, für die der Begriff ROPE-POCKET-CONVEYOR gebraucht wird.

Derart konzipierte Fördermittel sind grundsätzlich auch für L- und S-förmige Linienführungen gestaltbar, jedoch muß der Förderstrang dann zusätzlich mit Führungsseilen ausgerüstet werden.

Damit erhöht sich natürlich die Eigenmasse des Förderstrangs, was zu Lasten der erreichbaren Förderhöhe geht. Auch die Kosten erhöhen sich.

Ein Förderstrang mit Führungsseilen läßt aber eine Außenförderung mit deutlich höheren Fördergeschwindigkeiten und eine Entleerung der Tragorgane nach dem Fliehkraftprinzip zu, was zu höheren massenmäßigen Förderströmen führt (BILD 4).

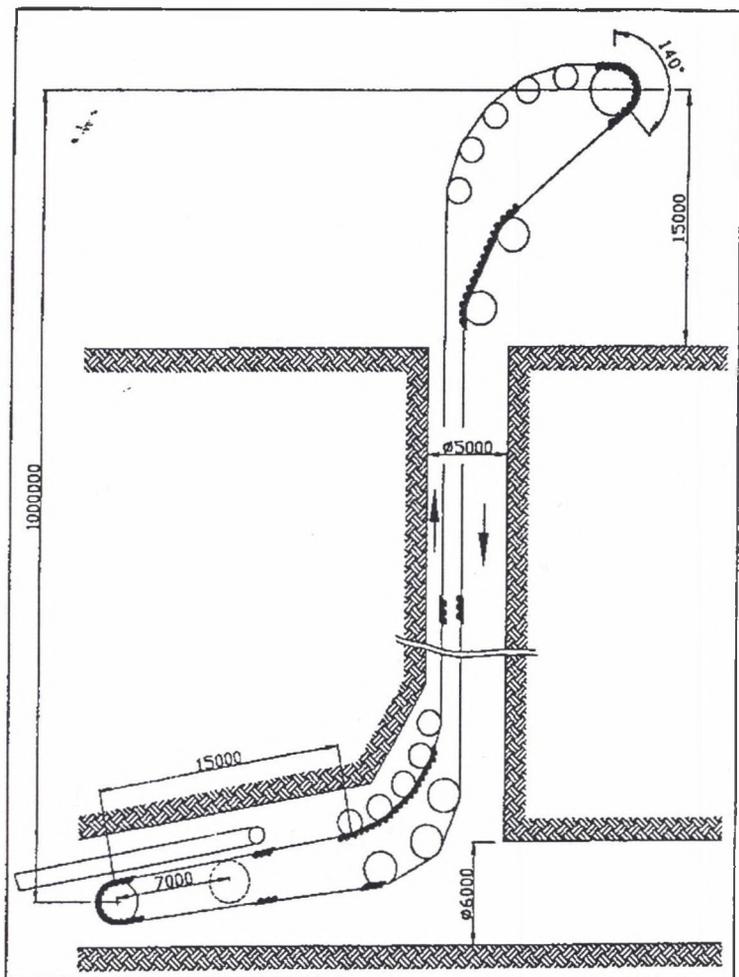


Bild 4. ROPE-POCKET-CONVEYOR; Außenförderung
 Rys4. Transportowanie zewnętrzne przenośnikiem ROPE-POCKET

SCHRIFTTUM

1. Aumund / Mechthold: Hebe- und Förderanlagen. Springer-Verlag 1969, 5. Auflage
2. Günther R.: Seilfördermittel für die Seigerförderung von Schüttgütern. Glückauf-Forschungsihefte 52 (1991) Nr. 3
3. Lauhoff H.: Neufassung der VDI 2324 – Senkrechtbecherwerke. Fachtagung Schüttgutförderertechnik 2000, TU München
4. Paelke J. W.: Progress with Continuous Steep Angle and Vertical Conveying. bulk solids handling, No. 1, 1996

5. Günther R.: Rope – Guide – Conveyor – neue Fördermittel für Schütt und Stückgüter. Hebezeuge und Fördermittel, Berlin 37 (1997) 12
6. Mrusek K.: Nach gut hundert Jahren löst sich der Lift vom Stahlseil. Frankfurter Allgemeine Zeitung, 6. Mai 2000, Nr. 105, S. 20

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Marian Dolipski

Omówienie końcowe

Po przedstawieniu zasady transportu nosiwa za pomocą przenośników kubelkowych podano graniczne wysokości podnoszenia przenośnikami konwencjonalnymi z łańcuchowymi bądź taśmowymi organami pociagowymi. Granice wysokości podnoszenia wyznacza wytrzymałość organu pociagowego na rozciąganie. Jako alternatywę dla dotychczas stosowanych łańcuchów, lin stalowych czy taśm przedstawiono wysoko wytrzymałościowe liny aramidowe. Stworzenie oryginalnych połączeń kubelków z linami aramidowymi otworzyło drogę do powstania nowych przenośników kubelkowych o zwiększonych wysokościach podnoszenia. Łatwość rozłącznego mocowania kubelków do lin aramidowych oraz podatność tych lin umożliwia tworzenie dowolnej konfiguracji drogi transportu. Zwiększaniu wysokości podnoszenia (prognozy przewidują nawet 100 m przy wydajności 800 t (h)) musi towarzyszyć uproszczenie konfiguracji transportowej. O maksymalnej prędkości transportowania tymi przenośnikami decyduje zjawisko opróżniania kubelków.