



**Diplomarbeit**

# Schachtförderanlagen deren Auslegung Konstruktion und Sicherheitsnormen

Von  
Liu Bin

25. Februar 2015

Lehrstuhl für Fördertechnik und Konstruktionslehre  
Montanuniversität Leoben

# Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Leoben, den 04. Februar 2015

Liu Bin

# Abstract

Mine hoists are known in the mining industry as the conveyor of products, offset, materials and people. In this thesis, a literature search based on the current state of technology is represented in terms of mine hoists and important plant parts.

The first part of this thesis deals with the design, construction, substantial variations and basis of calculation of the various components in accordance with the applicable technical regulations.

In the second part, the safety of shaft hoisting ropes has been discussed. The focus here is on operational aspects such as damage, monitoring, auditing and discard criteria of the hoist ropes. The consideration of various safety standards is also presented in the form of a comparison.

# Kurzfassung

Als Schachtförderanlage bezeichnet man im Bergbau das Fördermittel von Produkten, Versatz, Material und Personen. In dieser Diplomarbeit wird anhand einer Literaturrecherche der aktuelle Zustand der Technik in Bezug auf Schachtförderanlagen und wichtigen Anlagenelementen dargestellt.

Der erste Teil der Diplomarbeit befasst sich mit der Auslegung, Konstruktion, den wesentlichen Varianten und Berechnungsgrundlagen der verschiedenen Komponenten nach geltenden technischen Regeln.

Im zweiten Teil der Arbeit wird die Sicherheit der Schachtförderseile behandelt. Im Mittelpunkt stehen betriebliche Aspekte wie Schäden, Überwachung, Prüfung und Ablegekriterien der Förderseile. Dabei wird auch die Betrachtung verschiedener Sicherheitsnormen in einem Vergleich vorgestellt.

# Inhaltverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>3</b>
1.1 Überblick.....	3
1.2 Ziele der Arbeit .....	5
<b>2 Schachtförderanlagen und ihrer Elemente</b> .....	<b>6</b>
2.1 Gesamtanlagen .....	6
2.1.1 Förderleistung und Nutzlast.....	8
2.1.2 Fördergerüst und Förderturm .....	10
2.2 Fördermaschinen.....	14
2.2.1 Seilträger .....	15
2.2.2 Antrieb .....	25
2.2.3 Bremssysteme.....	26
2.3 Fördermittel .....	29
2.3.1 Fördergefäße.....	29
2.3.2 Fördergestelle .....	31
2.4 Förderseile und entsprechende Elemente .....	32
2.4.1 Förderseile .....	32
2.4.2 Zwischengeschirre .....	36
<b>3 Berechnungsnachweise</b> .....	<b>39</b>
3.1 Ermittlung Hauptdaten einer Fördermaschine .....	39
3.2 Ermittlung des Förderseils .....	40
3.3 Ermittlung der Scheibenbremse .....	42
3.4 Ermittlung des Seiltrommelens .....	43
3.5 Ermittlung des Seilrutschens .....	44
<b>4 Sicherheit des Förderseiles</b> .....	<b>47</b>
4.1 Seilschäden .....	47
4.2 Überwachung und Wartung.....	51

4.3 Seilprüfung .....	51
4.3.1 Magnetinduktive Seilprüfung .....	52
4.3.2 Visuelle Seilprüfung.....	55
4.3.3 Vergleich des Prüfverfahrens .....	57
4.4 Ablegekriterien.....	57
4.4.1 Drahtbruchzahl .....	58
4.4.2 Seildurchmesser.....	58
<b>5 Sicherheitsnormen .....</b>	<b>60</b>
<b>6 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>63</b>
<b>Formelzeichen.....</b>	<b>65</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>68</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>70</b>
<b>Normenverzeichnis.....</b>	<b>72</b>
<b>Anhang 1 .....</b>	<b>75</b>
<b>Anhang 2 .....</b>	<b>76</b>
<b>Anhang 3 .....</b>	<b>77</b>
<b>Anhang 4 .....</b>	<b>78</b>
<b>Anhang 5 .....</b>	<b>79</b>
<b>Anhang 6 .....</b>	<b>80</b>

# 1 Einleitung

Schachtförderanlagen sind im Bergbau eingesetzte Fördermittel, die auf die Bewegung großer Lasten über größere seigere Distanzen in den Schächten von Bergwerken ausgelegt sind. In Bezug auf ihre Arbeitsweise zählen Schachtförderanlagen in der Fördertechnik zu den un stetigen Förderern, damit ähneln sie prinzipiell den Aufzulanlagen. Zentrale Aufgabenstellung dieser Diplomarbeit ist die Erfassung der Konstruktionsauslegungen und Berechnungsunterlagen von verschiedenen Komponenten einer Schachtförderanlage.

## 1.1 Überblick

Schachtförderanlagen werden bei dem Transport von Gut (Güterfahrt) und Personen (Seilfahrt), mit angepassten Geschwindigkeiten (*bis*  $20\text{ m/s}$ ) und Seilsicherheiten betrieben. In Deutschland sind Teufen bis etwa  $1000\text{ m}$  möglich, wobei insbesondere in der Gold- und Edelsteingewinnung Schächte von bis zu  $3000\text{ m}$  bekannt sind. Diese müssen allerdings noch durch mehrere hintereinander angeordnete Schachtförderanlagen erschlossen werden. [Dubbel et al. 2007]

Eine andere Definition von Schachtförderung ist: Förderung in Schächte einschließlich Beschickung im Füllort und auf der Hängebank. Daraus lässt sich ableiten: Die Schachtförderanlage umfasst alle Maschinen und Einrichtungen, die zur Durchführung der Schachtförderung bei Einhaltung der Vorschriften erforderlich sind. [Pajer 1976-]

Eine standardisierte Einteilung gibt es nicht. Sie ist sehr vielfältig und erfolgt meist nach folgenden Merkmalen:

### Förderzweck:

- Hauptschachtförderanlage: Förderung von Fördergut, oft kombiniert mit Seilfahrt (Beförderung von Personen).
- Nebenschachtförderanlage: Förderung von Material, oft kombiniert mit Seilfahrt; Wetterförderung

### Ausbringungsort des Förderguts:

- Tagesschachtförderanlage: Das Fördergut wird nach Übertrage ausgebracht.
- Blindschachtförderanlage: Das Fördergut wird nur untertage umgesetzt

und verbleibt untertage oder wird mit einer anderen Förderung nach Übertage gebracht.

Anzahl der Fördertrume:

- Eintrumige Schachtförderanlage: In einem Trum befindet sich der Fördergutträger, im anderen Trum eine Gegenlast.
- Zweitrumige Schachtförderanlage: In jedem Trum befindet sich ein Fördergutträger.

Art des Fördergutträgers: Gestellförderanlage; Gefäßförderanlage.

Anzahl der Förderseile am Fördergutträger: Einseilförderanlage; Mehrseilförderanlage.

Der über 1 Jahrhundert lange Weg der Entwicklung größerer Schachtförderanlagen führte von den meist mit Dampf oder Druckluft betriebenen Antriebsmaschinen verschiedenartiger Typen, wie Haspel, Bobinen, Trommel und Treibscheibenfördermaschinen, zu elektrischen Treibscheibenmaschinen mit mehreren Seilen. In Tab.1.1 wird die geschichtliche Entwicklung für Schachtförderanlagen gezeigt. [Arnold 1981]

Technik	Beginn der Anwendung	Beispiel
Handgöpel	Mit dem Beginn des Teufens von Schächten	Brigitte Tagschacht
Pferdegöpel	15. Jh., wieder ab 1784	Sonnenwirbel Fundgrube, Daniel Fundgrube
Kehrradgöpel	ab ca. 1500 ab 1853	Parzifal Fundgrube Weißer Hirsch Fundgrube
Turbinengöpel	ab 1853	Gesellschafter Zug
Wassersäulengöpel	ab 1855	Schindler Richtschacht
Dampfgöpel	ab 1875	Neujahrschacht
Elektrische Förderanlage	ab 1912	Sauschwart Fundgrube

Tabelle 1.1 Geschichtliche Schachtförderung

Im heutigen Bergbau erfolgt die Schachtförderung mit leistungsfähigen elektrischen Fördermaschinen, deren Förderleistung deutlich über den Antrieben der anderen Förderungen liegen. Die Schachtbeschickung wird entweder manuell gesteuert oder erfolgt automatisch, das Gleiche trifft auf die Steuerung der Fördermaschinen zu. Je nach Teufe lassen sich mit solchen Fördereinrichtungen täglich mehrere zehntausend Tonnen an Material und Rohstoffen aus der bzw. in die Grube fördern.



## 1.2 Ziele der Arbeit

Die Ziele der Arbeit umfassen folgende Punkte:

- Literaturrecherche über Ausführungsvarianten von Schachtförderanlagen
- Übersichtliche Darstellung und Diskussion der einzelnen Varianten
- Betrachtung der Berechnungsgrundlagen der verschiedenen Komponenten
- Übersicht über Seilschäden, Seilprüfung und Seilablege
- Vergleichendem Nachdenken der geltenden Sicherheitsnormen für Schachtförderanlagen

# 2 Schachtförderanlagen und ihrer Elemente

In Rahmen dieses Kapitels wurde versucht durch eine systematische Vorgehensweise eine bestmögliche Darstellung der Konstruktionsauslegung anzustreben. Außer Gesamtförderanlagen werden in diesem Teil die wichtigsten Entwicklungen der Anlagenelemente und mehre mechanischen Einrichtungen einer Schachtförderung herausgestellt.

## 2.1 Gesamtanlagen

In Bezug auf ihre Arbeitsweise zählen Schachtförderanlagen in der Fördertechnik zu den Unstetigförderern. Der konventionelle Schachtförderer nimmt eine wichtige Rolle im Transportsystem eines Bergwerkes mit Haupt- und Blindschächten ein. Durch zunehmende Teufen und die Leistungssteigerungen der Abbaubetriebe werden auch an die Schachtförderanlagen und insbesondere an Zentralschachtförderanlagen ständig höhere Anforderungen gestellt. Die Schachtförderanlagen können sich in Einsatzbereich nach Teufe, Nutzlast, Förderleistung oder Seilgeschwindigkeit unterscheiden.

Der grundsätzliche Aufbau einer Schachtförderanlage ist im Abb.2.1 dargestellt. Das Fördergut wird mit Förderband oder Wagenförderung der Füllanlage zugeführt. In der Messtasche wird jeweils eine Gefäßfüllung dosiert und in das vorstehende Fördergefäß entleert.

Übertage erfolgt die Entleerung des Fördergefäßes automatisch durch Einfahren in die Entladekurve. Das Fördergestell befindet sich auf der Füllortsohle und wird durch Aufschieben von Förderwagen mit Hilfe arbeitender Aufschiebe Einrichtungen beschickt.

Dabei werden im Normalfall mit den Vollwagen die Leerwagen nach der an der Seite durchgestoßen. Übertage werden anderen Hängebank mit den gleichen Einrichtungen Leerwagen auf- und Vollwagen vom Fördergestell abgeschoben.

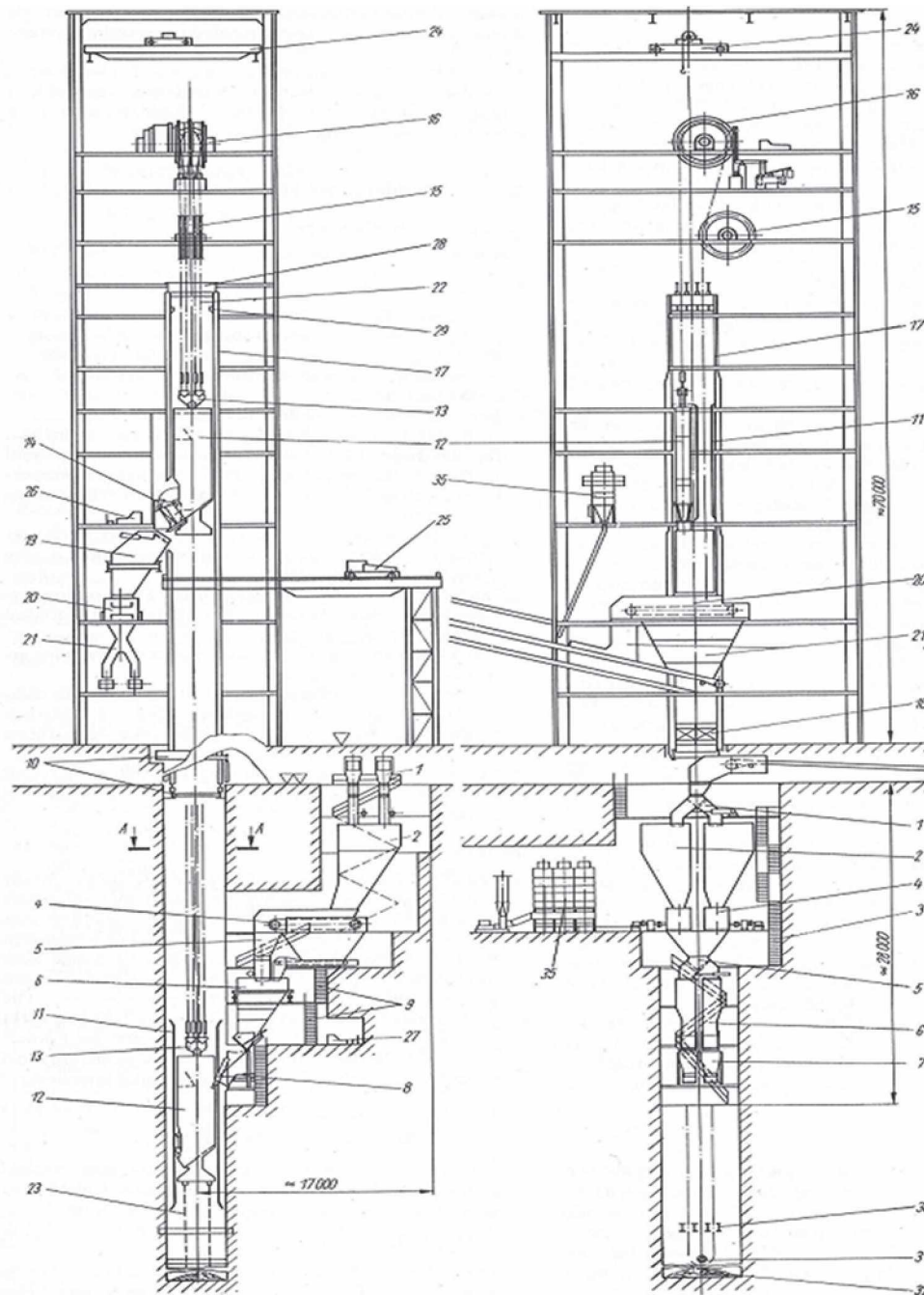


Abb.2. 1 Gesamtschachtförderanlage

- 1 Verteiler für Vorbunker; 2 Vorbunker; 3 Bühnen und Treppen; 4 Plattenabzugsbänder; 5 Verteiler für Füllanlage; 6 Messtasche; 7 Überleitungsschurre; 8 Überbrückter; 9 Bühnen und Treppen; 10 Schachtstühle; 11 Eckführungen; 12 Fördergefäß; 13 Zwischengeschirre; 14 Entladekurve für Fördergefäß; 15 Ablenkscheiben; 16 Fördermaschine; 17 Führungsgerüst; 18 Schachttore; 19 Entladebunker; 20 Abzugsband; 21 Ablaufschurren; 22 Oberseile; 23 Unterseile; 24 Kran für Fördermaschine; 25 Kran für Fördergefäße; 26 Entladewarte; 27 Füllstellenwarte; 28 Prellträger; 29 Fangstützen; 30 Aufsetzträger; 31 Buchholz; 32 Schachtsumpf; 33 Entstaubungsanlagen; ▽ Übertage; ▽ ▽ Untertage

Die wesentlichen Elemente und Gesichtspunkte, die bei der Planung und beim Bau von Schachtförderanlagen berücksichtigt werden müssen, sind nachfolgend aufgeführt:

- Art des Fördergutes
- Förderleistung
- Beschaffenheit des Schachtes
- Untertageanlage
- Übertageanlage
- Seile, Zwischengeschirre, Fördermittel,
- Fördermaschine, Mechanischer und elektrischer Teil der Gesamtanlage
- Einrichtungen zur sicherheitlichen Überwachung der Seilfahrt-, Förder- und Materialtransportzüge

Bei der baulichen Ausführung bestehen jedoch große Unterschiede im Hinblick auf die Dimensionierung und Anordnung ihrer wesentlichen Komponenten:

- Fördermaschine
- Fördergerüst oder Förderturm mit den Seilscheiben
- Fördergutträger
- Förderseil und Führungseinrichtung

## 2.1.1 Förderleistung und Nutzlast

Unter Förderleistung versteht man die stündliche Fördermenge, die manchmal auch als Förderkapazität bezeichnet wird. Als ein wichtiger entscheidender Faktor für die Kapazität des gesamten Bergbaus muss die Förderleistung der Schachtförderanlage in der Konstruktionsausführung berücksichtigt werden. Die Nutzlast im Bauwesen zeigt die Last, die mit einem Fördermittel aufgenommen und transportiert werden kann. D.h. die Förderleistung der Schachtförderanlage ist abhängig von die Nutzlast bzw. der Fördergeschwindigkeit (Förderzeit).

Die durch die Anpassung an die Hochleistungsgewinnungsbetriebe notwendigen Leistungssteigerungen werden bei der Schachtförderung durch Nutzlast- und nur in geringem Maße durch Fördergeschwindigkeitserhöhungen erzielt (Abb.2.2).

Die Möglichkeit der Erhöhung der Fördergeschwindigkeit bedeutet nicht mehr, da die Fördergeschwindigkeit mit maximal 20 m/s in Österreich oder Deutschland eine Grenze darstellt [TAS], die bei einer Verschiebung von 20 auf 25 m/s nur etwa 10% erbringen würde. Mit den größeren Nutzlasten steigen

die Belade- und Entladezeiten beträchtlich. Hier müssen noch durch neue Konzeptionen, wie zum Beispiel: Doppelgefäße, Verbesserungen erzielt werden.

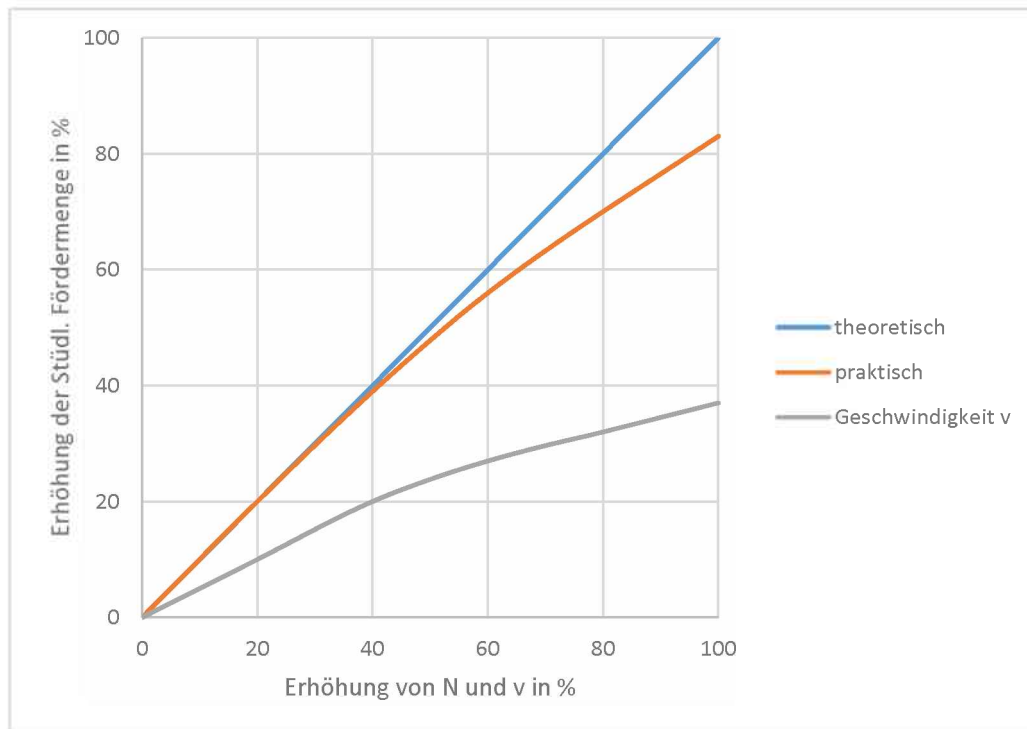


Abb.2. 2 Einfluss der Erhöhung von Nutzlast und Geschwindigkeit auf die Stündliche Fördermenge

Eine andere Einflussgröße auf der Förderleistung der Schachtförderanlage ist die Teufe. In Abb.2.3 wird der Relation Nutzlast zu Seilzug als Funktion der Teufe von Ein-, Zwei-, Vier- und Sechsseilförderanlagen gezeigt. Man erkennt deutlich den starken Abfall des prozentualen Anteiles der Nutzlast am Gesamtgewicht bei zunehmender Teufe.

Aus den Diagrammen ist klar zu erkennen, dass die zunehmende Teufe das größte Hemmnis bei der Förderleistungssteigerung der Schachtförderanlagen darstellt. Die wachsende Teufe vergrößert nämlich nicht nur die Förderzugzeit, sondern besonders auch die dynamischen Beanspruchungen der bewegten tragenden Elemente einer Schachtförderanlage. [Arnold 1981]

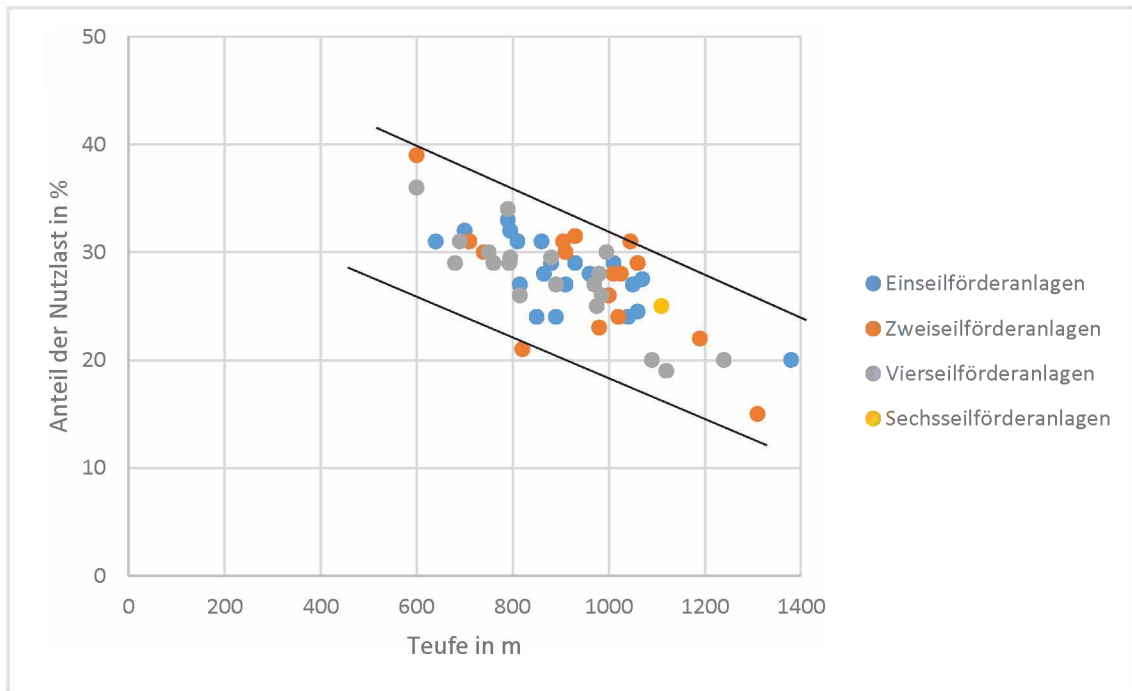


Abb.2. 3 Relation Nutzlast zu Seilzug im Nutzlasttrum als Funktion der Teufe

Zurzeit ist die Automatisierung der Güterförderung kein Problem mehr. Die Entwicklung der Automatisierung der Seilfahrt wird in verschiedenen Varianten betrieben. In den meisten Fällen ist dieser Anlagentyp mit Mehrseilscheibe und mit Gefäßen ausgerüstet. Die Leistungsdaten für moderne Schachtförderanlagen:

- bis zu 60 t Nutzlast
- bis zu 20 m/s Fördergeschwindigkeit
- bis zu 10 Seile
- bis zu 3000 m Teufe
- Motorleistung über 13 MW

Bei einer Zentralschachtanlage werden überwiegend zum Transport des Fördergutes Gefäßförderanlagen eingesetzt. Bei unterschiedlichen Förderaufgaben für eine Anlage- also Seilfahrt, Materialtransport und Güterförderung werden die Gestellförderanlagen verwendet.

## 2.1.2 Fördergerüst und Förderturm

Bei der Planung und Ausführung von Schachtförderanlagen ist stets die wichtige Frage zu entscheiden, ob die Anlage mit einem Förderturm oder einem Fördergerüst ausgestattet werden soll. Die beiden Bauformen unterscheiden sich:

Förderturm: Die Fördermaschinen werden über dem Schacht in einem Turm eingesetzt. Meisten in Betonbauweise

Fördergerüst: Die Fördermaschinen werden neben dem Schacht in einem Fördermaschinenhaus aufgestellt. Meisten in Stahlbauweise

Die **Fördergerüste** wurden zunächst in der auch heute noch überall in Ruhrgebiet anzutreffenden Gitterkonstruktion ausgeführt. Die weitere Entwicklung beruht dann in erster Linie auf der Verbesserung der Tragsysteme, wobei besonders die Schweißtechnik neue Möglichkeiten bot. Vollständig geschweißte Kastenquerschnitte hoher Steifigkeit ohne Riegel und Verbände und Ableitung der Seilkräfte auf kürzestem Wege über ein räumliches Tragsystem (wie Abb.2.4) kennzeichnen daher heute unsere Fördergerüste.



Abb.2. 4 Fördergerüst



Abb.2. 5 Förderurm

Die **Fördertürme** wurden zunächst verhältnismäßig selten ausgeführt. Erst in 1960-1970 Jahren findet man sie in größerer Zahl bei den großen Hauptschachtförderanlagen des Ruhrgebietes, begünstigt durch die zunehmende Verwendung elektrischer Fördermaschinen und Mehrseilförderungen (wie Abb.2.5). Bei diesem Turm wurden weitgehend geschweißte Kastenkonstruktionen verwendet, wobei durch ein besonders klares Tragsystem eine optimale Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Raumes erzielt werden konnte.

Mit einem Förderurm oder einem Fördergerüst zu Bauen werden, hauptsächlich auf folgende Gesichtspunkte beachten soll:

Baukosten:

Für einen echten Kostenvergleich sind die gesamten Roh- und Ausbaurkosten eines Förderurmes einschließlich Gründung, ferner die Kosten für Krananlagen, Aufzüge und dergleichen erforderlich. Bei Anlagen mit einfacher Förderung wird sich dabei ein deutlicher Kostenvorteil des Fördergerüsts ergeben.

Dieser erklärt sich daraus, dass bei einem Förderurm die Lasten der Fördermaschine aus großer Höhe in die Fundamente abgeleitet werden und



dass erhebliche Aufwendungen für Krananlagen, Aufzüge und dergleichen erforderlich sind.

#### Bauzeit:

Eine möglichst kurze Bauzeit ist für Schachtförderanlagen wichtig, da die Bau- und Montagearbeiten für einen neuen Förderturm oder ein Gerüst immer eine gewisse Beeinträchtigung auf der Zeche haben. Die Stahlbauweise ist in dieser Hinsicht vorteilhaft. Sie ermöglicht die Vorfertigung großer Konstruktionsteile in der Werkstatt, die dann mit Montagegeräten in kurzer Zeit montiert werden können. Montage des Gerüsts und Bau des Fördermaschinenhauses können nämlich nebeneinander durchgeführt werden.

Beim Förderturm müssen dagegen zunächst der Rohbau erstellt und anschließend die Hilfseinrichtungen, Krane, Aufzugsanlagen und dergleichen eingebaut werden, bis die Montage der Fördermaschine und ihrer elektrischen Einrichtungen beginnen kann.

#### Änderungsmöglichkeit:

Für alle Schachtförderanlagen sollte die Möglichkeit einer späteren Änderung oder Verstärkung in Erwägung gezogen werden. Die großen Investitionskosten eines Schachtes sind nämlich nur bei einer sehr langen Nutzungsdauer tragbar. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen ergibt sich die Notwendigkeit der Änderungen einer Schachtförderung, dann ist es stets wesentlich leicht und ohne längere Unterbrechung des Förderbetriebs, wenn einen vorhandenen Fördergerüst durch ein neue Gerüst oder einen neuen Turm zu ersetzen.

#### Platzbedarf:

Zur Verfügung stehende Platz soll ein Förderturm oder Fördergerüst gebaut werden. In dieser Hinsicht ist der Förderturm klar überlegen, da es nur wenig Raum für die genutzte Fläche der Fundamente und Stützen benötigt. Um den Platzbedarf der Fördergerüste zu vermindern, wurde die Sonderform des Turmgerüsts entwickelt, aber wird allerdings durch höhere Gesamtkosten erkauf.

#### Betriebliche Gründe:

Die Schachtförderanlage in Bauweise mit Förderturm fasst alle übertägigen Einrichtungen in einem geschlossenen Gebäude zusammen, und wird häufig als besonderer betrieblicher Vorteil des Förderturmes gezeigt. Bei Anlagen mit doppelter Förderung ist dieses Argument zutreffend, da die Unterbringung der beiden Fördermaschinen in einem Raum die Überwachung der Maschinen erleichtert.

Bei vollautomatischen Schachtförderanlagen ist es sogar ausreichend, wenn nur ein Techniker beide Fördermaschinen überwacht. Dies wäre bei einem

Fördergerüst für Doppelförderung in zwei vollständig getrennten Gebäuden unmöglich.

<b>Bauformen</b>	<b>Fördergerüst</b>	<b>Förderturm</b>
<b>Gesichtspunkte</b>		
Baukosten	+	-
Bauzeit	+	-
Änderungsmöglichkeit	+	-
Platzbedarf	-	+
Betriebliche Gründe	-	+

+... Positiv    -... Negativ

Tabelle 2.1 Beurteilung von Fördergerüst und Förderturm

Viele Gesichtspunkte (Tab.2.1) beeinflussen die Ausführung der Schachtförderanlage. Eine allgemeine Regel lässt sich daher nicht angeben, so dass in jedem Falle die günstigste Lösung gesucht werden muss. Die Lastannahmen, Berechnungs-, und Konstruktionsgrundlagen für Fördergerüst und Fördertürme im Bergbau werden nach DIN 4118 angelegt.

## 2.2 Fördermaschinen

Eine Fördermaschine ist eine maschinelle Einrichtung, die im Bergbau zum Antrieb der Fördergefäße mit einer höchsten zulässigen Fahrgeschwindigkeit von mehr als  $4\text{ m/s}$  dient. Sie wird als Antriebsmaschine in Schachtförderanlagen eingesetzt.

Eine Fördermaschine besteht im Wesentlichen aus den folgenden 5 Komponenten:

- Seilträger
- Antrieb
- Bremseinrichtungen
- Steuer- und Regeleinrichtungen
- Bedienungsstände

Ebenfalls dazu gehören die erforderlichen Verlagerungen und Fundamente. Eine standardisierte Einteilung gibt es nicht. Sie wird hauptsächlich nach folgenden Merkmalen vorgenommen:

Seilträger: Treibscheiben-, Trommel-, Bobinenfördermaschine.

Antriebsart: direkt angetriebene, Indirekt angetriebene.

Fördermaschinen sind nicht standardisiert, d.h. bei Konstruktion einer Fördermaschine müssen die Größenverhältnisse der Konzeption je nach den Tatsachen in Bergwerk bzw. die Anforderungen der Kunden erhalten zu werden. Die allgemeinen technischen Anforderungen für Konstruktionskonzept der Fördermaschinen werden nach folgenden Punkte: [Scheffler et al. 1998]

- Fördermaschinen müssen den betrieblich auftretenden Beanspruchungen gewachsen sein. Die dynamischen Beanspruchungen müssen dabei mindestens durch einen Zuschlag von 10% zu den statischen Belastungen berücksichtigt werden
- Abteufmaschinen brauchen nicht auf Seilbuchkraft berechnet zu werden, dafür muss bei 1,65facher Betriebskraft eine mindestens 5fache Sicherheit gegen Bruch vorhanden sein.
- Fördermaschinen müssen mit einer Not-Aus-Einrichtung ausgerüstet sein. Nach Betätigen eines Not-Aus-Schalters muss die Antriebsmaschine gesperrt sein, so dass sie von einer anderen Stelle aus nicht wieder eingeschaltet werden kann.
- Fördermaschinen müssen eine Überwachungseinrichtung der Einhängelast mit einer optischer Anzeige bei überladener Fördergestelle oder nicht vorschriftsmäßig entleerter Gefäße einsetzen.<sup>1</sup>

## 2.2.1 Seilträger

Der Seilträger nimmt das Förderseil auf, das mit dem im Schacht befindlichen Fördergutträger verbunden ist. Durch Drehung des Seilträgers wird über das Förderseil das im Schacht befindliche Fördermittel in Auf- oder in Abwärtsrichtung bewegt. Es gibt insgesamt drei verschiedene Arten von Seilträgern: Treibscheibe, Trommel, Bobine (wie folgende Abbildungen).

---

<sup>1</sup> Die Betriebsweisen der Einrichtungen werden nach entsprechenden technische Normen und TAS erfolgen.



Abb.2. 6 Treibscheibe



Abb.2. 7 Seiltrommel

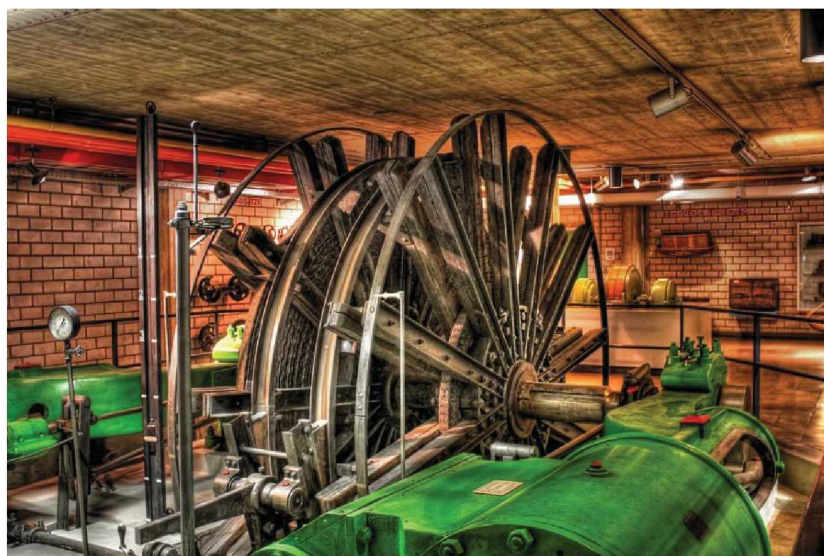


Abb.2. 8 Bobine

Die Eigenschaften eines Seilträgers werden charakterisiert durch:

- Seilträgerdurchmesser
- Zulässige Seilablenkung
- Zulässige Flächenpressung

	<b>Treibscheibe</b>	<b>Trommel</b>	<b>Bobine</b>
<b>Vorteil</b>	Kleine Abmessungen und Masse	Doppeltrümmige Mehrseilförderung	Schlanke Bauweise
	Turmförderung möglich	Seil zur Prüfung abbaubar	drallfrei
	Mehrseilförderung möglich	Kein Seilrutsch	Kein Seilschlupf
	Hohe Drehzahlen	Für jede Teufe geeignet	
	Kleine Motoren	Für große Nutzlasten	
	Niedrige Kosten		
<b>Nachteil</b>	Keine doppeltrümmige Mehrsohlenförderung möglich	Große Abmessungen	Geringe Teufenfähigkeit
	Seilrutschgefahr	große Fundamente notwendig	Geringe Fördergeschwindigkeit
	Keine Seilschmierung	Große Masse	Kein konst. Antriebsmoment möglich
	Steigend Spannungsbelastung bei steigender Teufe	langsamdrehende Motorenerforderlich	Nur Einseilförderung möglich
	Eingeschränkte Teufenfähigkeit	Max. Zweiseilförderung möglich	
		Antriebsmoment in der Regel nicht konstant	
		Schlechte Ausnutzung der Elektromotorleistung	

Tabelle 2.2 Gegenüberstellung der Seilträger

In Tab.2.2 wird die Beurteilung von verschiedenen Seilträgern zusammengefasst. Trommeln werden als Seilträger bei Fördermaschinen verwendet, wenn aus besonders tiefen Schächten gefördert wird. Treibscheiben sind heutzutage die am häufigsten verwendeten Seilträger. Die Bobine wird nur zum Schachtteufen eingesetzt.

### 2.2.1.1 Trommeln

Eine Seiltrommel ist eine Vorrichtung an der Fördermaschine und dient zum Antrieb bewegter Seile sowie zum Speichern der einzuziehenden Seillänge. Heute werden Trommeln relativ selten noch aus Grauguss gefertigt, weil geschweißte Konstruktionen bei größeren Abmessungen, leichter und wirtschaftlicher ausfallen. Der Trommelkörper ist ein nahtloses Rohr oder er wird aus Blech gebogen und längsgeschweißt. [Römisch 2012]

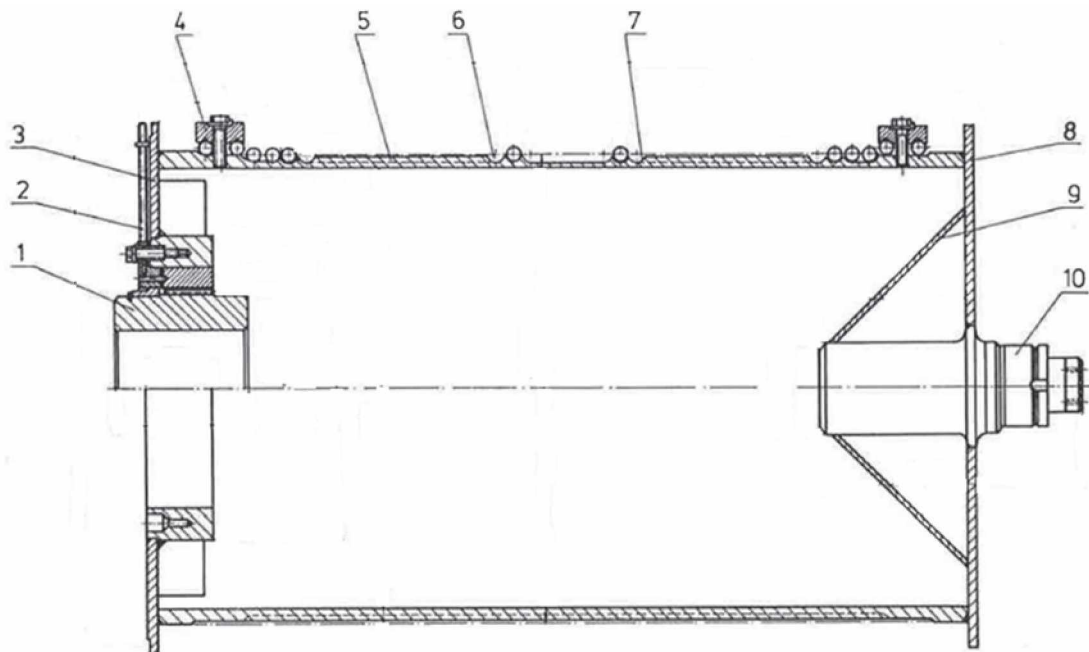


Abb.2. 9 Seiltrommel

- 1. Trommel-Zahnkupplung; 2. Schmierrohr; 3. Bordscheibe(links); 4. Doppelseilklemme;
- 5. Trommelmantel; 6. Seilrillen(linksgängig); 7. Seilrillen(rechtsgängig); 8. Bordscheibe(rechts);
- 9. Versteifungskegel; 10. Trommellager

Abb.2.9 zeigt eine Seiltrommel mit Seilbefestigung durch Klemmung. Bordscheiben müssen an den Trommeln vorhanden sein, wenn nicht durch andere Maßnahmen der seitliche Ablauf des Seiles verhindert wird. Deren Höhe bei einlagiger Wicklung um den 1.5fachen, bei mehrlagiger Wicklung um den 2fachen Seildurchmesser überragen sollen.

Der Trommeldurchmesser wird vorzugsweise auf Mitte Seil bezogen und in Abhängigkeit von Seildurchmesser, Seilbeanspruchung und Fahrgeschwindigkeit gewählt. (wie Tab.2.3 und Tab.2.4)

Fahrgeschwindigkeit	Trommeldurchmesser
Über 4 m/s	Wenigstens das 80-fache des Seilnenndurchmessers
Bis 4 m/s	Wenigstens das 40-fache des Seilnenndurchmessers

Tabelle 2.3 Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit

Art der Seil	Trommeldurchmesser
Verschlossene Förderseile	Wenigstens das 120-fache des Seilnenndurchmessers
Flachseile	Wenigstens das 60-fache des Seilnenndicken

Tabelle 2.4 Abhängigkeit von Förderseilen

Die Breite der Trommeln ist abhängig von der Seildicke, der Seillänge und der Anzahl der Seillängen. Die vorgeschriebenen, auch bei weitestem Abwickeln des Seils im Betrieb verbleibenden 1.5 bis 2 Reservewindungen schützen die Seilbefestigung vor der Aufnahme der vollen Zugkraft des Seils und vermindern die Spannungen an den Einspannstellen des Trommelmantels in die Stirnwand.

Die Stirnwände bzw. Bordscheiben haben, je nach Art der Lagerung und des Trommelantriebs, eingeschweißte Achsen bzw. Naben oder Zentriersitze und Bohrungen zur Befestigung des Zahnkranzes oder der Trommelkupplung. Die Seiltrommel mit Zahnkranz wird mit kurzen Achsstummeln ausgestattet, die sich in seitlichen Lagern abstützen, sodass die Trommellagerung direkt auf der Antriebswelle des Getriebes verbunden wird. [Hoffmann et al. 2005]

In den Trommelmantel werden ein oder zwei schraubenförmige Rillen eingedreht. Der Radius der Seillauftrille muss dem Seildurchmesser angepasst sein. Die Rillentiefe soll beim Einbau des Futters mindestens  $0,5 \times$  Seildurchmesser betragen. Bei Anlagen mit übereinander liegenden Seilscheiben kann die Rillentiefe bis auf  $0,4 \times$  Seildurchmesser verringert sein.

Der Seilablenkwinkel zwischen Seilträger und Seilscheiben soll nicht mehr als  $1^\circ 30'$  betragen, sofern keine besonderen Seilführungseinrichtungen vorhanden sind<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Gelten auch für Treibscheiben.

Aufgrund der starken Seilablenkung werden Trommelfördermaschinen überwiegend als Flurfördermaschinen gebaut. Bei den Bauformen unterscheidet man zwischen Einzeltrommel- und Doppeltrommelmaschinen. Einzeltrommelmaschinen besitzen einen Antriebsmotor, der die Trommel über ein Getriebe oder auch direkt antreibt. Doppeltrommelmaschinen gibt es sowohl mit einer Festtrommel und einer Lostrommel, als auch mit zwei Lostrommeln. Dabei werden die Lostrommeln auf der Hauptwelle beweglich mit Gleitlager, seltener Wälzlagern abgestützt und mit geeigneten kuppelbarem Verrichtungen, Versteckvorrichtungen verbunden. Bei den großen Stützweiten und großen angreifenden Kräften der Zweitrommelausführung ist die Wellendurchbiegung beträchtlich.

Versteckvorrichtungen werden als Zahnkupplungen oder Reibungskupplungen in verschiedenen Varianten gebaut. Die eine Kupplungshälfte ist fest mit der Welle, die andere mit der Lostrommel verbunden. Die Kuppelrichtung ist bei Zahnkupplungen radial oder axial, bei Reibungskupplungen axial. Bei Reibschluss kann das Verstecken stufenlos, bei Formschluss nur stufenweise durchgeführt werden. Je nach Trommelgröße ergeben sich für den letzten Fall Versteckgenauigkeiten von 30 bis 70 mm.

Als Bauart der Fördermaschinen für besonders große Teufen (mehr als 2300 m) werden heute Blair-Trommeln verwendet. (Abb.2.10)

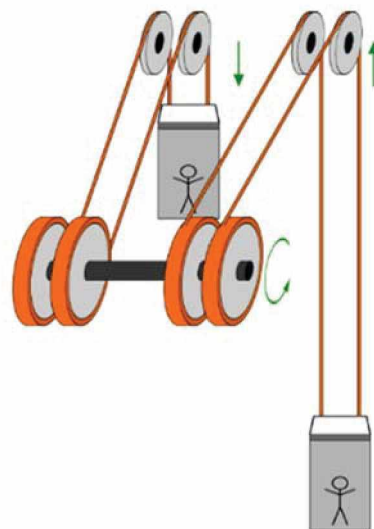


Abb.2. 10 Prinzip der Blair-Trommeln Fördermaschine

Die ist eine zylindrische Trommel, die zwei getrennte Wickelbereiche hat. Dadurch lassen sich zwei Förderseile separat auf der Trommel aufwickeln, ohne sich gegenseitig zu beeinflussen. Das Förderseil ist um eine am Fördergefäß befestigte Umlenkscheibe geführt. Die beiden Trommeln werden



entweder mechanisch oder elektrisch gekoppelt, reagiert das System wie zwei getrennte Maschinen.

Abb.2.11 zeigt ein Beispiel für Blair-Doppeltrommel-Fördermaschine, die für den Hauptschacht des Goldbergwerks South Deep eingesetzt ist. Mit einer Länge von etwa 33 m, einer Breite von ca. 11 m, einem Trommeldurchmesser von 7.1 m und einem Gesamtgewicht von etwa 1050 ton (inkl. Motoren, ohne Fundament) dürfte sie die größte Fördermaschine der Welt sein. [Siemag TI 5]



Abb.2. 11 Blair-Doppeltrommel-Fördermaschine aus SIEMAG-TECBERG<sup>3</sup>

Angesichts der Länge jeder Trommel und des einzuhaltenden max. Schrägzuges der Seile müssen die beiden 2-Seil-Trommeln in einem Winkel von ca. 4.5° zueinander angeordnet werden; dafür wird ein Kardangelenk zwischen die beiden Trommeln gebaut. Die Antriebsleistung von fast 13000 kW erfolgt über zwei direkt gekoppelte Drehstrom-Motoren, die an den freien Enden der Maschine fliegend angeordnet sind. Das eingebaute Kardangelenk reduziert das erforderliche Drehmoment der Motoren, da die kompensierende Kraft des zweiten Turms genutzt werden kann.

---

<sup>3</sup> (Quelle: SIEMAG Tecberg)

## 2.2.1.2 Treibscheiben

Bei Treibscheibenfördermaschinen wird die notwendige Antriebskraft von Treibscheiben durch Reibschluss auf das umschließende, bewegte Seil übertragen; auf die Speicherung einer bestimmten Seillänge muss dabei verzichtet werden.

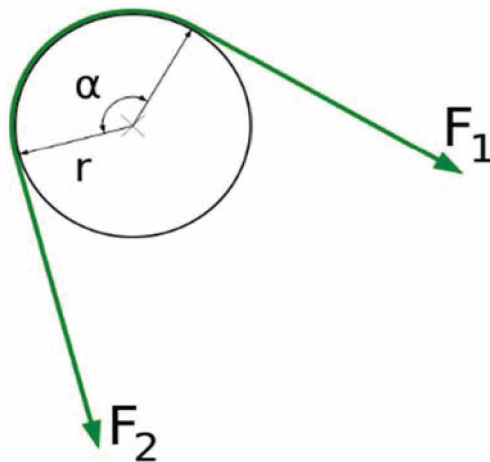


Abb.2. 12 Seilkräfte an der Treibscheibe

Das lose über der Treibscheibe liegende Oberseil wird hierbei durch Reibschluss mitgenommen (Abb.2.12). Das Oberseil ist fast immer durch ein Unterseil ausgeglichen. Die Gleichung für die Umfangskraft lautet:

$$F_u = F_1 - F_2 = F_2 \cdot (e^{\mu \cdot \alpha_n} - 1) \quad (2. 1)$$

Aus Gl. (2.1) ist zu erkennen, dass für alle Treibscheiben gleichbleibendem Wert  $\mu\alpha$  der Grenzwert des Reibschlusses nur eingehalten werden kann, wenn mit die Seilkraft  $F_2$  im gleichen Verhältnis ansteigt. Treibscheibenfördermaschinen benötigen daher eine Mindesttotlast und damit eine Mindestteufe. Wird diese unterschritten, müssen zum Einhalten der Reibschlussgrenze zusätzliche Totlasten ins Trum eingebaut werden. [Scheffler 1994]

Die nachweispflichtige Reibungszahl muss  $\mu \geq 0.2$  betragen. Dabei müssen die Einflüsse des Seilschmierstoffs berücksichtigt sein. Bauartbedingt beträgt der Umschlingungswinkel  $180^\circ$  bis  $190^\circ$ . Der obere Wert gilt für Turmfördermaschinen mit Ablenkscheiben. Der Ablenkwinkel zur Seillauftrille muss kleiner als  $1^\circ 30'$  sein. Der erforderliche Seillaufdurchmesser des Seilträgers ist nach folgender Beziehung zu ermitteln:

$$45 \leq \frac{d}{d_s} \geq 20 + 2.4 \cdot d_s \quad (2. 2)$$

Die Eigenart der Treibscheibe ermöglicht die Mehrseilförderung. Anstelle eines übermäßig dicken werden auf die Treibscheibe mehrere dünne Seile aufgelegt. Die Schwierigkeiten bei der Herstellung und beim Auflegen dicker Seile ( $> 60\text{ mm}$ ) und deren geringe Lebensdauer werden damit vermieden. Aufgrund der größeren Seiloberfläche ist die Seilkontrolle aussagefähiger, aber auch der Korrosionsangriff stärker.

Mehrseilfördermaschinen ergeben für gleiche Förderdaten gegenüber 1-Seil-Treibeibenfördermaschinen nach kleinere Seillaufdurchmesser und geringere Massen. Daraus resultieren kleineres Schwungmoment, kleineres Lastmoment, höhere Drehzahl und damit ein vorteilhafterer Antrieb. Die Ausführung erfolgt überwiegend mit gerader Seilzahl, um im Schacht die Auswirkungen des Seildralls auszuschließen. Vorwiegend werden Zwei- und Vier-, selten Achtseilfördermaschinen eingesetzt. Fördermaschinen mit Ein- und Zweiseiltreibscheibe werden meist als Flurfördermaschinen, mit mehr Seilen als Turmfördermaschinen ausgeführt.

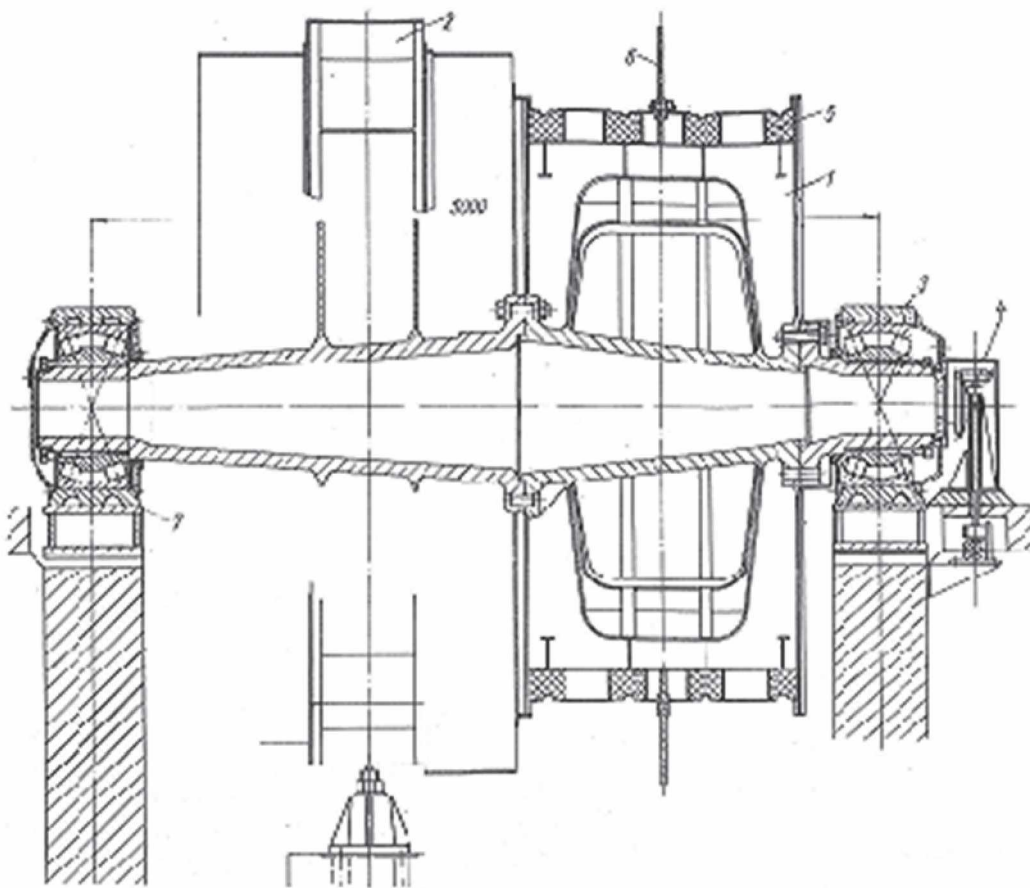


Abb.2. 13 Vierseil-Treibeibenfördermaschine

- 1 Treibeibe; 2 Motor; 3 Lager; 4 Antrieb für Fahrtregler; 5 Seillauffutter; 6 Bremsscheibe;  
7 Lagerisolierungen

Einseil- oder Mehrseiltreibscheiben werden in Vollwandbauweise als Schweißkonstruktion gefertigt. Um die erforderliche Reibungszahl zwischen Seil und Treibscheibe zu erreichen, wird die Seillauftrille mit einem Futter ausgekleidet. Für die überschlägliche Flächenpressung  $p$  gilt:

$$p = \frac{2F_z + F_u}{d \cdot d_s} \quad (2.3)$$

Die Futterabmessungen sind nach DIN 22405 abhängig vom Treibscheibennendurchmesser und Seilnenddurchmesser festgelegt.

### 2.2.1.3 Bobinen

Bei Bobinen-Fördermaschinen ist jeder Fördergutträger an einem Flachseil angeschlagen, das auf der Bobine übereinander aufgewickelt wird. Diese Art der Förderung kommt heute im regulären Bergbau nur mehr selten vor. Bobinen können daher als eine Sonderart mehrlagig gewickelter Trommeln betrachtet werden.

Infolge des sich ständig ändernden Wickeldurchmessers ändert sich die Fördergeschwindigkeit auch nach der Beschleunigungsphase bei konstanter Drehzahl der Hauptwelle. Mit zunehmender Seillänge im Schacht und daraus resultierender Überlast nimmt der Wickelradius auf der Bobine ab. Dadurch bedingt, wirkt an der Hauptwelle ständig ein fast gleichbleibendes Lastmoment. Bobinen-Fördermaschinen werden aufgrund ihrer Eigenschaften nur noch zum Teufen von Schächten verwendet und sind für diesen Einsatz besonders geeignet. Sie können nahe am Schacht aufgestellt werden. [Pajer 1976-]

Der Bobinenabstand muss gleich dem Trumabstand sein, da ein Seilablenkwinkel nicht zugelassen werden kann. Damit die Förderseile sich nicht von der Befestigung an Bobine lösen, müssen sie mit mindestens zwei Seilklemmen am Seilträger befestigt werden. Das Förderseil muss mindestens so lang bemessen sein, dass selbst bei tiefster Stellung des Fördermittels noch zwei Seilwindungen auf dem Seilträger verbleiben.

Aus Sicherheitsgründen werden in der Regel für das sogenannte Abhauen zusätzliche Seillängen bei der Seillängendimensionierung berücksichtigt. An Anlagen mit Fahrgeschwindigkeiten über  $4 \text{ m/s}$  muss ein Messgerät zum Messen der aufgebrachtten Bremskraft vorhanden sein, sofern nicht der Bremsdruck für die Lostrommel angezeigt wird.

## 2.2.2 Antrieb

Für Antrieb oder Antriebsmaschine von Förderhaspeln in Blindschächten wird teilweise Druckluft verwendet. In Betrieb werden selten alte Fördermaschinen mit Dampf gefunden, alle neueren Fördermaschinen grundsätzlich mit Elektroenergie betrieben, so dass heute über 90% aller Fördermaschinen Elektroantrieb haben. Die Bemessung von Antriebsmaschinen für Elektromotoren wird nach DIN EN 60034-1, Klassifikation VDE 0530 Teil 1 angelegt.

Bei Antrieben mit Drehstrom-Asynchronmotoren muss die zulässige Fahrgeschwindigkeit bei Seilfahrt und Güterförderung gleich sein und der Nenndrehzahl entsprechen. Antriebe mit Schleifringläufermotoren müssen eine Einrichtung haben, die den Motorläufer beim Überschreiten der synchronen Drehzahl selbsttätig kurzschließt. Der Läuferkurzschluss (Generatorbremsung) muss optisch angezeigt werden.

Dieser selbsttätige Läuferkurzschluss darf nur in der Nullstellung des Fahrhebels aufgehoben werden können, sofern nicht besondere Bremsschaltungen angewandt werden. Wird der Läufer außerdem bei untersynchroner Drehzahl in der Endauslage des Fahrhebels kurzgeschlossen, so muss dieser Läuferkurzschluss durch eine zweite Leuchte angezeigt werden, wenn er nur in der Nullstellung des Fahrhebels aufgehoben werden kann. [Arnold 1981]

### Drehstromantrieb:

Für Fördermaschinen mit indirektem Antrieb und Leistungen bis 1600 kW werden Drehstrommotoren mit Schleifringläufer eingesetzt. Ihre Vorteile bestehen aus: geringe Anlagekosten; niedrigen Wartungsaufwand; kleine Aufstellungsfläche. Nachteilig sind die großen Energieverluste, die beim Steuern über Winderstände auftreten.

Bei Fördermaschinen werden Drehstromantriebe vorteilhaft eingesetzt, wenn aus großen Teufen mit geringen Geschwindigkeiten gefördert wird, d.h. die Beschleunigungs- und Verzögerungszeit gegenüber der konstante Fahrzeit kurz ist.

Die Beschleunigungen betragen 0,4 bis 0,7  $m/s^2$ , die Fördergeschwindigkeiten vorzugsweise 4 bis 10  $m/s$ . Daraus leiten sich Motordrehzahlen von 600 bis 1000  $1/min$  ab. Die Seilfahrt- und die Güterfahrtgeschwindigkeit

werden möglichst gleich ausgeführt. [Roloff 1972]

### Gleichstromantrieb:

Wenn die Drehzahlsteuerung der Fördermaschine besondere Anforderungen gestellt werden oder um stark ausgelastete Fördermaschinen von Hauptschachtförderanlagen handelt, werden Gleichstromantriebe verwendet. Die Antriebsleistungen betragen 800 bis 12000 kW.

Die Beschleunigungen betragen 0,8 bis 1,2  $m/s^2$  (größere Werte für größere Leistungen) und die Fördergeschwindigkeiten hauptsächlich 12 bis 18  $m/s$  (größere Werte für kleinere Nutzlasten). Daraus leiten sich für direkten Antrieb Motordrehzahlen von 30 bis 70  $min^{-1}$  ab.

## **2.2.3 Bremssysteme**

Als Bremsenrichtung der Schachtfördermaschine werden ausschließlich derzeit die Scheibenbremsen verwendet. Das Bremssystem besteht aus den Bremskrafterzeugern mit der hydraulischen und elektrischen Bremsensteuerung. Als Bremskrafterzeuger wird sogenannte Bremsseinheit eingesetzt, d.h. Erzeugung der Anpresskraft mit Tellerfedern und hydraulisch lüftend bzw. regelnd. Sie bestehen aus einer oder mehreren Bremszangen, einer Bremsscheibe und eine Entlüftung (Abb.2.14).

Öldruckerzeugung, Steuerblock, Ventilbestückung sowie der Speicher für den regelbaren Druck sind kompakt im Hydraulikaggregat angeordnet. Die Verrohrung zu den Bremsständen besteht aus dickwandigen Stahlrohren großen Querschnitts.

Eine Verringerung des Druckes im Hydrauliksystem ergibt höhere Bremskraft. Dies hat ein wesentlicher Vorteil für den Einsatz als Sicherheitsbremse. Es kann durch einen verbleibenden Druck im System eine vorher eingestellte oder auch regelbare Bremskraft im Netzausfall erzeugt werden, die ein kontrolliertes Stillsetzen gewährleistet. [Pajer 1976-]

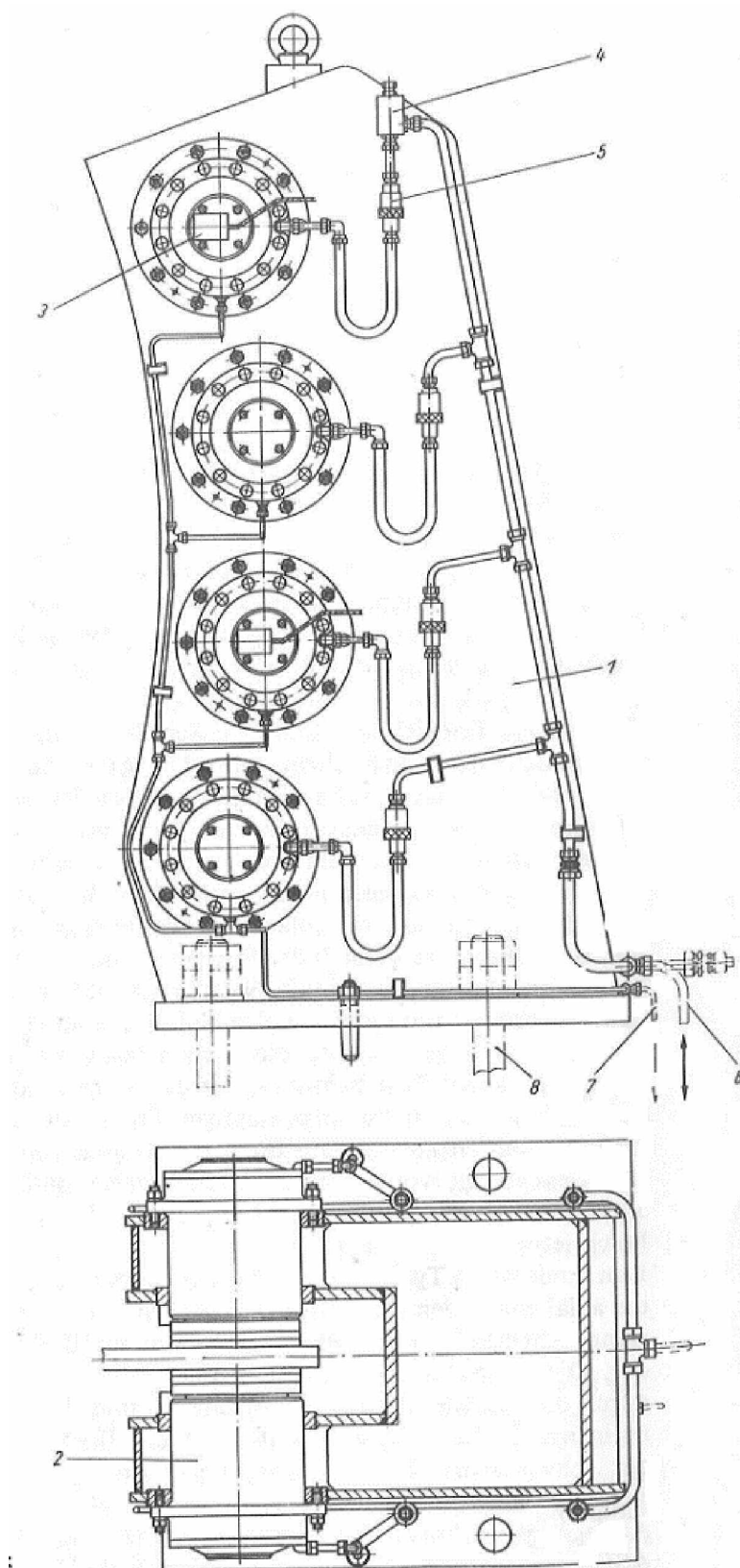


Abb.2. 14 Hydraulisch betätigte Scheibenbremse

1 Bremsblock für Bremseinheitsaufnahme; 2 Bremseinheit; 3 Überwachungsschalter;  
 4 Entlüftungsventil; 5 Schlauchkupplung; 6 Druckölleitung; 7 Ölleitung; 8; Ankerschraube

Die elektrische Bremsensteuerung mit elektronischer Regelung ist ein in sich geschlossenes System, unabhängig von anderen Steuerungen der Förderanlage. Sie ist komplett verdrahtet in staubdichten Schaltschränken untergebracht. Die Bremsensteuerungen der Fördermaschinen kommt eine besondere Bedeutung zu, die drei Funktionen in sich vereinigen müssen, und zwar als Fahrbremse, Haltebremse und Sicherheitsbremse [Roloff 1972].

Die wichtigste Funktion ist die der Sicherheitsbremse, die im Falle eines Fehlers (Stromausfall, Übergeschwindigkeit usw.) wirksam wird. Diese Funktion ist auch das wichtigste Unterscheidungsmerkmal.



Abb.2. 15 Scheibenbremse für Trommel-Fördermaschine

Wie Abb.2.15 zeigt, für unterschiedlich größere Förderanlagen können Baureihen von gleich großen Bremsentypen angeboten werden. Als weitere Vorteile der Scheibenbremseinrichtungen sind zu nennen: [Siemag TI7]

- Ebene Bremsfläche, gleichmäßige Druckverteilung
- Geringerer Platzbedarf
- Möglichkeit, weitere Bremskraftezeugerpaare zu montieren
- Variable (geregelte) Sicherheitsbremskraft
- Wartungsfreundlichkeit
- Überprüfung der Bremseinheit ohne Demontage



## 2.3 Fördermittel

Bei der modernen Schachtförderung gibt es hauptsächlich zwei verschiedene Fördermittel (Fördergutträger), das Fördergefäß und das Fördergestell.

### 2.3.1 Fördergefäße

Im Bergbau wird das Fördergut in hängende Fördergefäße gestürzt und zutage gefördert. Die Fördergefäße sind über ein Zwischengeschirr mit dem Förderseil verbunden, da unter das Unterseil als Gewichtsausgleich angebracht.

Verschlüsse:

Die Gefäßverschußart hat einen bedeutenden Einfluss auf die Entladezeit. Es unterscheidet im Wesentlichen drei verschiedene Verschlussarten:

- Klappenverschluss (Abb.2.16).
- Vertikalschiebersverschluss (Abb.2.17).
- Rundschiebersverschluss (Abb.2.18).

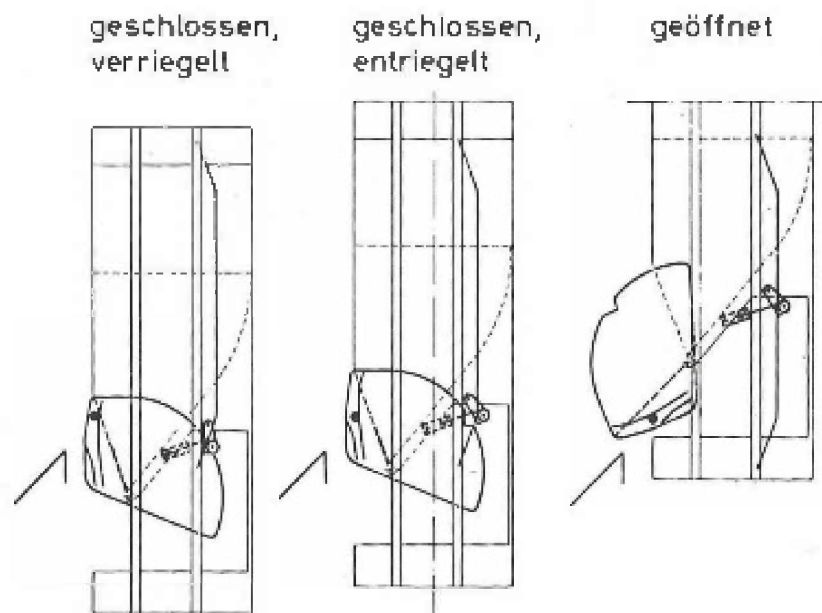


Abb.2. 16 Klappenverschluss

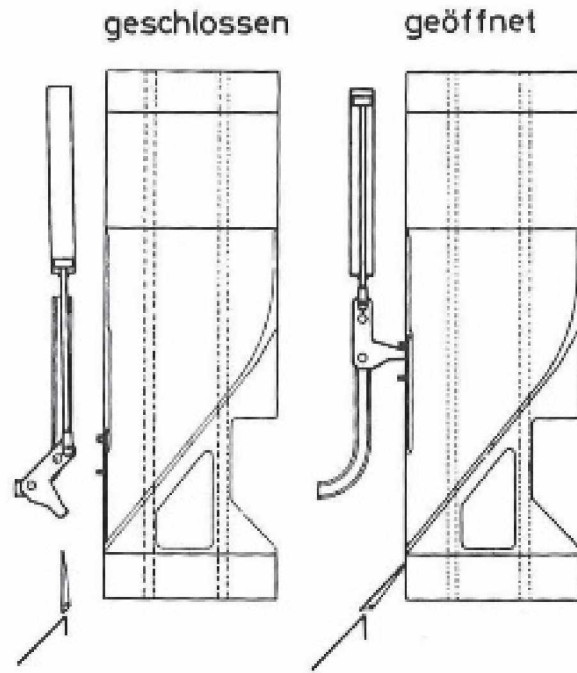


Abb.2. 17 Vertikalschieberverschluß

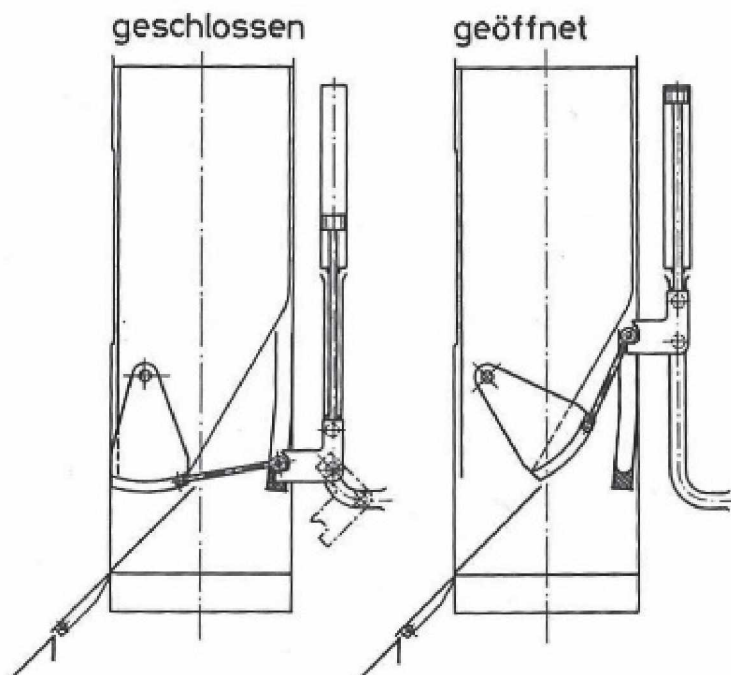


Abb.2. 18 Rundschieberverschluß

Der Klappenverschluß ermöglicht die kürzesten Belade- und Entladezeiten, aber gerade dieser Vorteil hat beim Versagen der Verrichtungsvorrichtung einen Nachteil. Es öffnet sich nämlich die Klappe zur Unzeit. In neuerer Zeit setzt sich der Rundverschluß durch, der von außen durch eine einschwenkende Nase öffnet und in umgekehrter Richtung auch wieder schließt. Beim Vertikalschieberverschluß verschließt ein Flachschieber die

senkrecht stehende Auslauföffnung am Boden des Fördergefäßes. Er wird mit Rücksicht auf geringe Reibkräfte und Verklemmen in Rollen geführt. Der Hauptvorteil des Schieberverschlusses besteht in einer hohen Sicherheit im Schacht, da er sich nicht von selbst öffnen kann. Gegenüber den anderen Verschlussarten ist der Schieberverschluß komplizierter, wartungsaufwendiger und bedingt einen größeren Totlast. [Hoffmann 1941]

### Füllraum:

Bei Konstruktionen muss man berücksichtigen, dass über der Füllung ein freier Raum von 2 bis 3 m als Totraum je nach Anlagengröße benötigt wird. Der günstigste Gefäßquerschnitt bei Konstruktion ist der quadratische mit hochkant. Schmale Fördergefäße ergeben durch den stärkeren Einfluss der Wandreibung große Auslaufzeit. Sie begünstigen außerdem die Brückenbildung des Förderguts, bei denen der untere Füllraum eingeeengt werden muss. Um eine sichere Entleerung zu gewährleisten, wird der Boden mindestens  $45^\circ$ , allgemein  $50^\circ$  bis  $55^\circ$ , geneigt angeordnet.

## 2.3.2 Fördergestelle

Fördergestelle sind nicht standardisiert und im Querschnitt meist durch die zu verwendenden Förderwagen bestimmt. Hauptsächlich werden sie zur Güterförderung mit Förderwagen, zur Seilfahrt und Materialförderung benutzt.

### Allgemein:

Fördergestelle werden in Verbundbauweise gefertigt (Abb.2.19).

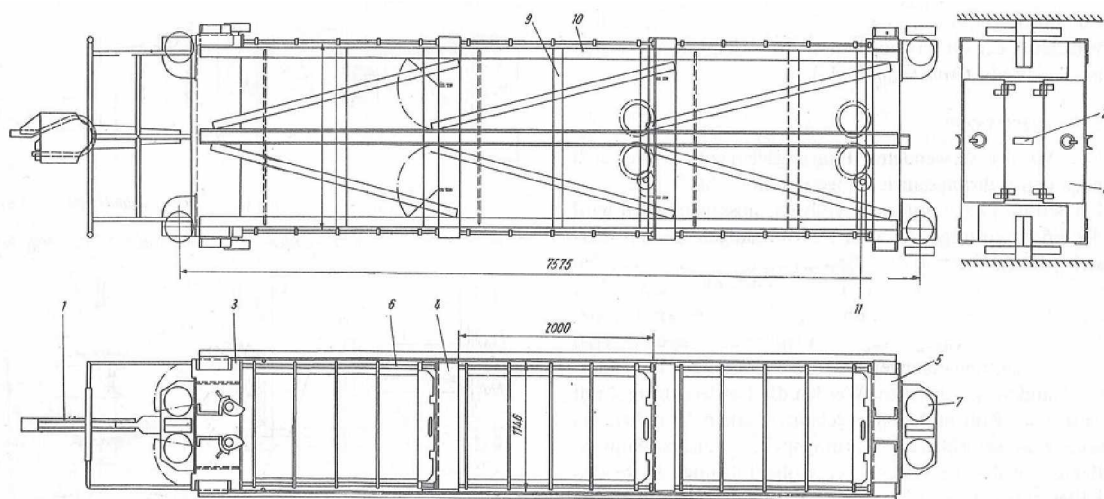


Abb.2. 19 Fördergestell

- 1 Oberseilzwischengeschirr; 2 Königstange; 3 Kopf; 4 Etagenboden; 5 Fuß; 6 Seilfahrverschluss;  
7 Rollenführung; 8 Dachklappe; 9 Schutzleiste; 10 Hängeschiene

Der Kopf und die Etagenböden sind geschweißte Baugruppen und durch die Hängeschienen miteinander verbunden. Der freie Raum zwischen den Etagen wird mit gelochten Blechen verkleidet. Durch diese Konstruktion bedingt, ist das Fördergestell sehr weich und kann sich gut den Verwerfungen der Führungseinrichtungen im Schacht anpassen. Die Förderwagen werden durch Schwenken arretiert, die in Füllraumhöhe in das Fahrprofil des Förderwagens schwenken oder über die Schienen der Räder greifen. Fördergestelle werden aus normalem Baustahl und höherfestem Stahl bzw. als Al/St-Verbundbauweise hergestellt. [Arnold 1981]

## **2.4 Förderseile und entsprechende Elemente**

In dieser Kapitel werden Konstruktion, Bauart, Auswahl, Prüfung und Überwachung von Förderseilen berücksichtigt.

### **2.4.1 Förderseile**

Als Förderseil werden im Bergbau Seile bezeichnet, die zum Heben und Senken von Lasten in hauptsächlich senkrechter Richtung in Schächten dienen. Man unterscheidet bei Förderseilen anhand der Form folgende Seile: Rundlitzenseile, Dreikantlitzenseile und Flachseile. Je nach der Verwendung sind zu unterscheiden: Oberseile, Unterseile, Bühnenseile, Führungsseile, und Greiferseile usw. Je nach Einsatz des Förderseils sind verschiedene Kriterien bei der Seilauswahl zu berücksichtigen:

- Anzahl der Seile: Es ergibt sich aus der Förderteufe oder der Belastung. (Abb.2.20)
- Drall Eigenschaften der verschiedenen Seilmacharten: Je nach Verwendungszweck.
- Notwendiger Seildurchmesser: Es muss nach den anerkannten Regeln der Technik hergestellt sein. (Tabelle 2.6) [TAS]

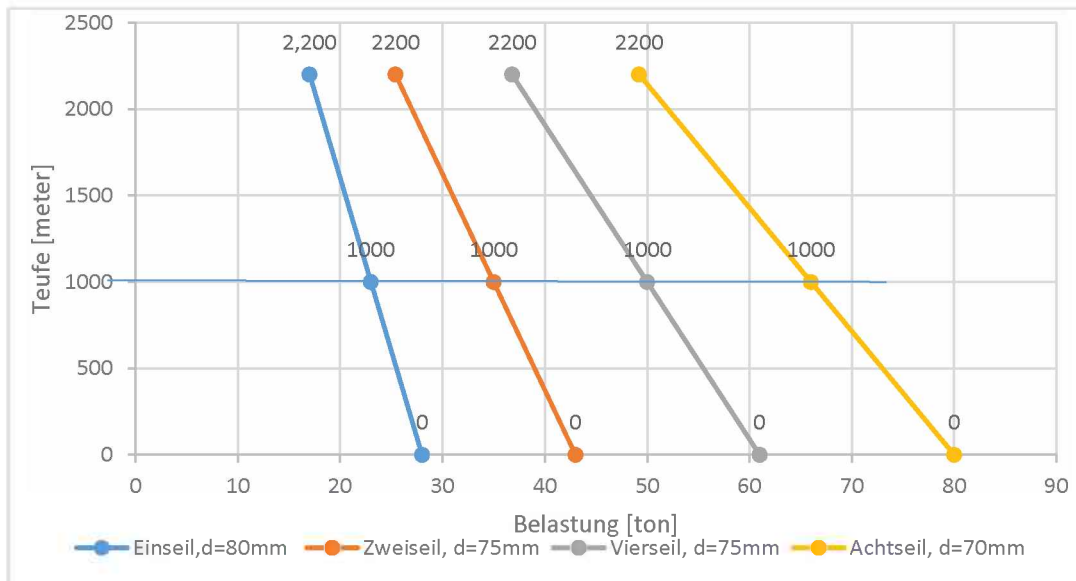


Abb.2. 20 Abhängigkeit der Teufe und Belastung

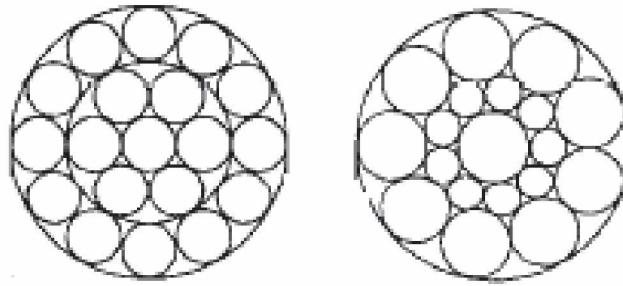
Seiltyp	Seil-Nennendurchmesser[mm]	Drahtmindestdurchmesser[mm]
Runde Litzenseile	$d \leq 18$	0.5
	$18 \leq d \leq 25$	0.8
	$d > 25$	1.0
	Drahtmindestdurchmesser für runde Litzenseile für Schachtförderung: 0.8	
Flachseile	-	1.0

Tabelle 2.6 Drahtmindestdurchmesser

Bei neuzeitlicher Schachtförderung werden ausschließlich Drahtseile verwendet, und zwar überwiegend Rundseile, während Bandseile nur in besonderen Fällen benutzt werden. Man nimmt für runde Schachtförderseile meist Drähte von 2.2 bis 2.8 mm Durchmesser, deren einzelne Längen zusammengelötet werden.

#### Litzen:

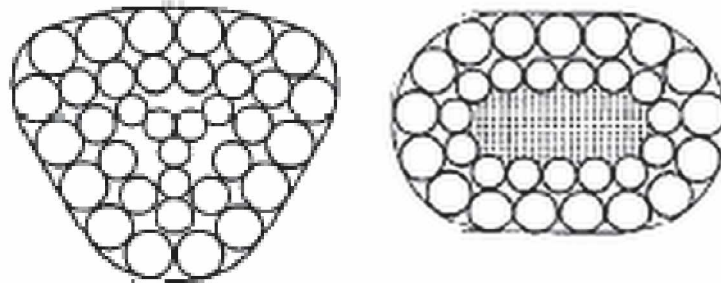
Die Drähte werden zu Litzen geschlagen und die Litzen werden um eine Seileinlage zum Seil geschlagen. Die Seileinlage kann aus Faserstoffen wie Hanf, Kunststoff oder auch aus einer Stahllitze bestehen. Wichtige Litzenseile bei Anwendung sind Rundlitzen und Formlitzen. (Abb.2.21 und Abb.2.22)



kreuzverseilte

parallelverseilte

Abb.2. 21 Rundlitzen



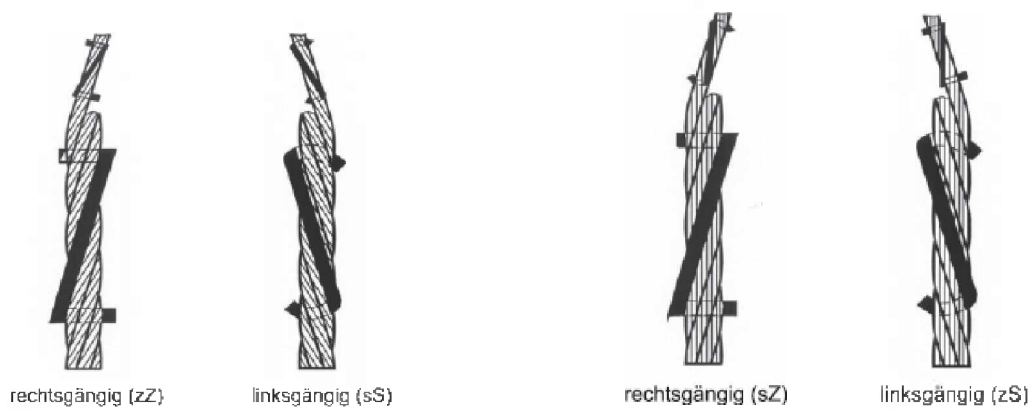
Dreikantlitze

Flachlitze

Abb.2. 22 Formlitzen

Schlagarten:

Je nach Schlagrichtung der Litzen im Seil werden "linksgängige" (**S**) oder "rechtsgängige" (**Z**) Seile unterschieden. Litzenseile können im Gleichschlag oder Kreuzschlag geschlagen sein. (Abb.2.23)



rechtsgängig (zZ)

linksgängig (sS)

rechtsgängig (sZ)

linksgängig (zS)

Abb.2. 23 Schlagarten

Links: Gleichschlag; rechts: Kreuzschlag

Mit der Schlagart hängt zusammen, dass beim Gleichschlagseilen weniger Drahtbrüche auftreten als beim Kreuzschlagseilen, und das Gleichschlagseil starken, und Kreuzschlagseil schwachen Drall haben. Wenn das Fördergefäß beim Umsetzen gesetzt wird, bildet sich ein Hängeseil, welches Klanken wirft. Aus diesem Grunde ist das Gleichschlagseil als Unterseil schwierig. Bei Treibscheibentransport überwiegen Gleichschlagseile, bei Trommelförderungen Kreuzschlagseile.

#### Mehrlagige Litzenseil:

Sie verbessern gegenüber den einlagigen Litzenseilen die Querschnittsausnutzung, die Formstabilität. Bei Anwendung für die Schachtförderung wird Rundlitzenseil und Flachlitzenseil. (Abb.2.24)

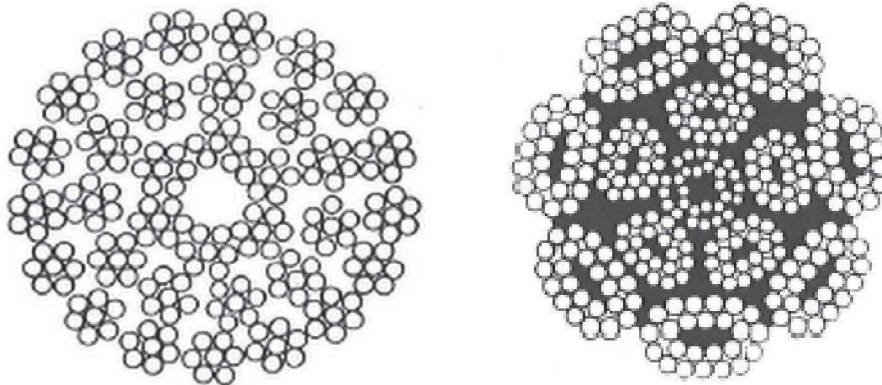


Abb.2. 24 Mehrlagige Litzenseile

Links: Rundlitzenseil mit Litzennormalschlag

Rechts: Flachlitzenseil, dreilagig

Das Rundlitzenseil ist durch Wechsel der Schlagrichtung von Lage zu Lage und geeignete Querschnittsausnutzung nahezu drehungsfrei und führt zu einer wesentlichen Steigerung der Betriebsdauer. Das Flachseil hat erheblich geringere Haltbarkeit als des Rundlitzenseils. Als Förderseile werden sie nur beim Abteufen benutzt, wo ihr Vorteil, im geringen Drall liegt. [Feyrer 2000]

#### Auswahl der Seilkonstruktion:

Als wichtigste Kriterien für die Seile einer Schachtförderanlage gelten: Art, Größe und zeitlicher Verlauf der Beanspruchungen (Zug, Biegen, Drehen); tatsächliche Betriebsdauer; Länge des Seils; Betriebsverhältnisse (wie Verschleiß, Korrosion). Nach den vieljährigen Betriebserfahrungen gelten für den Förderseileinsatz bei den Schachtförderanlagen die Richtlinien:

- Schachtförderseile für mittlere Teufen (700 bis 1000 Meter): Die Förderseile müssen mit hoher Bruchkraft und Biegsamkeit und hohem Verschleißwiderstand und hoher Korrosionsbeständigkeit sein. Die geeignete Drahtseilkonstruktionen in Anwendung sind: einlagige

Rundlitzenseile; zwei- und dreilagige Flachlitzenseile; wechselnde Schlagrichtung der Seile für Mehrseilförderanlagen.

- Schachtförderseile für große Teufen (über 1000 Meter): Die Förderseile müssen sehr hohe Bruchkraft, Biessamkeit, Querdruckbeständigkeit, hoher Verschleißwiderstand, und geringer Belastungsdrall haben. Meistens verwendet man einlagige Rundlitzenseile; dreilagige Flachlitzenseile; mehrlagige Litzenseile und wechselnde Schlagrichtung der Seile für Mehrseilförderanlagen.
- Unterseile: Die Unterseile erfordern geringe Bruchkraft, gute Biessamkeit, hohe Korrosionsbeständigkeit und Drehungsfreiheit. Im Betrieb werden Flachseile, mehrlagige Litzenseile bzw. Rundlitzenseile verwendet. [Scheffler 1994]

Zur Bemessung der Förderseile sind die jeweils gültigen Technischen Regeln, die für Herstellung, Auswahl, Einsatz, Instandhaltung und Prüfung von Förderseilen sehr wichtig sind. Wie zum Beispiel, DIN 12385 Teil 1-7, TAS Abs.6, BOVS usw. [BVOS] [TAS]

## **2.4.2 Zwischengeschirre**

Zwischengeschirre dienen als Verbindungselement zwischen Seil und Fördergutträger. Zu den Zwischengeschirren gehören alle Verbindungsteile zwischen den Förderseilen und den starr am Fördermittel oder Gegengewicht angebrachten Aufhängeblechen oder Anschlussblechen. Es dient auch dazu, Längenänderungen des Förderseiles auszugleichen, und um Schäden an der Befestigungsstelle des Förderseils, die durch Seilschwingungen entstehen, zu vermeiden.

Der Seileinband hauptsächlich durch Klemmkauschen (wie Abb.2.25). Bei dieser Kauschenart zieht sich das Förderseil selbsttätig fest, wenn das Kauschenherz in das Kauschengehäuse eingezogen wird.

Bei Klemmkauschen zieht sich das Seil durch seine Belastung und dem Reibschluss am Keilverschluss selbsttätig fest. Sie dürfen während des Betriebs nicht entlastet werden. Die Klemmkauschen müssen zum Einkürzen und Kontrollieren der Seilenden leicht lösbar sein. Kleinere Längenänderungen der Seile müssen durch Versteckvorrichtungen schnell ausgeglichen werden können.



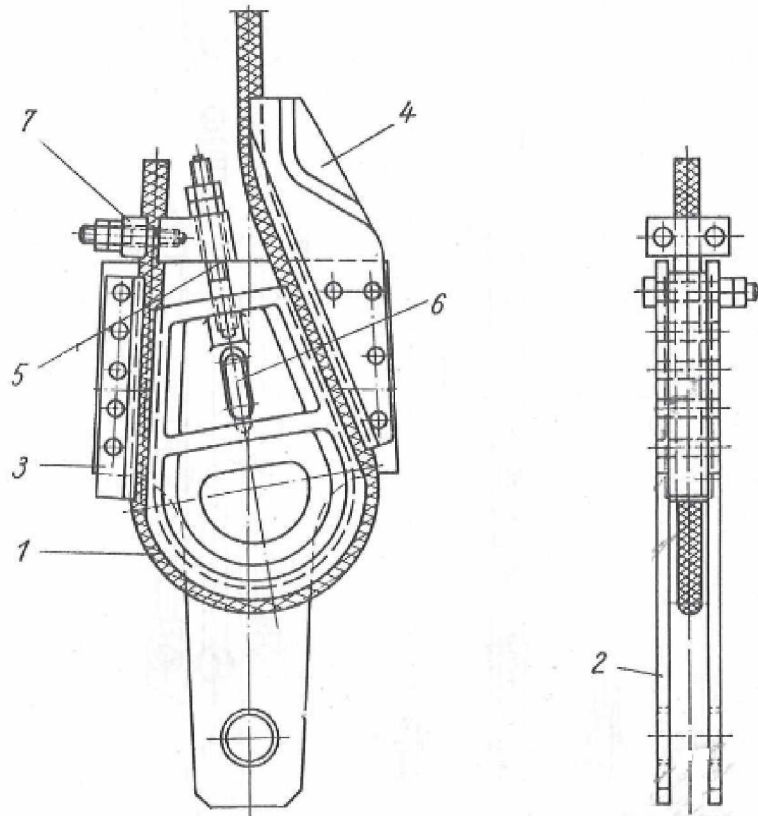


Abb.2. 25 Klemmkausche

1 Keilchloss; 2 Kauschenwange; 3 und 4 Klemmstück; 5 Sicherungsschraube; 6 Schlitz für Treibkeil; 7 Klemmschelle

Mehrseilzwischenbeschirre haben die Aufgabe, den Ausgleich unterschiedlicher Seilkräfte, hervorgerufen durch unterschiedliche Elastizitätsmodule, Seillängen auf der Treibscheibe, zu ermöglichen.

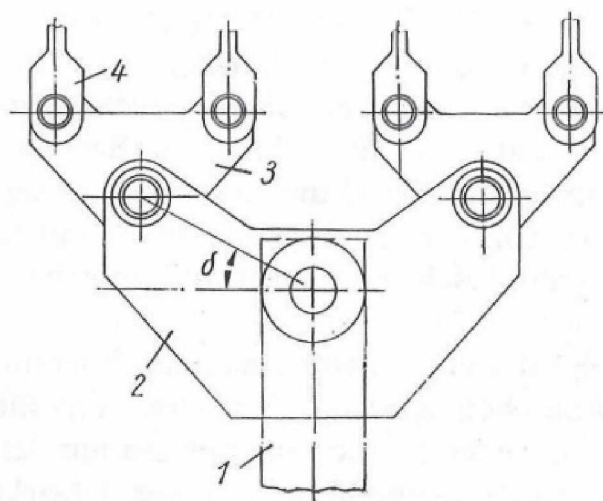


Abb.2. 26 Mehrseilzwischenbeschirre

1 Königstange des Fördergutträgers; 2 und 3 Dreieckshebel; 4 Kreuzgelenk

Den maximalen, selbsttätigen Seilkraftausgleich durch Längenänderung ergeben Waagebacken (Abb.2.26,  $\delta = 0$ ). Das System mit Dreieckhebeln nimmt die Stabilität mit steigendem Winkel  $\delta$  zu, der Kraftausgleich durch reine Längenänderung ab. Der optimale Winkel  $\delta$  beträgt 10 bis 25°.

Bei modernen Mehrseil-Förderanlagen (Abb.2.27) [Siemag Tecberg IT21] werden eine Messeinrichtung in das Seilgeschirr eines jeden Seiles und eine Versteckungseinrichtung integriert. Die Seilkräfte werden über eine Laschenkonstruktion, wartungsfreie Messzelle aus Edelstahl geleitet und gemessen. Beim Verstecken werden die Versteckglieder schnell und sicher entlastet durch den Einsatz von hydraulischen Zylindern. Die Zylinder werden an die gewünschte Versteckposition angepasst durch das Versetzen einer Druckplatte.

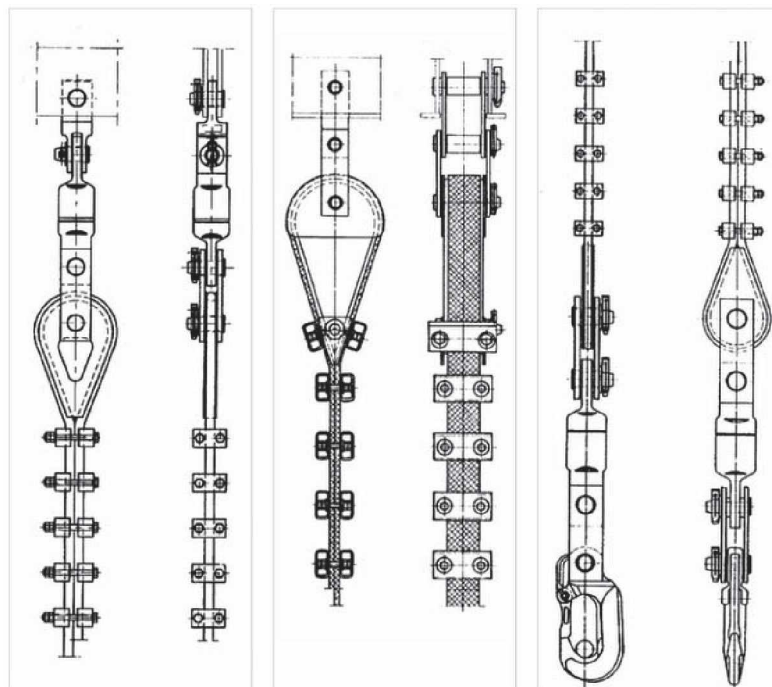


Abb.2. 27 Geschirre für unterschiede Seile

Links: Geschirre für Rundseile; Middle: Geschirre für Flachseile; Rechts: Abteufgeschirre

# 3 Berechnungsnachweise

In dieses Kapitel werden Fördermaschinenteile nach den allgemein geltenden Grundsätzen und Standards des Maschinenbaus berechnet. Dabei sind statische und dynamische Kräfte zu berücksichtigen.

## 3.1 Ermittlung Hauptdaten einer Fördermaschine

Zur Bestimmung der **Förderleistung** einer Schachtförderanlage werden die folgenden Daten vorgegeben:

- Nutzlast  $N$  ; Teufe  $L$ ; Bedienpause  $t_p$  und grubentechnologische Bedingungen, z.B. trumig.

Die folgenden Parameter sind vorgewählt:

- Geschwindigkeit  $v$ , abhängig von der Teufe und der Antirebe
- Beschleunigung  $a_B$  und Verzögerung  $a_V$  , abhängig von der Geschwindigkeit und der Teufe.

Daraus kann sich die Fahrzeit ermitteln, die aus Beschleunigung, Verzögerung und konstante Geschwindigkeit besteht.

$$t_{Fa} = \frac{v}{a_B} + \frac{L_v}{v} + \frac{v}{a_v} \quad (3. 1)$$

Damit ergibt sich die Förderzeit:

$$t_F = t_{Fa} + t_p \quad (3. 2)$$

Und die **Förderleistung**

$$Q = \frac{N}{t_F} \quad (3. 3)$$

Wenn bei Schachtförderanlagen zweitrümig, so verdoppelt sich die Förderleistung gegenüber der vorstehenden Grundformel:

$$Q = \frac{2 \cdot N}{t_F} \quad (3. 4)$$

Zur Bestimmung der **Antriebsleistung** einer Fördermaschine muss man zuerst die Vollastbeharrungsleistung und die Beschleunigungsleistung ermitteln. Die **Vollastbeharrungsleistung** errechnet sich zu:

$$P_V = \frac{F_u \cdot v}{\eta_G} \quad (3.5)$$

Zur Ermittlung der Vollastbeharrungsleistung setzt man erfahrungsgemäß als  $\eta_G = 0.8$  ein, es sei denn, man kennt die Wirkungsgrade genauer. Die **Beschleunigungsleistung** errechnet sich zu:

$$P_B = \frac{G \cdot a \cdot v + I_{red} \cdot \varepsilon \cdot \omega}{\eta_G} \quad (3.6)$$

In der Praxis werden die rotierenden Massen mittels des Faktors  $\beta$  berücksichtigt. Erfahrungsgemäß kann man  $\beta = 1.05$  setzen. Das würde einen Zuschlag von 5 % bedeuten. Die Formel zeigt auch:

$$P_B = \frac{G \cdot a \cdot v \cdot \beta}{\eta_G} \quad (3.7)$$

Die Ermittlung der **Antriebsleistung** erfolgt mit der Formel, wie vorstehend erwähnt.

$$P_A = P_V + P_B \quad (3.8)$$

## 3.2 Ermittlung des Förderseils

Zur Ermittlung den **Seildurchmesser** muss man die Seilsicherheit nach TAS 6.8.1 berücksichtigen. Die Seilsicherheit gegenüber der statischen Belastung muss mindestens sein [TAS]

$$\text{Für Seilfahrt} \quad S_s \geq 9.5 - 0.001 \times L \quad (3.9)$$

$$\text{Für Güterförderung} \quad S_s \geq 7.2 - 0.0005 \times L \quad (3.10)$$

d.h. es muss gelten

$$\text{Für andere Seile} \quad \frac{\text{rechnerische Bruchkraft } (F_{e.c.min})}{\text{statische Belastung } (G_{st})} \geq S_s \quad (3.11)$$

$$\text{Für Förderseile} \quad \frac{\text{ermittelte Bruchkraft } (F_{e.min})}{\text{statische Belastung } (G_{st})} \geq S_s \quad (3.12)$$

Wie zum Beispiel, eine Güterförderung mit  $L = 1000 \text{ m}$ , die Gewichtskraft (Korb=  $7000 \text{ kg}$  und Zuladung=  $10200 \text{ kg}$ ) mit  $170 \text{ kN}$ . Da die benötigte Tragfähigkeit der Seile erheblich vom Seilgewicht abhängt, erhält man den Seildurchmesser durch Probieren. Nehmen wir hier einen Seildurchmesser von  $d_s = 56 \text{ mm}$ . Seillängengewicht  $M = 12.23 \text{ kg/m}$  werden nach Formel aus DIN EN 12385-2 errechnet. dann die mindeste Sicherheit

$$S_s \geq 7.2 - 0.0005 \times 1000 = 6.7 \quad (3.13)$$

Die ermittelte Bruchkraft wird nach DIN EN 12385-4 errechnet,  $R_r$  und  $K$  werden nach entsprechenden Seildurchmesser ausgewählt

$$F_{e.min} = \frac{d_s \cdot R_r \cdot K}{1000} = 2026 \text{ [kN]} \quad (3.14)$$

Und Seilgewichtskraft nach

$$G_{seil} = M \times L = 120 \text{ [kN]} \quad (3.15)$$

Die Sicherheit ist

$$S_s = \frac{F_{e.min}}{\text{Gewichtskraft} + \text{Seilgewichtskraft}} = \frac{2026 \text{ kN}}{290 \text{ kN}} = 7 \geq 6.7 \quad (3.16)$$

Bei einer Nutzung dieser Förderanlage für Seilfahrten mit Personenbeförderung können wegen der höheren Seilsicherheit

$$S_s \geq 9.5 - 0.001 \times 1000 = 8.5 \quad (3.17)$$

Mit einem Korbgewicht von  $7000 \text{ kg}$  und einem mittleren Gewicht eines Fahrgastes von  $80 \text{ kg}$

$$n = \left( \frac{F_{e.min}}{S} - G_{korb} - G_{seil} \right) \cdot \frac{1}{80 \cdot 9.81} = 61 \text{ [Personen]} \quad (3.18)$$

befördert werden.

Der Durchmesser des Seilträgers mit Fahrgeschwindigkeiten über  $4 \text{ m/s}$  beträgt wenigstens das 80-fache des Seilnennendurchmessers mit der Empfehlung der TAS, hierbei nehmen wir 100-fache

$$d_{tr} = 100 \times d_s = 5600 \text{ [mm]} \quad (3.19)$$

Aber aus wirtschaftlichen Gründen wird es etwas kleiner gewählt zu  $d_{tr} = 5000 \text{ mm}$ .

### 3.3 Ermittlung der Scheibenbremse

Die Bremse ist mit den vorgegebenen Konstruktionsdaten für die gewünschten Betriebsbedingungen ausreichend dimensioniert. Zur Berechnung der Bremswirkung je nach TAS 3.9

$$S_B = \frac{F_B}{F_{\ddot{U}}} \quad (3.20)$$

Die statische Bremssicherheit  $S_B$  ist das Verhältnis der Bremskraft zur Gewichtskraft aus der betrieblichen Überlast, und die folgend Forderung nach

$$S_B \geq 3 \text{ Für Fahr – und Sicherheitsbremse}$$

Die Bremskraft ist nach

$$F_B = \mu \cdot F_A \cdot Z_{Br} \quad (3.21)$$

Die Anpresskraft  $F_A$  und Reibwert eines Bremskrafterzeugers nach Angabe des Herstellers (Diagramm, Datenblatt). Die betriebliche Überlast ist die Überlast auf Seilträger, die Ermittlung hängt von der Falle der Güterförderung und Seilfahrt ab<sup>4</sup>.

$$F_A \geq \frac{3 \cdot F_{\ddot{U}}}{\mu \cdot Z_{Br}} \quad (3.22)$$

Bremsverzögerungen bei Anlagen mit Fahrgeschwindigkeiten über  $4 \text{ m/s}$ . Die Verzögerung nach TAS ist

$$a_B = \frac{F_B - F_{\ddot{U}}}{m_{ges}} \cdot 9.81 \geq 2 \text{ m/s}^2 \quad (3.23)$$

Dann gibt es.

$$F_A \geq \frac{\frac{2 \cdot m_{ges}}{9.81} + F_{\ddot{U}}}{\mu \cdot z} \quad (3.24)$$

Die Scheibenbremsen können als Haltbremse oder Verzögerungsbremse wirken. Durch Gl.3.21 und Gl.3.23 wird die rechnerische Anpresskraft errechnet und die angepasste Scheibenbremse verwendet.

---

<sup>4</sup> Nach TAS 3.11.1

### 3.4 Ermittlung des Seiltrommeln

#### Trommelwanddicke:

Alle Seiltrommeln verhalten sich ähnlich, charakteristisch ist das Verhältnis von Trommeldurchmesser zu Seildurchmesser ( $d_{tr}/d_s$ ). Nach [Neugebauer 1979] erlaubt dies für die maximale Vergleichsspannung  $\sigma_{v\ max}$  im Trommelmantel den statischen Ansatz

$$\sigma_{v\ max} = \frac{F_{S\ max}}{h \cdot d_s} \varphi_d \cdot \varphi_R \cdot \varphi_E \cdot \varphi_\chi \cdot \varphi_s \cdot \varphi_\delta \leq \sigma_{zul} \quad (3. 25)$$

Mit den im [Anhang 1], [Anhang 2], [Anhang 3] angegebenen Faktoren:

$\varphi_d$  Faktor des Durchmesserhältnisses  $d_{tr}/d_s$

$\varphi_R$  Faktor der Höhe  $h_R$  des Rillenstegs

$\varphi_E$  Faktor des Elastizitätsmoduls  $E_s$  des Seils

$\varphi_\chi$  Faktor des Fällgrads  $\chi$  des Seils

$\varphi_s$  Faktor der Rillensteigung  $s$

$\varphi_\delta$  Faktor des Stützwinkels  $\delta$  der Rille bei mehrlagiger Wicklung

Die Gleichung für die Trommelwanddicke  $h$  lautet dann

$$h \geq \frac{F_{S\ max}}{\sigma_{zul} \cdot d_s} \cdot \varphi_d \cdot \varphi_R \cdot \varphi_E \cdot \varphi_\chi \cdot \varphi_s \cdot \varphi_\delta \quad (3. 26)$$

#### Wickellänge:

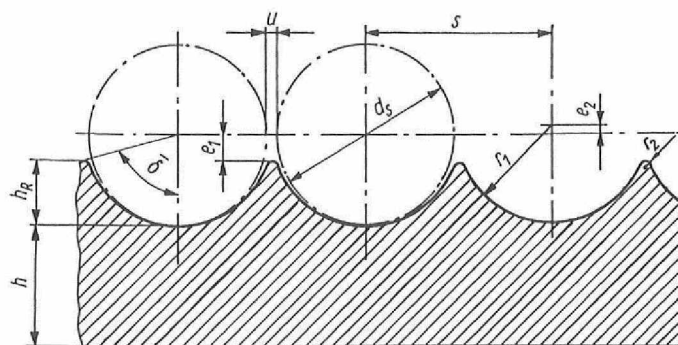


Abb.3. 1 Rillenprofile

Nach TAS verlangt die Rillensteigung  $s$  ist so zu wählen, dass sich die aufgewickelten Seillagen nicht berühren ( $s \geq 1.05d_s$ ). Die Rillenzahl hängt von Seillänge und Trommeldurchmesser ab, es lautet nach

$$z = \frac{l_s}{d_{tr} \cdot 2 \cdot \pi} + 2^5 \quad (3.27)$$

Dann leiten wir die mindeste Wickellänge

$$l_{wickel} = z \cdot s = \left( \frac{l_s}{d_{tr} \cdot 2 \cdot \pi} + 2 \right) \cdot 1.05d_s \quad (3.28)$$

Auf der Trommel muss zusätzlich Platz für die Seilbefestigung sein, damit die bewickelte Seiltrommellänge berechnen kann.

### 3.5 Ermittlung des Seilrutschens

Bei der Treibscheibenförderung muss die Reibung zwischen Seil und Treibscheibe die von der Maschine abgegebene Umfangskraft beim Heben oder Einhängen von Lasten auf das Seil übertragen werden. Dabei muss genügend Sicherheit gegen Rutschen vorhanden sein, da sonst unübersehbare Gefahren eintreten. Man unterscheidet die Sicherheit nach statisch und dynamisch.

Statische Sicherheit gegen Seilrutschen:

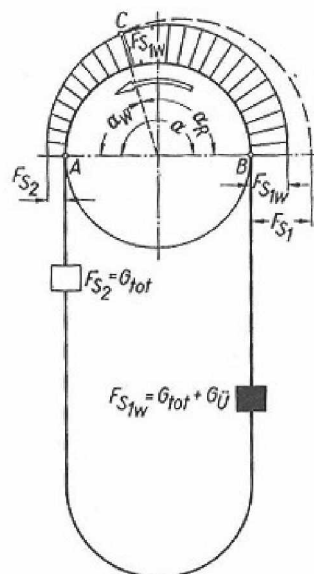


Abb.3. 2 Seilkräfte zum Heben von Lasten

<sup>5</sup> Bei tiefster Lage des Lastaufnahmemittels müssen mindestens 2 Seilwindungen verbleiben.



Wie Abb.3.2, auf dem auflaufenden Seil ist die Seilkraft  $F_{S1w}$  durch die Totlast  $G_{tot}$  und das größte Übergewicht  $G_{\ddot{U}}$  (meist die Nutzlast) bestimmt. Dann ergibt sich die Mitnahmekraft

$$F_{Uw} = F_{S1w} - F_{S2} = G_{\ddot{U}} \quad (3. 29)$$

Und dabei gilt für die größte Durchzugskraft

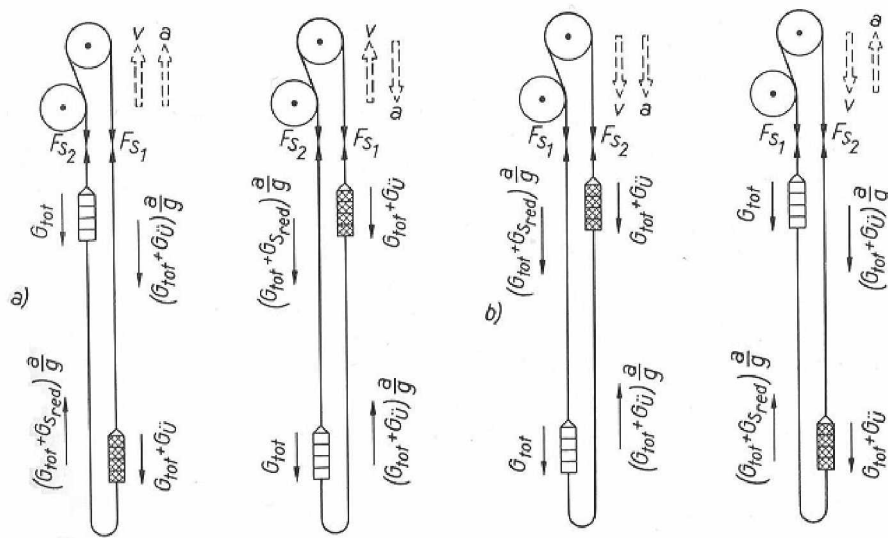
$$F_{Ug} = F_{S2}(e^{\mu\alpha} - 1) = G_{tot}(e^{\mu\alpha} - 1) \quad (3. 30)$$

Damit ergibt sich nach [Maercks und Ostermann 1960], die statische Sicherheit gegen Rutschen

$$S_{R,Stat} = \frac{F_{Ug}}{F_{Uw}} = \frac{G_{tot}(e^{\mu\alpha}-1)}{G_{\ddot{U}}} \quad (3. 31)$$

Für Anwendung wird die Nutzlast durch erforderliche statische Sicherheit bestimmen zu können.

Dynamische Sicherheit gegen Seilrutsch:



a).Heben

b).Einhängen

Abb.3. 3 Kraftverhältnisse bei der Treibscheibenförderung

Nach Abb.3.3 links, mit den allgemeinen Bezeichnungen ergibt sich

$$F_{S1} = G_{tot} + G_{\ddot{U}} + (G_{tot} + G_{\ddot{U}}) \frac{a}{g} = \frac{(G_{tot}+G_{\ddot{U}})}{g} (g + a) \quad (3. 32)$$

$$F_{S2} = G_{tot} - (G_{tot} + G_{Sred}) \frac{a}{g} \quad (3. 33)$$

$$F_{Uw} = F_{S1} - F_{S2} = \frac{2G_{tot}}{g} a + \frac{G_{\ddot{U}}}{g} (g - a) - \frac{G_{Sred}}{g} a \quad (3.34)$$

$$F_{Ug} = F_{S2}(e^{\mu \cdot \alpha} - 1) = \left[ \frac{G_{tot}}{g} (g - a) - \frac{G_{Sred}}{g} a \right] \cdot (e^{\mu \cdot \alpha} - 1) \quad (3.35)$$

Damit ergibt sich die dynamische Sicherheit gegen Seilrutsch für Anfahrverhältnisse

$$S_{R,dyn} = \frac{F_{Ug}}{F_{Uw}} \quad (3.36)$$

Multipliziert man die Gleichungen für  $F_{Ug}$  und  $F_{Uw}$  mit  $g$  so erhält man

$$S_{R,dyn} = \frac{[G_{tot}(g-a) - G_{Sred} \cdot a] \cdot (e^{\mu \cdot \alpha} - 1)}{2G_{tot} \cdot a + G_{\ddot{U}}(g+a) + G_{Sred} \cdot a} \quad (3.37)$$

Nach Abb.3.3 rechts (Einhängen). Es erübrigt sich also eine Berechnung der zulässigen Verzögerung beim Heben sowie der zulässigen Beschleunigung beim Einhängen von Lasten. Dann es lautet

$$S_{R,dyn} = \frac{[G_{tot}(g+a) + G_{Sred} \cdot a] \cdot (e^{\mu \cdot \alpha} - 1)}{G_{\ddot{U}}(g-a) - 2G_{tot} \cdot a - G_{Sred} \cdot a} \quad (3.38)$$

Setzt man in Gl. (3.36)  $S_{R,dyn} = 1$ , so lässt sich für den Grenzzustand des Seilrutsches die maximal zulässige Beschleunigung beim Heben von Lasten (bzw. die maximal zulässige Verzögerung beim Einhängen von Lasten) berechnen. Die Ermittlung der Verzögerung beim Einhängen von Lasten ist für die Berechnung der Sicherheitsbremse nach TAS 3.11 gefordert. Aus Gl. (3.36) folgt

$$a = \frac{G_{tot}(e^{\mu \cdot \alpha} - 1) - G_{\ddot{U}}}{G_{tot}(e^{\mu \cdot \alpha} + 1) + G_{Sred} \cdot e^{\mu \cdot \alpha} + G_{\ddot{U}}} g \quad (3.39)$$

# 4 Sicherheit des Förderseiles

Die Förderseile werden durch schwellende Spannungen, Verschleiß und Korrosion beansprucht. Ihre Lebensdauer ist deshalb von wenigen Ausnahmen abgesehen endlich. Die Sicherheit, mit der ein Seilbruch vermieden wird, hängt im Wesentlichen von der zuverlässigen Inspektion der Seile ab. In diesem Kapitel werden Seilschäden, Überwachung und Prüfung der Seile und bezügliche technische Regeln berücksichtigt.

## 4.1 Seilschäden

Seilschädigung beeinträchtigt seine Belastungsfähigkeit und Betriebssicherheit. Gewaltbruch und Ermüdungsbruch sind die häufigsten Seilschäden. Gewaltbruch infolge Überschreitens der statischen Festigkeit treten nur bei sehr großer Überlastung auf. Ermüdungsbruch stellt sich während des Betriebs in steigender Anzahl ein, weil die schwingende Beanspruchung nahezu immer oberhalb der Dauerfestigkeit liegt. Besonders kritische Stellen sind Seilbefestigungen, Seilauflauf- und Seilablaufbereiche an nicht oder nur gering bewegten Orten. Darüber treten Seilschäden in Form von Verformung, Korrosion und Verschleiß des Seils auf.

Sichtbare Formänderungen des Förderseils treten häufig lokal oder über eine kurze Seillänge auf und können zu einer ungleichen Lastverteilung innerhalb des Seils und damit zu einer teilweise erheblichen Beeinträchtigung der Betriebssicherheit führen.

### Korkenzieherartige Verformung



Abb.4. 1 Korkenzieherartige Verformung

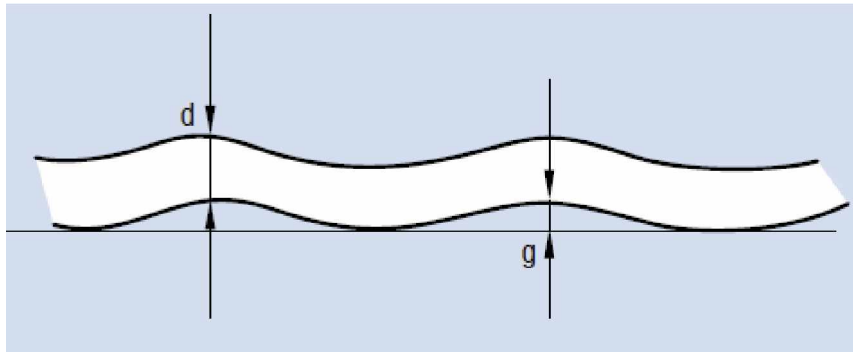


Abb.4. 2 Messung der Welligkeit

Es tritt bei Litzenseilen als auch bei Spiralseilen auf (Abb.4.1). Die Ursachen dafür sind ungleiche Längen der Litzen durch Fehler des Seils oder der Seilendverbindung. Nach längerem Betrieb kann dies zu Seilverschleiß und zu Drahtbrüchen, außerdem zu Lagerschäden der Seilscheiben führen. Bei schwachem Korkenzieher kann das Seil aus sicherheitstechnischer Sicht weiter betrieben werden. Aber das Förderseil ist spätestens abzulegen, wenn die Verformung  $g$  (nach Abb.4.2) an der ungünstigsten Stellen  $\frac{1}{3}$  des Seildurchmessers erreicht.

### Korbbildung



Abb.4. 3 Korbbildung

Eine Korbbildung ist die Folge eines Längenunterschieds zwischen der Seileinlage und den äußeren Litzenlagen (Abb.4.3). Die gelockerten Außenlitzen können auf der Einlage durch den Lauf über die Seilscheiben zu einem Korb zusammengeschoben werden. In jedem Fall wird die gleichmäßige Lastverteilung auf den gesamten Querschnitt dadurch unmöglich gemacht. Förderseile mit Korbbildung sind deshalb unverzüglich abzulegen.

## Austretende Seileinlage oder Litze



Abb.4. 4 Austretende Einlage

Hierbei wie Abb.4.4 gezeigt hat, dass entweder die Einlage (oder bei drehungsarmen Seilen der Seilkern) zwischen den Außenlitzen heraustritt, oder dass eine Außenlitze des Seils aus dem Seilverband heraustritt. Bei den Verschiebungen der Außenlitzen sind Fehler an den Seilscheiben anzunehmen. Insbesondere die Rillenradien und die Ausrichtung der Scheiben sind zu überprüfen und in Ordnung zu bringen, bevor ein neues Seil aufgelegt wird.

## Schlaufenbildung

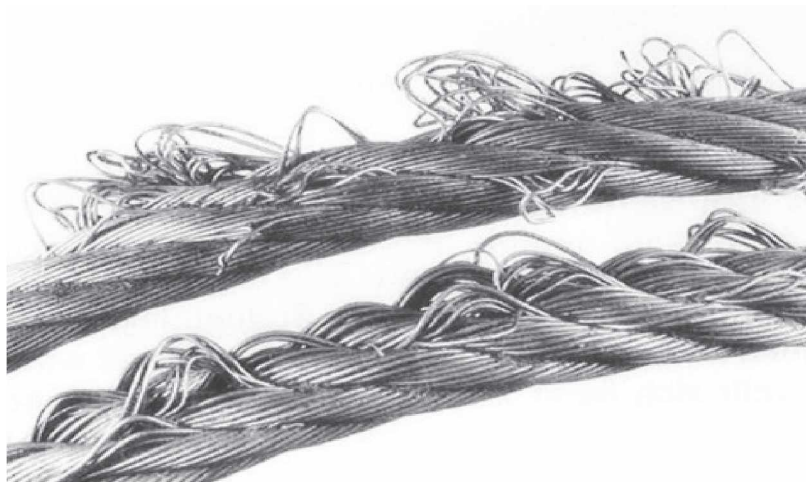


Abb.4. 5 Drahtschlaufen

Durch mangelhafte Schmierung und fehlerhaften Litzenaufbau verursacht die Schlaufenbildung (Abb.4.5), damit unverzüglich abzulegen sind. Bei der Schlaufenbildung wölben sich einzelne Drähte oder Gruppen von Drähten häufig an der Seilseite auf, die der Seilscheibenrinne gegenüberliegt, wodurch Schlaufen entstehen.

## Klanken und Seilschlinge

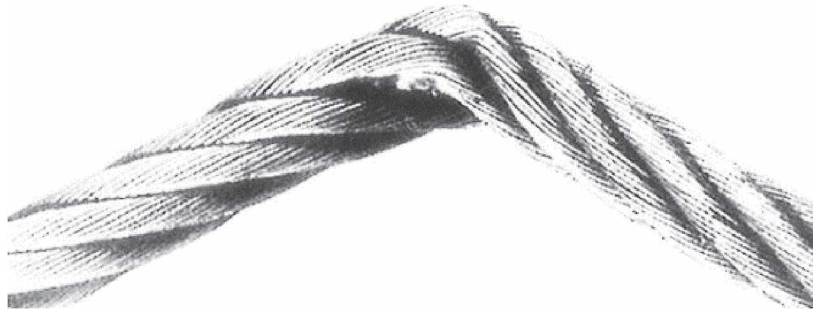


Abb.4. 6 Klanken

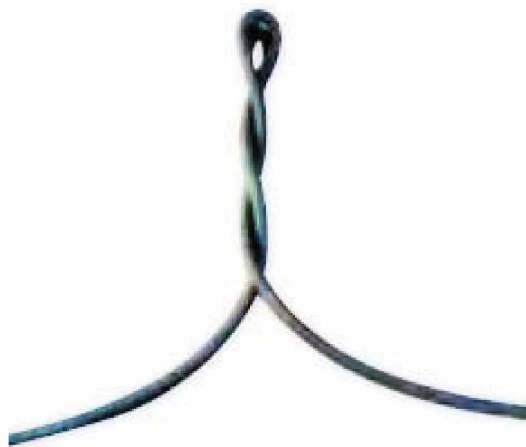


Abb.4. 7 Seilschlinge

Klanken oder Seilschlinge (Abb.4.6 und Abb.4.7) ist eine Verformung, die durch Zuziehen des Seiles entsteht, die zugezogen wurde, ohne dass sich das Seil um seine eigene Achse drehen konnte. Dadurch entsteht ein Ungleichgewicht der Seilschlaglänge, die zu übermäßigem Verschleiß führt. Das Drahtseil ist verformt, so dass nur ein Bruchteil der ursprünglichen Festigkeit erhalten bleibt. Wenn das Seil eine Klanke oder Schlinge aufweist, muss es abgelegt werden.

## Schädigungen durch Hitzeeinwirkung oder Blitzschlag

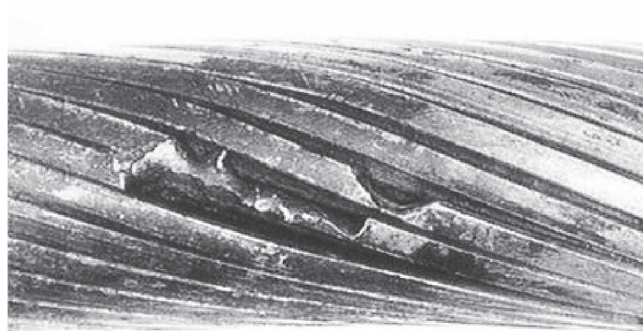


Abb.4. 8 Spiralseil mit Blitzschaden

Drahtseile, die einer außergewöhnlichen Wärmeeinwirkung ausgesetzt werden, wie an dem Spiralseil in Abb.4.8 zu sehen ist. Die betroffenen Drähte und möglicherweise auch die Nachbardrähte sind über die sichtbaren Schäden hinaus geschädigt, oder einen deutlichen Verlust von Schmiermittel zu erkennen ist. Bei dem Schaden nach Abb. 4.8 ist zu beobachten, dass die benachbarten Drähte nach dem Drahtbruch gemeinsam aus dem Verband austreten können. Deshalb muss die Stelle saniert werden, oder das Seil muss abgelegt werden.

## 4.2 Überwachung und Wartung

Die schwellende Beanspruchungen, Korrosion und sonstige Schädigungen den Seilen können wesentliche Seilschäden verursachen. Der sichere Betrieb mit Seilen kann nur durch regelmäßige Inspektion gewährleistet werden. Die Seile müssen auf die gesamte Länge besichtigt werden, insbesondere auf der am stärksten beanspruchten Strecke. Bei den meisten Förderanlagen tritt die höchste Beanspruchung regelmäßig an typischen Stellen auf.

Ebenfalls sind die Seilendverbindungen bei jeder Inspektion zu beobachten. Bei großem Anteil von schwellenden Belastungen treten Seilschäden meist zuerst am Übergang zu den Seilendverbindungen auf. Besonders die unten Seilendverbindungen sind durch Korrosion gefährdet, da das Regenwasser an dem Seil entlang zu den Seilendverbindungen läuft und sich dort länger bleibt. [Feyrer 1989]

Drahtseile müssen regelmäßig gewartet werden, wobei die auszuführenden Arbeiten abhängen von der Art und Benutzung der Seile. Es gibt viele Maßnahmen ein guter betrieblicher Zustand der Seilen zu gewährleisten, wie z. B: Nachschmierung (am besten durch Dauerschmierung), Reinigung von Drahtseilen, Entfernen von gebrochenen Drähten usw. Diese vorbeugenden Maßnahmen zur Vermeidung von Seilschäden werden nach DIN 15020 eingesetzt. [DIN 15020]

## 4.3 Seilprüfung

Zur Untersuchung eines Drahtseiles auf seine Sicherheit, ohne das Seil zu zerstören oder in seiner Funktionsfähigkeit zu beeinträchtigen, bieten sich verschiedene mögliche Prüfungsverfahren an. Ein wesentliches Merkmal für Seilschäden ist die Anzahl und die Verteilung der Drahtbrüche. Die Seilprüfung auf Drahtbrüche kann durch visueller Prüfungsverfahren auf äußere Drahtbrüche und mittels magnetinduktiver Prüfungsverfahren auf äußere und innere Drahtbrüche überprüft werden.

### 4.3.1 Magnetinduktive Seilprüfung

Mittels magnetinduktiver Prüfung können zusätzlich innere Schäden wie Drahtbrüche, Korrosion und Verschleiß quantitativ bestimmt werden. Dazu wird um das zu untersuchende Seil ein Magnetprüfkopf installiert, bestehend aus radialen Permanentmagneten, einem Eisenrückschluss, einem Weggebe und im Prüfkopf befindlichen Sensoren zur Erfassung von Magnetfeldern bzw. zur Erfassung des magnetischen Flusses im Seil. [Gronau, O. 2007]

Durch Permanentmagnete und den Eisenrückschluss wird der Bereich des umschlossenen Seiles magnetisiert. Das Seil wird in diesem Bereich von Magnetlinien durchflossen, deren Feld homogen in axialer Richtung zum Seil ausgerichtet ist. Befinden sich im umschlossenen Bereich des Seiles Fehlerstellen, die durch Drahtbrüche, Korrosion-, oder Verschleißstellen sowie Unregelmäßigkeiten in der Fluchtung des Seiles verursacht werden, so entsteht hier ein magnetisches Feld, das gegenüber dem axialen eine zusätzliche radiale Komponente besitzt, deren Größe und Art von der vorhandenen Fehlerstelle abhängt.

Wird ein Seil bis in die Sättigung magnetisiert, so wird den radialen Feldkomponenten, die im Inneren des Seiles entstehen, von den äußeren Drahtlagen nur ein geringer Widerstand entgegengesetzt. Diese radialen Feldkomponenten können so ohne starke Schwächung aus dem Seil heraustreten und durch entsprechende Sensoren erfasst werden. [Fuchs, D. 1986]

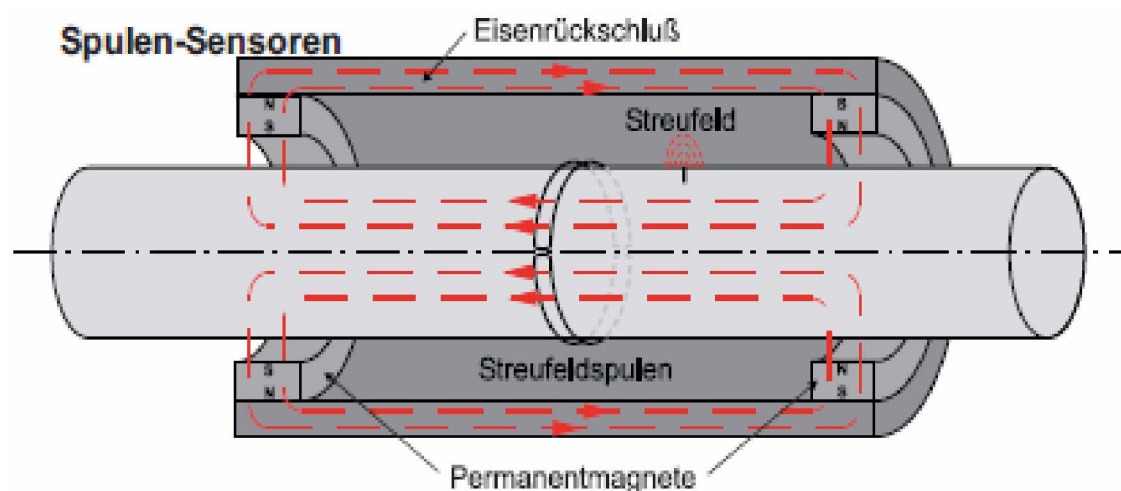


Abb.4. 9 Grundprinzip der Streufeldmessung mit Spulensensoren



Als Sensoren zur quantitativen Erfassung von Drahtbrüchen (Local faults, LF) werden sogenannte Halbspulen. (Wie Abb.4.9) [Gronau,O.2003]

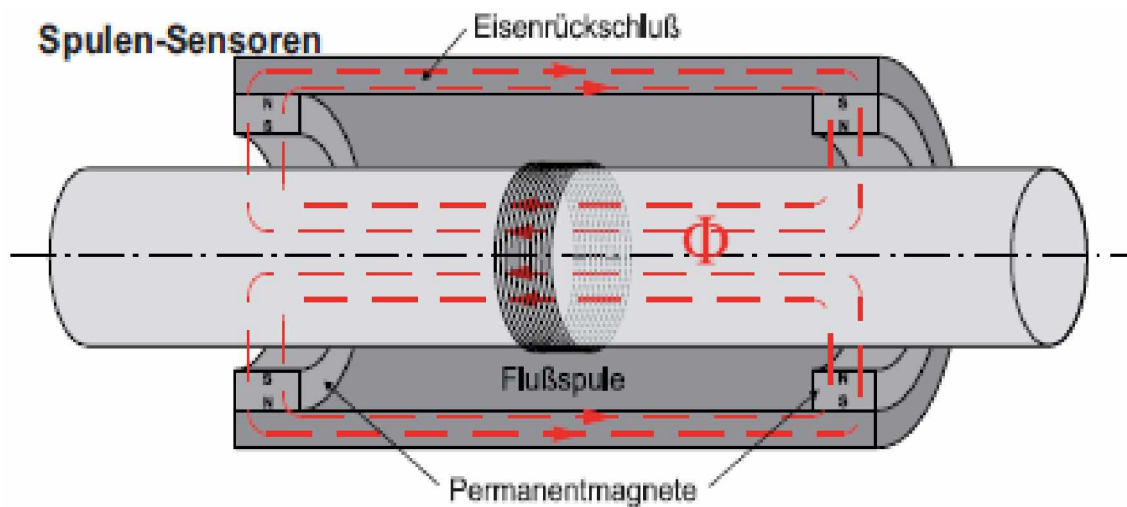


Abb.4. 10 Grundprinzip der Flussmessung mit Spulensensoren

Durch eine Änderung des metallischen Querschnittes, hervorgerufen durch Verschleiß und Korrosion, ändert sich der magnetische Fluss innerhalb des Seilprüfkopfes (Loss of metallic area – LMA). Der magnetische Fluss bzw. die Änderung des magnetischen Flusses kann durch eine weitere um das Seil gewickelte Spule erfasst werden (wie Abb.4.10).

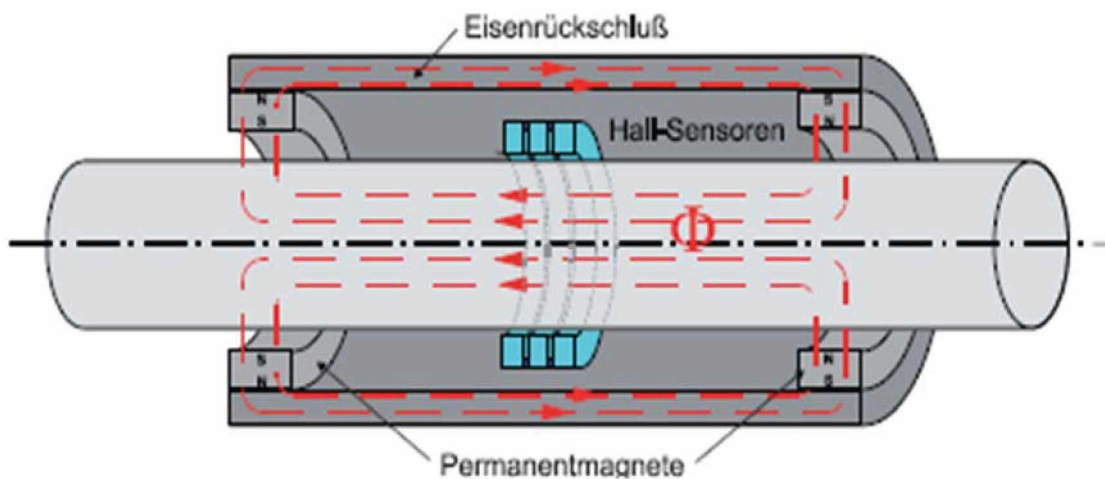


Abb.4. 11 Prüfkopf mit Hall-Sensoren

Zur Messung des metallischen Seilquerschnittes in Abb.4.11 werden Hall-Sensoren eingesetzt. Hall-Sensoren bieten die Vorteile einer wesentlich weniger aufwändigen Elektronik, einer einfacheren Installation und ein erhöhtes Auflösungsvermögen bei der Querschnittmessung (LMA-Messung).

Das Prüfergebn wird unmittelbar während der Prüfung als Papierdiagramm

oder auf dem Bildschirm des PC angezeigt. Zusätzlich werden die Daten auf dem Rechner gespeichert, damit bestimmte Stellen unmittelbar nach der Messung gezielt anzufahren und visuelle Prüfung durchzuführen.

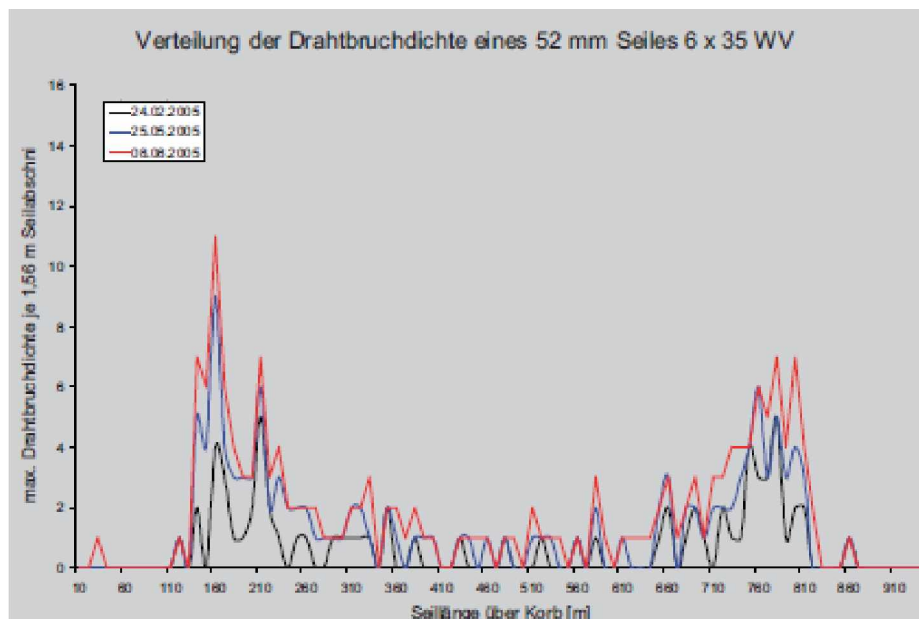


Abb.4. 12 Ergebnisdarstellung der Drahtbruchverteilung

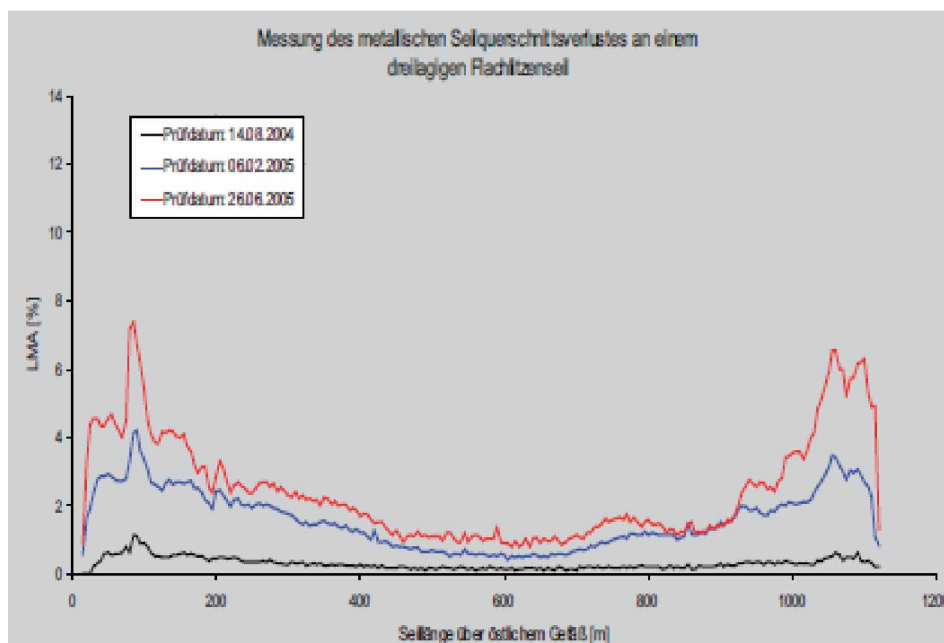


Abb.4. 13 Ergebnisvergleich der Verteilung des Querschnittverlustes

Prüfergebnisse sind beispielweise in den Diagrammdarstellungen der Drahtbruchverteilung (Abb.4.12) und des Querschnittverlustes (Abb.4.13) gut zu erkennen. Die Drahtbrüche an der schlechtesten Stelle für den gezeigte Beispiel ist die Stelle bei 160 m. Hier beträgt die maximale Drahtbruchdichte 11 Drahtbrüche, bezogen auf die für dieses konkrete Seil spezifische Bezugslänge

von 1.56 m. Zwischen dem gemessenen metallischen Querschnittsverlust und dem tatsächlichen Bruchkraftverlust des Seils gibt es keinen linearen Zusammenhang, weil der Korrosionsangriff innerhalb des Seilquerschnitts unterschiedlich verteilt sein kann. [ Gronau, O. 2007]

### 4.3.2 Visuelle Seilprüfung

Für alle Schachtförderanlagen mit Seiltrieb müssen üblicherweise, mindestens einmal wöchentlich die Seile auf äußerliche Beschädigungen visuell überprüft werden. Die vorherige Prüfung ist sehr zeitaufwändig, das Seil läuft dabei mit einer Geschwindigkeit von ca. 0.5 m/s, dabei versuchen die Mitarbeiter, Beschädigungen mit dem Auge zu erkennen.

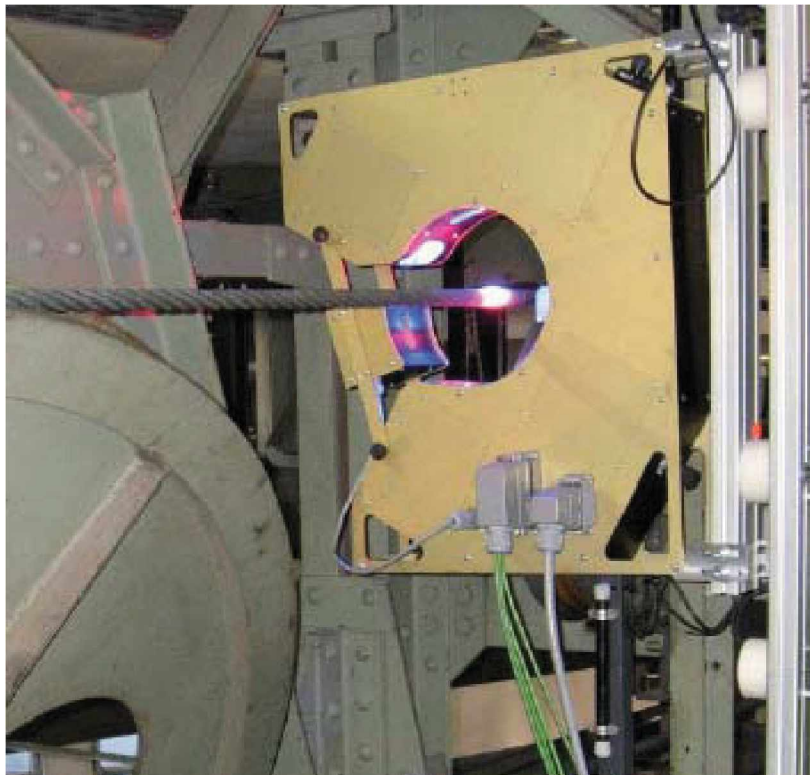


Abb.4. 14 mobile Prüfgerät aus Winspect

Derzeitig wird ein Prüfgerät (Abb.4.14) entwickelt, das die Seil-Oberflächen mit Kameras aufzeichnet und softwarebasiert auswertet. Dies geschieht mit Geschwindigkeiten bis zu 15 m/s, womit die Prüfung im normalen Förderbetrieb erfolgen kann.

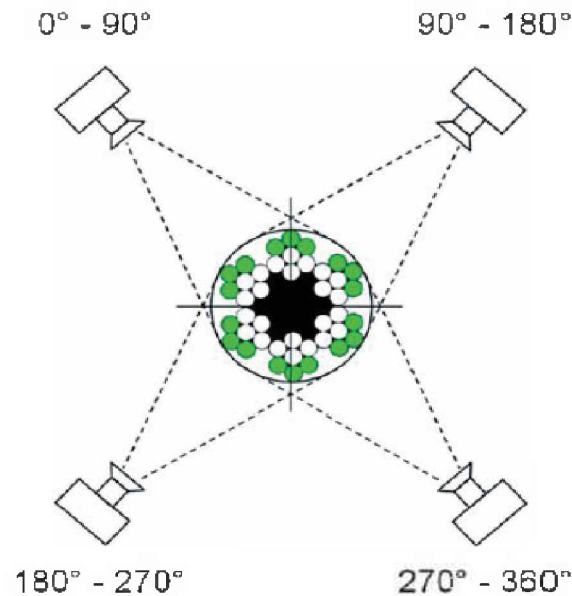


Abb.4. 15 Schematische Darstellung der Kameras mit Sichtbereich

Die Prüfung läuft wie Abb.4.15, während der Aufnahme der Oberfläche wird das Seil mit Hochleistungs-Leuchtdioden homogen und exakt dosiert ausgeleuchtet und von Kameras während der Bewegung gescannt. Durch die Verwendung von vier Kameras wird der gesamte Seilumfang aufgezeichnet. Die Bilddaten (Abb.4.16) werden während der Seilaufnahmen direkt auf einem PC abgespeichert und stehen dann zu weiteren Verarbeitung zur Verfügung.

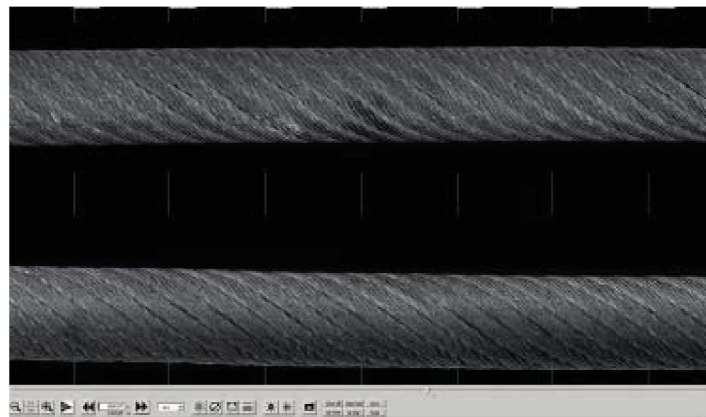


Abb.4. 16 Detaildarstellung von Kameras

Bei der Aufnahme ist ein möglichst ruhiger Lauf des Seils von Vorteil, da starke Schwingungen des Seils die spätere Detektion erschweren. Ebenso kann sich eine stark verschmutzte Oberfläche des Seils negativ auf die Auswertung auswirken. Den Verlauf des Signals zu interpretieren, erfordert sehr viel Erfahrung von Prüfer.

Die visuelle Prüfung des Seiles kann im Allgemeinen wöchentlich oder sogar täglich durchgeführt werden. Es können jedoch bereits leichte Veränderungen rechtzeitig gefunden werden, bevor sie sich zu einem Drahtbruch verschlimmern.

### **4.3.3 Vergleich des Prüfverfahrens**

Grundsätzlich gibt es diesen zwei verschiedenen Prüfverfahren für die Kontrolle von Stahlseilen. Bei magnetinduktiven Prüfung gibt es die Möglichkeit, dass sich verschiedene Signalformen überlagern und nicht trivial durch den Prüfer voneinander getrennt werden können.

Einige Schäden können von der MI-Prüfung sogar physikalisch bedingt überhaupt nicht abgebildet werden. Den Verlauf des Signals zu interpretieren, erfordert sehr viel Erfahrung der Prüfer.

Die visuelle Prüfung des Seiles kann im Allgemeinen wöchentlich oder sogar täglich durchgeführt werden. Es können jedoch bereits leichte Veränderungen rechtzeitig gefunden werden, bevor sie sich zu einem Drahtbruch verschlimmern. Das Ergebnis erlaubt einen Schadensbeginn frühzeitig zu erkennen, sodass man handeln kann, bevor das Seil beschädigt ist.

Auf jeden Fall sind beide Verfahren somit nicht alternativ zu sehen, sondern ergänzen sich gegenseitig. Durch die Durchführung des einen Verfahrens lässt sich das jeweils andere Verfahren nicht ersetzen.

## **4.4 Ablegekriterien**

Als Kriterien für die Ablegereifeerkennung bei Stahldrahtseilen können Seilverformungen, grobe Seilschäden, Litzenbrüche, Drahtbrüche, Seildurchmesser, Seilschlaglänge, Korrosion, Verschleiß und Aufliegenzeit herangezogen werden. Für die Schachtförderanlagen ist durch die Bergverordnungen (BVOS) bzw. TAS einfach vorgeschrieben, dass die Förderseile zur Seilfahrt, d.h. zur Personenbeförderung nicht mehr benutzt werden dürfen, wenn Anzeichen dafür festgestellt worden sind, dass die beim Auflegen vorhandene ermittelte Bruchkraft der Seile um mehr als 15 v. H. vermindert ist. Es bleibt nach dieser Vorschrift dem Sachverständigen vorbehalten, Drahtbrüche und andere Schäden als Bruchkraftverlust zu deuten.

## 4.4.1 Drahtbruchzahl

Die Ablegedrahtbruchzahl ist das Wichtigste von allen Ablegekriterien. Zur Erfassung der maximalen Drahtbruchzahl wird folgend dargestellt, ein Fenster mit der Bezugslänge dem Seil entlang geführt und dabei die Zahl der Drahtbrüche gezählt, die in dem Fenster erscheinen.

In [Anhang 6] ist die Anzahl der äußerlich sichtbaren Drahtbrüche bei der Ablegreife nach DIN 15020 angegeben. Das Seil ist abzulegen, wenn an irgendeiner Stelle auf einer Bezugslänge von 6fachem oder 30fachem Seildurchmesser die in Tabelle vorgegebene Zahl der äußerlich sichtbaren Drahtbrüche erreicht ist. Wie z.B.: Auf der Bezugslänge  $L = 6d$  beträgt in Tabelle für die höheren Triebwerksgruppen  $2_m$  bis  $5_m$  die Ablegedrahtbruchzahl jeweils aufgerundet von Kreuzschlagseilen 8% und von Gleichschlagseilen 4% aller Drähte der Außenlitzen. Bei den niederen Triebwerksgruppen  $1E_m$  bis  $1A_m$  ist die Ablegedrahtbruchzahl jeweils halb so groß wie bei den höheren Triebwerksgruppen.

Die vorkommende Ablegedrahtbruchzahl  $B_{A6} = 1$  bedeutet praktisch, dass dieses Seil nicht eingesetzt werden kann, da es schon mit einem Drahtbruch auf der gesamten Seillänge ablegereif ist. In TAS 6.3.2.5 werden die erforderliche Mindestbiegenzahlen bzw. Mindestverwindezahlen für Runddrähte angegeben, und zur Kurzfassung darf die Gesamtzahl der ausfallenden Drähte jedoch nicht größer als 10 v. H. aller Runddrähte des Förderseils sein. [Anhang 4] [Anhang 5]

## 4.4.2 Seildurchmesser

Die Abnahme des Seildurchmessers ist ein Ablegekriterium, durch das Strukturveränderungen, äußerer Verschleiß und bedingt Korrosion messtechnisch erfasst werden. Nach DIN 15020 ist ein Litzenseil abzulegen, wenn

- Der Seildurchmesser durch Veränderung auf längeren Strecken um 15% kleiner als der Seilennendurchmesser ist.
- Der Seildurchmesser durch Abrieb und Korrosion um 10% kleiner als der Seilennendurchmesser ist.

<b>Tragseile</b>			
verschl. Seile	10 % auf 200 d	5 % auf 30 d	–
Litzenspiralseile	15 % auf 200 d	8 % auf 30 d	–
<b>bewegende Seile</b>			
Fahrbetriebmittel mit Fangbremse	25 % auf 500 d	12 % auf 40 d	6 % auf 6 d
Fahrbetriebmittel ohne Fangbremse und Förderseile	25 % auf 500 d	8 % auf 40 d	6 % auf 6 d
<b>Standseilbahnen</b>	–	20 % auf 40 d	10 % auf 6 d
<b>Spannseile</b>	–	8 % auf 40 d	4 % auf 6 d

Tabelle 4. 1 maximal zulässige Querschnittsverluste nach DSB80

Unzulässige Querschnittsverminderung liegt in Tab.4.1 vor, wenn die Schwächung des metallischen Querschnittes (Drahtbrüche, Verschleiß, Korrosion usw.). Die Prozentangaben für bewegende Seile und Spannseile gelten für Seile in Gleichschlag. Bei Kreuzschlagseilen sind die 1.5fachen Werte zulässig.

Der Seildurchmesser darf nämlich bei unbelastetem Seil den Seilnennendurchmesser regelmäßig um bis zu 5% übertreffen. Zur Vermeidung die Unschärfe wird vorgeschlagen, dass das Litzenseil abzulegen ist, wenn der Seildurchmesser an irgendeiner Stelle 10% kleiner ist als der Durchmesser eines Seilstückes, das noch nicht über eine Scheibe gelaufen ist. Ein derartiges Seilstück ist regelmäßig nahe der Seilendverbindung zu finden. Wichtig ist dabei, dass alle Messungen, auch die der nicht über Seilscheiben gelaufenen Seilstücke, bei derselben Seilzugkraft durchgeführt werden. Dabei ist die völlige Entlastung des Seiles nicht empfehlenswert.

# 5 Sicherheitsnormen

Im Rahmen des Betriebs, der Prüfung und Überwachung von Schacht- und Schrägförderanlagen werden aus sicherheitlicher Sicht die zurzeit zur Verfügung stehenden technischen Regeln, Verordnungen und Normen konsequent genutzt. Es wird im Wesentlichen das Gesamtkonzept der Vorschriften und Regeln der Schachtfördertechnik dargestellt:

- Verordnungen
- Technische Anforderungen als Richtlinie
- Technische Normen

Dieser hat sich hinsichtlich der Aktualisierungsfähigkeit bewährt. Es hat sich immer wieder gezeigt, dass es bei dem schnellen technischen Fortschritt schwierig ist, die Verordnungen rechtzeitig anzupassen und aufeinander zu unterstützen.

## Technische Anforderungen an Schacht- und Schrägförderanlagen (TAS):

Die „Technische Anforderungen an Schacht- und Schrägförderanlagen (TAS)“ ist in Form einer Verwaltungsanweisung, als Richtlinie Errichtungsvorschriften erlassen. Es stellt die grundlegenden Anforderungen an die technische Ausführung von wichtigen Komponenten der Schachtförderanlagen.

Im Abschnitt 4 ist behandelten funktionellen und technischen Umfangs mit der Titel „Schachtüberwachungsanlagen und Schachtsignalüberwachungsanlagen für Seilfahrt- und Güterförderanlagen“ bezeichnet. Dabei werden auf die vielfältigen, insbesondere schachtabhängigen Überwachungsaufgaben hingewiesen werden, die in der Regel mit den Einrichtungen bzw. Funktionen der Einschlag- und gegebenenfalls der Fertigsignalgabe, den Visualisierungseinrichtungen integriert oder vernetzt sind.

Im Abschnitt 6 sind nicht nur die grundlegenden Anforderungen an die technische Ausführung von Seilen zu finden, sondern auch im Zusammenhang mit den Anforderungen an Seilsicherheiten dem erweiterten Unterabschnitt 6.8 zugeordnet worden. Die Bescheinigung über Werkstoffprüfungen nach §10 Abs.1 der BVOS ist bei allen Seilen nach den Mustern im [Anhang4] nach TAS Abschnitt 6 aufzustellen.



### Bergverordnung für Schacht- und Schrägförderanlagen (BVOS):

Gemäß des Bundesberggesetzes (BBergG) und in Verbindung mit der Verordnung zur Übertragung von Ermächtigungen zum Erlass von Rechtsverordnungen nach dem Bundesberggesetz wird die Bergverordnungen des Landesoberbergamtes Nordrhein-Westfalen für Schacht- und Schrägförderanlagen (BVOS) in der geltenden Fassung als Bergverordnung der Bezirksregierung Arnsberg für Schacht- und Schrägförderanlagen (BVOS) bekanntgemacht.

Diese Verordnung beinhaltet im wesentlichen Errichtungs- und Betriebsvorschriften sowie Vorschriften zur Erhaltung des erforderlichen Sicherheitsniveaus. Dabei werden Anforderungen an das beim Betrieb, der Überwachung und Instandhaltung beteiligte Personal sowie an die mechanische und elektrische Ausrüstung behandelt. In Abs. 3 der BVOS sind Inbetriebnahme und Überwachung aus sicherheitstechnischen Anforderungen zu finden.

Diese Prüfung ist durch §6 Abs. 3 der BOVS gegeben: "Die Prüfungen durch Sachverständige sind in Anwesenheit einer für die Anlagen zuständigen verantwortlichen Person durchzuführen. Der Unternehmer hat außerdem die für Prüfungen durch Sachverständige erforderlichen Arbeitskräfte und Hilfsmittel zu stellen und die Kosten der Prüfungen zu tragen." Weitere werden in §9, §11, §13, §14 und §16 sowie die zuständige verantwortliche Person für Prüfung, maximale Prüfabstände, Prüfablauf, Anlagenteil bzw. Betriebsbuch betroffen.

### Bergpolizeiverordnung des Umweltministeriums über Schacht- und Schrägförderanlagen(BPVOS):

Auf Grund von badischem Berggesetz, Allgemeinem Berggesetz für die Preußischen Staaten (ABG), sämtlich zuletzt geändert durch das Gesetz zum Schutz der Natur zur Pflege der Landschaft und über die Erholungsvorsorge in der freien Landschaft vom 21. Oktober 1975, und noch 7 anderen Gesetzen oder Verordnungen erlässt das Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr die Bergpolizeiverordnung über Schacht- und Schrägförderanlagen (BPVOS).

Diese Verordnung gilt in den der Bergaufsicht unterstehenden Betrieben für Schachtförderanlagen, Befahrungsanlagen und Hilfsfahranlagen. In Abs.3 bzw. §9 bis §32 dieser Verordnung ist eine Überprüfung von Anlagen oder Anlagenteilen vorgeschrieben, um äußerlich erkennbare Schäden oder Mängel festzustellen und durch Stichproben ihre ordnungsgemäße Funktionsfähigkeit sicherzustellen.

### DIN EN 12385:

In der Norm DIN EN 12385 „Drahtseile aus Stahldraht-Sicherheit“, insbesondere Teil 6 „Litzenseile für Schachtförderanlagen des Bergbaus“ und Teil 7 „Verschlossene Spiralseile für Schachtförderanlagen des Bergbaus“ werden die besonderen Anforderungen, Sicherheitsmaßnahmen, Überprüfung der Sicherheitsanforderungen und Prüfungen von Drähten an Litzenseile (mit Rund- und Formlitzten) sowie Flachseile als Förderseile, Bühnenseile und Unterseile für Schachtförderanlagen festgelegt. Sie ist zur Anwendung im Zusammenhang mit DIN EN 12385 Teil1 und Teil2 vorgesehen. Die Norm DIN EN 12385-6 enthält so die sicherheitstechnischen Festlegungen der Technischen Anforderungen an Schacht- und Schrägförderanlagen (TAS) und ist somit auch ohne Probleme in den 6. Nachtrag der TAS als Ersatz für die bisherigen DIN-Normen übernommen worden.

### DIN 21258:

In der Norm DIN 21258:2007-10 „Schmier- und Tränkungsstoffe für Treibscheiben-Förderseile im Bergbau – Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung“ wird Schutz der Seil, Seilschmierung, Seilprüfung (wegen Reibung und Korrosion) und andere Sicherheitstechnische Anforderungen berücksichtigt.

# 6 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen diese Arbeit wurde der Stand der Technik von Schachtförderanlagen ausführlich dargestellt. Es wurde ausführlich alle wesentlichen Typen von Schachtförderanlagen und deren wichtigste Komponenten behandelt und bewertet. Die Sicherheit wird seitdem vollständig auf die Förderseile übertragen. Die Fehlerannahme, dass das Seil reißt, ist im Sicherheitskonzept für Schachtförderanlagen nicht mehr zulässig.

Die notwendige hohe Zuverlässigkeit der Seile wird vor allem durch den in den Vorschriften der BVOS geforderten sehr hohen Aufwand und die Häufigkeit der regelmäßigen Prüfung der Seile durch Betriebsmitarbeiter und durch externe Sachverständige auch unter Anwendung magnetinduktiver Prüfverfahren oder visueller Prüfverfahren erreicht. Damit lassen sich alle möglichen Schadensentwicklungen, auch solche im Inneren der Seile, rechtzeitig aufdecken.

Das technische Regelwerk für Schachtförderanlagen in Deutschland, die Bergverordnung für Schacht- und Schrägförderanlagen (BVOS) und die zugehörigen Technischen Anforderungen an Schacht- und Schrägförderanlagen (TAS), basieren auf mehreren hundert Jahren Erfahrung mit Schachtförderanlagen im Bergbau. In das Regelwerk flossen bis heute ständig neue Erkenntnisse ein, die in vielen Fällen aus Schadensvorkommnissen empirisch gewonnen oder mit naturwissenschaftlichen und technischen Methoden erarbeitet wurden.

Aus den Erfahrungen der Störfälle heraus wurden im Regelwerk zusätzliche Überwachungsvorschriften laufend ergänzt. Fehler in Fahrtreglern und Bremssystemen beinhalten die Gefahr eines Übertreibens, das ist ein zu schnelles unkontrolliertes Einfahren in die Fahrwegenden, mit dem Risiko eines Seilrisses durch Anschlagen der Fördermittel. Die Konsequenz im Regelwerk besteht darin, dass diese besonders sicherheitswichtigen Komponenten von Schachtförderanlagen nach Bergrecht vor dem ersten Einsatz einem sehr aufwändigen Bauartgenehmigungsverfahren unterzogen werden müssen. Damit lassen sich diese Störfälle zukünftig mit sehr hoher Sicherheit ausschließen. Bemerkenswert bei der Auswertung der Störfälle ist die Tatsache, dass Seilrisse aufgrund von Seilversagen durch vernachlässigte Prüfungen oder unerkannte Schädigungsmechanismen in keinem einzigen Fall vorgekommen sind.

Das Ergebnis dieser Sicherheitsstudie ist der Nachweis, dass Schachtförderanlagen technische Systeme sind, die sich über Langzeit-Betrieb bewährt hat und nach dem heutigen Stand der Technik einen sehr hohen Sicherheitsstandard aufweist. Schachtförderanlagen sind im Vergleich zu den in anderen Studien untersuchten Fördersystemen auf jeden Fall eine mögliche Alternative für den sicheren Vertikaltransport von Behältern in dem projektierten Tiefenlager.

In der Schachtfördertechnik werden inzwischen bei Neuerrichtungen, Änderungen von Anlagenteilen und Einrichtungen bzw. bei einer schrittweisen Modernisierung einer Anlage technisch hochmoderne Entwicklungen eingesetzt, die auch aus Spitzentechnologien wie der Prozessleittechnik, der Verfahrenstechnik, der Luftfahrzeugtechnik und der Sicherheitstechnik bekannt sind.

In der Entwicklung, sind automatische Steuerungen mit integrierter Antriebsregelung für Fördermaschinen aufgebaut. Mit solchen selbstoptimierenden Steuerungen könnten zum Beispiel die Gefäße einer Skipfördereinrichtung sehr schnell in die Beladungsstationen oder in die Einladung einfahren und unter weitgehender Vermeidung von Schwingungsvorgängen trotzdem sehr genau positioniert werden. Unterschiedliche Beladungszustände der Gefäße und die daraus resultierenden wechselnden Lastmomente werden durch die selbsttätige kontinuierliche Anpassung der Regelung an sich ändernde wechselnde Verhältnisse kompensiert.

In anderer Entwicklung, sind dezentrale Prozessleitsysteme in der Anlage aufgebaut. Für den Aufbau umfangreicher Schachtsignalanlagen und Schachtsteuerungen mit zentralen und dezentralen SPS<sup>6</sup> bietet diese Technologie erhebliche Vorteile. Wenn an einzelnen Sohlen dezentral angeordnete Teilsteuerungen errichtet werden, wird der Aufwand für die elektrische Installation stark reduziert. Ein Kabel reicht aus, um alle Sohlen untereinander und mit der Fördermaschine zu vernetzen.

Der Trend der Technik für moderne Schachtförderanlagen wird durch den Einsatz leistungsfähiger, softwaregesteuerter, elektrischer und mikroelektrischer Komponenten und Steuersysteme bzw. Regelsysteme erzielt. Mit diesen Geräten lassen sich technisch anspruchsvolle und leistungsfähige Anlagen aufbauen, die man heute zu den High-Tech-Produkten zählen kann.

---

<sup>6</sup> Speicherprogrammierbare Steuerung (englisch: Programmable Logic Controller, PLC)

# Formelzeichen

$a$	$m/s^2$	lineare Beschleunigung
$a_B$	$m/s^2$	Beschleunigung
$a_V$	$m/s^2$	Verzögerung
$d_{tr}$	$mm$	Trommeldurchmesser
$d_s$	$mm$	Seildurchmesser
$F_1$	$kN$	Seilkraft
$F_2$	$kN$	Seilkraft
$F_A$	$kN$	Anpresskraft
$F_B$	$kN$	Bremsenkraft
$F_{\ddot{U}}$	$kN$	betriebliche Überlast bei Bremse
$F_u$	$kN$	statische Umfangskraft
$F_{S\ max}$	$kN$	maximale Zugkraft im Seil
$F_{e.min}$	$kN$	ermittelte Bruchkraft
$F_{e.c.min}$	$kN$	rechnerische Bruchkraft
$G$	$kg$	zu verfahrenes Gesamtgewicht
$G_{st}$	$kN$	statische Belastung
$G_{seil}$	$kN$	Seilgewichtskraft
$G_{Sred}$	$kN$	reduzierte Gewichtskraft der Seilscheiben
$I_{red}$	$kgm^2$	Trägheitsmoment aller rotierenden Teile
$K$	—	Faktor der Mindestbruchkraft

$L$	$m$	Teufe
$L_v$	$m$	Teufe mit konstanter Geschwindigkeit
$l_s$	$m$	Seillänge
$m_{ges}$	$kg$	gesamt Masse
$N$	$kg$	Nutzlast
$P_A$	$kw$	Antriebsleistung
$P_B$	$kw$	Beschleunigungsleistung
$P_V$	$kw$	Vollastbeharrungsleistung
$Q$	$kg/h$	Förderleistung
$R_r$	$N/mm^2$	Nennfestigkeit
$S$	—	Rillensteigung
$S_s$	—	Seilsicherheit
$S_{R,stat}$	—	statische Sicherheit gegen Seilrutsch
$t_F$	$s$	Förderzeit
$t_{Fa}$	$s$	Fahrzeit
$t_p$	$s$	Bedienpause
$\mu$	—	Reibwert
$v$	$m/s$	Fördergeschwindigkeit
$Z_{Br}$	—	Anzahl der Bremsen
$z$	—	Rillenzahl
$\alpha$	$^\circ$	Umschlingungswinkel
$\beta$	—	Faktor für rotierende Massen

$\omega$	$1/s$	Winkelgeschwindigkeit
$\sigma_{v\ max}$	$N/mm^2$	maximale Vergleichsspannung
$\sigma_{zul}$	$N/mm^2$	zulässige Spannung
$\varepsilon$	$1/s^2$	Winkelbeschleunigung
$\eta_G$	–	Gesamtwirkungsgrad des Antriebes

# Literaturverzeichnis

- [Arnold 1981] Arnold, Hartmut (1981): *Schachtfördertechnik. Mit besonderer Berücksichtigung des Steinkohlenbergbaus*. Essen: Verlag Glückauf.
- [Dubbel et al. 2007] Dubbel, Heinrich; Grote, Karl-Heinrich; Feldhusen, J. (2007): *Taschenbuch für den Maschinenbau*. 22., neubearbeitete und erw. Aufl. Berlin, New York: Springer.
- [Feyrer 1989] Feyrer, Klaus (1989): *Laufende Drahtseile. Bemessung und Überwachung. Ethingen bei Böblingen*: expert Verlag (Kontakt & Studium, Bd. 270 : Thema: Sicherheitstechnik).
- [Feyrer 2000] Feyrer, Klaus (2000): *Drahtseile. Bemessung, Betrieb, Sicherheit*. 2., überarb. und erw. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer.
- [Hoffmann 1941] Hoffmann, Hugo; Hoffmann, Carl (1941): *Lehrbuch der Bergwerkmaschinen (Kraft- und Arbeitsmaschinen)*. 3. umgearb. u. verb. Aufl. Berlin: Springer-Verl.
- [Hoffmann et al. 2005] Hoffmann, Klaus; Krenn, Erhard; Stanker, Gerhard (2005): *Bauelemente, ihre Konstruktion und Berechnung*. 7. Aufl. Wien [u.a.]: Oldenbourg (Fördertechnik / Klaus Hoffmann, Bd. 1).
- [Maercks 1960] Maercks, Josef; Ostermann, Walter (1960): *Bergbaumechanik. Lehrbuch f. bergmänn. Lehranstalten. Handbuch f.d. prakt. Bergbau*. 6., verb. Aufl. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer.
- [Neugebauer 1979] Neugebauer, Hans-Joachim (1979): *Berechnungsverfahren für ein- und mehrlagig bewickelte Seiltrommeln*. [S.l.: s.n.].
- [Pajer 1976-] Pajer, G. (1976-): *Unstetigförderer. 1*, stark bearb. Aufl. Berlin: Verlag Technik VEB (Fördertechnik).
- [Roloff 1972] Roloff, Hermann (1972): *Maschinenelemente Normung Berechnung Gestaltung*. 5th rev. ed. Brunswick, Friedr: Vieweg & Sohn (Viewegs Fachbücher der Techniker).
- [Römisch 2012] Römisch, Peter (2012): *Materialflusstechnik. Auswahl und Berechnung von Elementen und Baugruppen der Fördertechnik*. 10., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden (



- [Scheffler 1994] Scheffler, Martin (1994): *Grundlagen der Fördertechnik. Elemente und Triebwerke*. Braunschweig [u.a.]: Vieweg (Fördertechnik und Baumaschinen).
- [Scheffler et al. 1998] Scheffler, Martin; Feyrer, Klaus; Matthias, Karl (1998): *Fördermaschinen. Hebezeuge, Aufzüge, Flurförderzeuge*. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg (Fördertechnik und Baumaschinen).
- [Siemag TI 5] Siemag-Firmenschrift TI 5 D: *Technische Information Blair-Doppeltrommel-Fördermaschine für South Deep Gold Mines (Südafrika)*. SIEMAG M-TEC<sup>2</sup> GmbH, Obere Industriestraße, 857250 Netphen, Deutschland
- [Siemag TI7] Siemag-Firmenschrift TI 7: *Technische Informationen Scheibenbremssysteme für Fördermaschinen*. SIEMAG M-TEC<sup>2</sup> GmbH, Obere Industriestraße, 857250 Netphen, Deutschland
- [Siemag IT21] Siemag-Firmenschrift TI 21: *Technische Informationen Seilgeschirre*. SIEMAG M-TEC<sup>2</sup> GmbH, Obere Industriestraße, 857250 Netphen, Deutschland
- [TAS] *Technische Anforderungen an Schacht- und Schrägförderanlagen (TAS)*, Ausgabe Dezember 2005 (6. Nachtrag), Verlag Glückauf GmbH, Essen.
- [BVOS] *Bergverordnung für Schacht- und Schrägförderanlagen (BVOS)* vom 04.12.2003, Verlag Glückauf GmbH, Essen.
- [DIN 15020] DIN 15020:1974-02 – *Hebezeuge; Grundsätze für Seiltriebe – Berechnung und Ausführung*.
- [Gronau, O. 2007] Gronau, O. "Experiences during the magneto-inductive rope testing under application of LF and LMA sensors, Proceedings of the OIPEEC Conference ".How to get the most out of your ropes, September 2007, Johannesburg, paper no. ODN 0811 , s.107-114,
- [Gronau,O. 2003] Gronau, O.: *Optimierung von Prüfzyklen bei hochbelasteten Bergbau-Förderseilen, insbesondere bei dreilagigen Flachlitzenseilen* *Schlußbericht des Projekts Geschäftszeichen 65.11-819-2, Förderzeitraum 1999 bis 2001 im Technologieprogramm Bergbau*.
- [Fuchs, D. 1986] *Sicherheit und Lebensdauer von Förderseilen*, Glückauf, 122. Jahrgang (1986) H. 20, s.1320-1326.

# Abbildungsverzeichnis

- Abb.2. 1 Gesamtschachtförderanlage
- Abb.2. 2 Einfluss der Erhöhung von Nutzlast und Geschwindigkeit auf die Stündliche Fördermenge
- Abb.2. 3 Relation Nutzlast zu Seilzug im Nutzlasttrum als Funktion der Teufe
- Abb.2. 4 Fördergerüst
- Abb.2. 5 Förderturm
- Abb.2. 6 Treibscheibe
- Abb.2. 7 Seiltrommel
- Abb.2. 8 Bobine
- Abb.2. 9 Seiltrommel
- Abb.2. 10 Prinzip der Blair-Trommeln Fördermaschine
- Abb.2. 11 Blair-Doppeltrommel-Fördermaschine aus SIEMAG-TECBERG
- Abb.2. 12 Seilkräfte an der Treibscheibe
- Abb.2. 13 Vierseil-Treibscheibenfördermaschine
- Abb.2. 14 Hydraulisch betätigte Scheibenbremse
- Abb.2. 15 Scheibenbremse für Trommel-Fördermaschine
- Abb.2. 16 Klappenverschluß
- Abb.2. 17 Vertikalschieberschluß
- Abb.2. 18 Rundschieberschluß
- Abb.2. 19 Fördergestell
- Abb.2. 20 Abhängigkeit der Teufe und Belastung
- Abb.2. 21 Rundlitzen
- Abb.2. 22 Formlitzen
- Abb.2. 23 Schlagarten
- Abb.2. 24 Mehrlagige Litzenseile
- Abb.2. 25 Klemmkausche
- Abb.2. 26 Mehrseilzwischeneschirre
- Abb.2. 27 Geschirre für unterschiede Seile
- Abb.3. 1 Rillenprofile
- Abb.3. 2 Seilkräfte zum Heben von Lasten

- Abb.3. 3 Kraftverhältnisse bei der Treibscheibenförderung
- Abb.4. 1 Korkenzieherartige Verformung
- Abb.4. 2 Messung der Welligkeit
- Abb.4. 3 Korbbildung
- Abb.4. 4 Austretende Einlage
- Abb.4. 5 Drahtschlaufen
- Abb.4. 6 Klanken
- Abb.4. 7 Seilschlinge
- Abb.4. 8 Spiralseil mit Blitzschaden
- Abb.4. 9 Grundprinzip der Streufeldmessung mit Spulensensoren
- Abb.4. 10 Grundprinzip der Flussmessung mit Spulensensoren
- Abb.4. 11 Prüfkopf mit Hall-Sensoren
- Abb.4. 12 Ergebnisdarstellung der Drahtbruchverteilung
- Abb.4. 13 Ergebnisvergleich der Verteilung des Querschnittverlustes
- Abb.4. 14 mobile Prüfgerät aus Winspect
- Abb.4. 15 Schematische Darstellung der Kameras mit Sichtbereich
- Abb.4. 16 Detaildarstellung von Kameras

# Normenverzeichnis

DIN 21151	Schachtbau - Seilscheiben für Flachförderseile - Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung
DIN 21164	Schachtbau-Führungsschlitten-Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung
DIN 21186	Schachtbau - Seilgehänge zum Fördern von Lasten in Schächten
DIN 21194	Seilendbefestigung in Spannlagern für Führungsseile - Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung
DIN 4118	Fördergerüste und Fördertürme für den Bergbau - Lastannahmen, Berechnungs- und Konstruktionsgrundlagen
DIN EN 12385-1	Drahtseile aus Stahldraht - Sicherheit - Teil 1: Allgemeine Anforderungen;
DIN EN 12385-2	Stahldrahtseile - Sicherheit - Teil 2: Begriffe, Bezeichnung und Klassifizierung
DIN EN 12385-3	Drahtseile aus Stahldraht - Sicherheit - Teil 3: Informationen für Gebrauch und Instandhaltung
DIN EN 12385-6	Drahtseile aus Stahldraht - Sicherheit - Teil 6: Litzenseile für Schachtförderanlagen des Bergbaus
DIN EN 12385-7	Drahtseile aus Stahldraht - Sicherheit - Teil 7: Verschlossene Seile für Schachtförderanlagen des Bergbaus

DIN 21258	Schmier- und Tränkungsstoffe für Treibscheiben-Förderseile im Bergbau - Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung
DIN 21371	Zwischengeschirre – Zusammenstellungen
DIN 21381	Zwischengeschirre - Laschen für Rundseilkauschen
DIN 21382	Zwischengeschirre - Außenlaschen, Innenlaschen
DIN 21383	Zwischengeschirre - Bolzen
DIN 21386	Zwischengeschirre - Kauschen für Rundseile
DIN 21388	Zwischengeschirre - Kreuzgelenkstücke
DIN 21389	Zwischengeschirre - Klemmkauschen
DIN 21390	Kauschen für Flachseile
DIN 22400	Führerstände für Fördermaschinen, Förderhäspeln und Winden im Bergbau
DIN 22405	Treibscheibenfutter für Fördermaschinen und Förderhäspel im Bergbau
DIN 22406	Treibscheiben-Förderhäspel für Schacht- und Schrägförderanlagen - Bremsberechnung
DIN 22410	Förderseilscheiben für Rundseile
CEN/TC 168/WG 2	Förderseile für den Bergbau
ISO/TC 82/SC 3	Förderseile

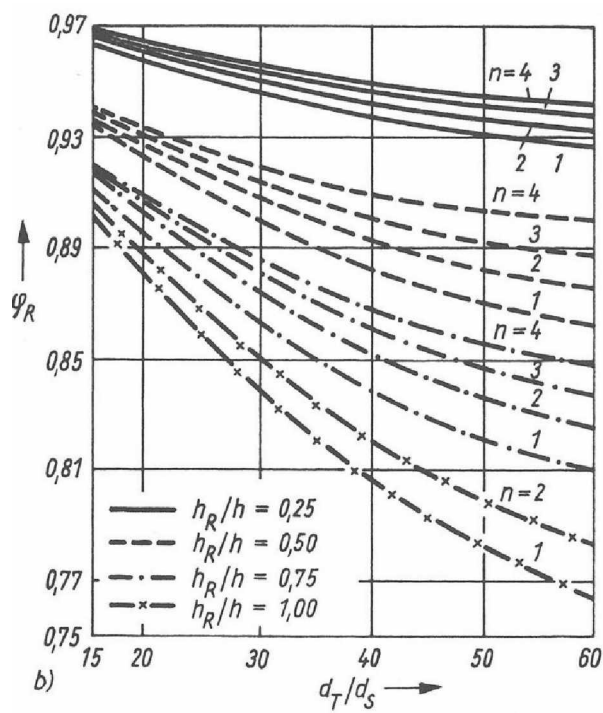
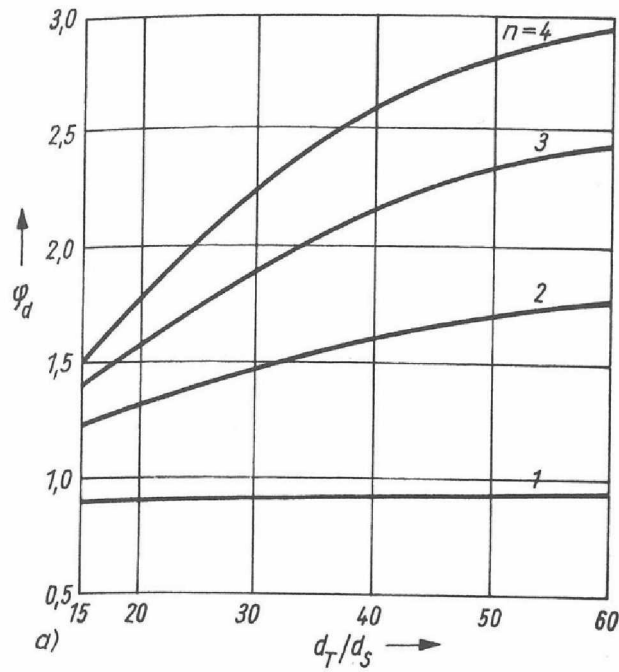
ISO 3154: 1988      Stranded wire ropes for mine hoisting -- Technical delivery requirements

ISO 5614:1988      Locked coil wire ropes for mine hoisting -- Technical delivery requirements

# Anhang 1

FAKTOREN IN ABHÄNGIGKEIT VOM VERHÄLTNIS

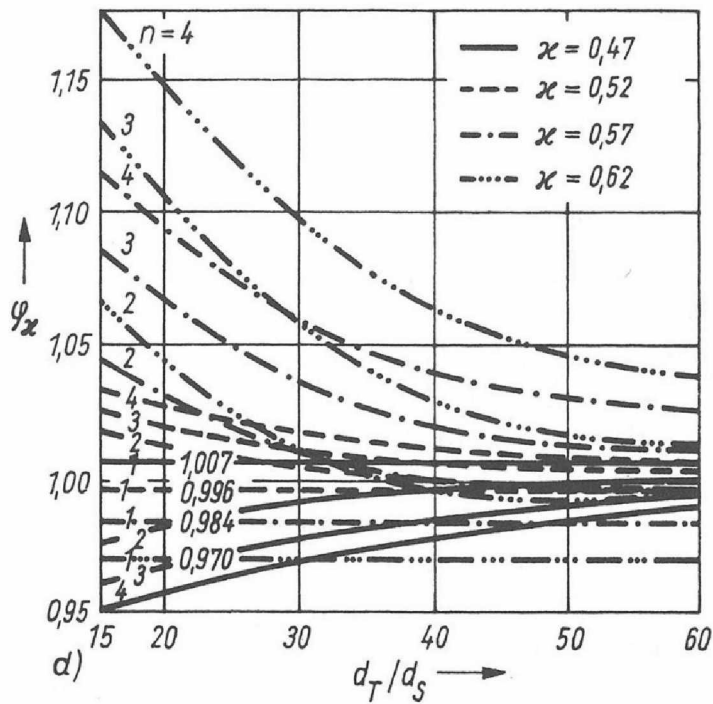
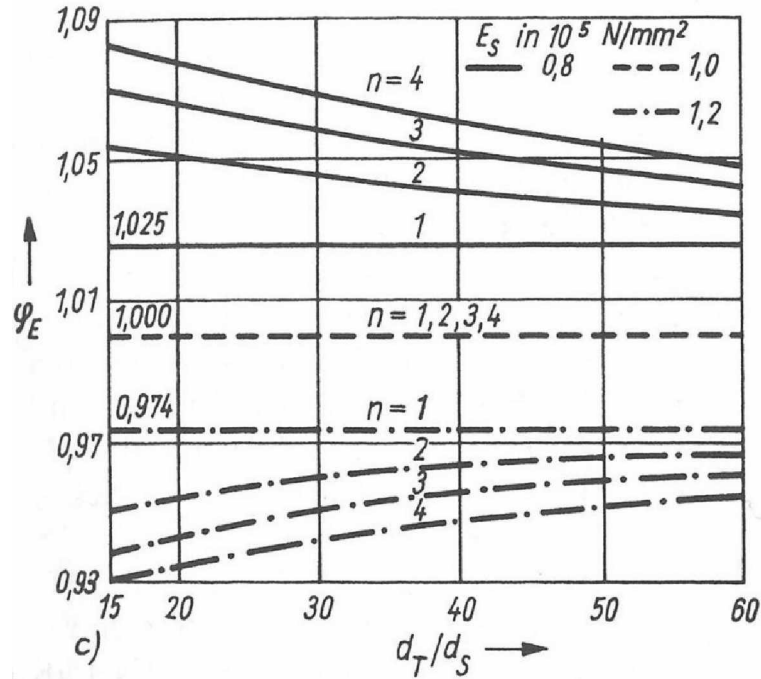
$d_{tr}/d_s$  (TROMMELDURCHMESSER/SEILDURCHMESSER)



# Anhang 2

FAKTOREN IN ABHÄNGIGKEIT VOM VERHÄLTNIS

$d_{tr}/d_s$  (TROMMELDURCHMESSER/SEILDURCHMESSER)

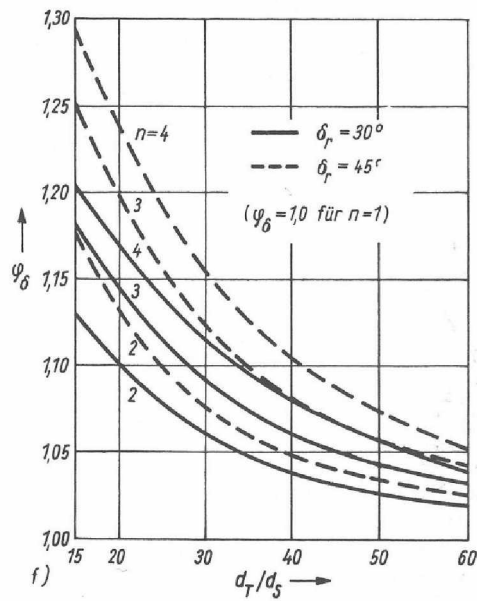
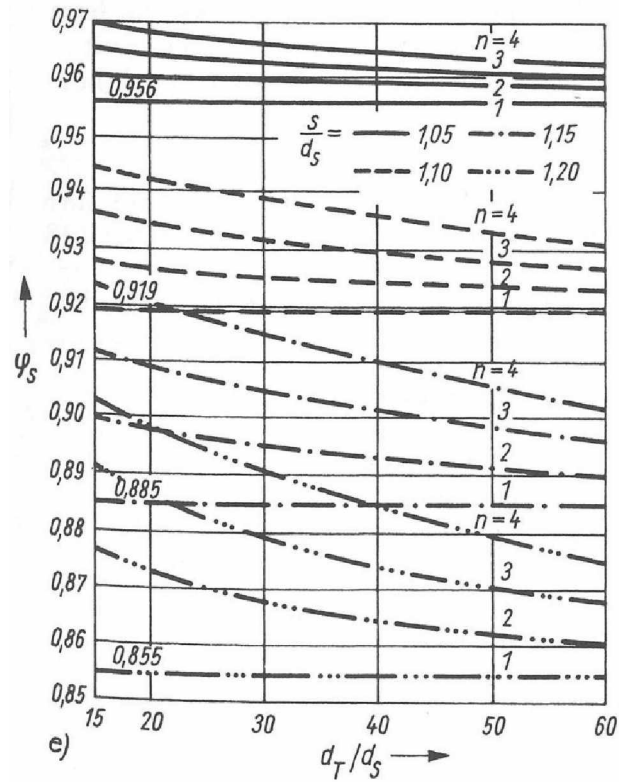




# Anhang 3

FAKTOREN IN ABHÄNGIGKEIT VOM VERHÄLTNIS

$d_{tr}/d_s$  (TROMMELDURCHMESSER/SEILDURCHMESSER)



# Anhang 4

Mindestbiegezahlen für runde Drähte

Draht- Nenndurch- messer  $d$  [mm]	Radius des Biege- zylinders  $R$  [mm]	Mindestbiegezahlen für runde Drähte					
		blank und verzinkt Klasse B				verzinkt Klasse A	
		Nennzugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]					
		1570	1770	1960	2160	1570	1770
0,50 ≤ d < 0,55 0,55 ≤ d < 0,60 0,60 ≤ d < 0,65 0,65 ≤ d < 0,70	1,75	16 14 10 10	15 13 9 9	14 12 9 9	13 10 8 8	- - - -	- - - -
0,70 ≤ d < 0,75 0,75 ≤ d < 0,80 0,80 ≤ d < 0,85 0,85 ≤ d < 0,90 0,90 ≤ d < 0,95 0,95 ≤ d < 1,00	2,5	16 16 15 13 12 12	17 15 14 12 11 11	16 14 13 11 10 10	14 12 11 9 9 8	- - 12 10 9 9	- - 11 9 9 9
1,00 ≤ d < 1,10 1,10 ≤ d < 1,20 1,20 ≤ d < 1,30 1,30 ≤ d < 1,40 1,40 ≤ d < 1,50	3,75	17 15 13 12 11	16 14 12 11 10	15 13 11 10 9	13 12 11 9 9	14 12 10 9 9	13 11 9 9 9
1,50 ≤ d < 1,60 1,60 ≤ d < 1,70 1,70 ≤ d < 1,80 1,80 ≤ d < 1,90 1,90 ≤ d < 2,00	5	14 13 12 11 10	13 12 11 10 9	12 11 10 9 9	11 10 9 8 7	11 10 9 9 8	10 9 9 8 7
2,00 ≤ d < 2,10 2,10 ≤ d < 2,20 2,20 ≤ d < 2,30 2,30 ≤ d < 2,40 2,40 ≤ d < 2,50 2,50 ≤ d < 2,60 2,60 ≤ d < 2,70 2,70 ≤ d < 2,80 2,80 ≤ d < 2,90 2,90 ≤ d < 3,00	7,5	15 14 13 13 12 11 10 10 9 9	14 13 12 12 11 10 9 9 9 9	13 12 11 11 10 9 9 9 9 9	11 10 9 9 9 8 7 6 6 5	12 11 10 10 9 9 9 8 7 7	11 10 9 9 9 8 7 7 6 6
3,00 ≤ d < 3,10 3,10 ≤ d < 3,20 3,20 ≤ d < 3,30 3,30 ≤ d < 3,40 3,40 ≤ d < 3,50 3,50 ≤ d < 3,60 3,60 ≤ d < 3,70 3,70 ≤ d < 3,80 3,80 ≤ d < 3,90 3,90 ≤ d < 4,00	10	12 12 11 11 10 9 9 9 9 9	11 11 10 10 9 8 7 7 6 6	10 10 9 9 9 8 8 8 5 5	- - - - - - - - - -	9 9 9 9 9 8 8 7 7 6	9 9 8 8 7 7 6 6 5 5

Für zwischenliegende Nennzugfestigkeiten gilt die Mindestbiegezahl der nächsthöheren Nennzugfestigkeitsstufe.

# Anhang 5

Mindestverwindezahlen für runde Drähte

Draht- Nenndurch- messer $d$  [mm]	Mindestverwindezahl					
	blank oder verzinkt Klasse B				verzinkt Klasse A	
	Nennzugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]					
	1570	1770	1960	2160	1570	1770
$0,50 \leq d < 0,60$	33	31	25	22	-	-
$0,60 \leq d < 0,70$	33	31	25	22	-	-
$0,70 \leq d < 0,80$	33	31	25	21	-	-
$0,80 \leq d < 1,00$	33	31	25	21	21	19
$1,00 \leq d < 1,30$	31	29	24	20	19	17
$1,30 \leq d < 1,80$	30	27	23	19	18	16
$1,80 \leq d < 2,30$	28	26	21	17	17	14
$2,30 \leq d < 3,00$	26	23	19	17	14	11
$3,00 \leq d < 3,40$	24	21	18	16	11	8
$3,40 \leq d < 3,70$	22	19	16	15	11	7
$3,70 \leq d \leq 4,00$	21	18	15	13	10	6

Für zwischenliegende Nennzugfestigkeiten gilt die Mindestverwindezahl der nächsthöheren Nennzugfestigkeitsstufe.

# Anhang 6

<b>Drahtseile – Ablegereife nach DIN 15020 Teil2</b>								
Ein Drahtseil ist abzulegen, wenn an seiner schlechtesten Stelle eine der beiden nachstehend genannten Zahlen sichtbarer Drahtbrüche festgestellt wird.								
Anzahl der tragenden Drähte in den Außenlitzen des Drahtseils <sup>1)</sup>	Anzahl sichtbarer Drahtbrüche bei Ablegereife							
	Triebwerkgruppen 1 Em, 1 Dm, 1 Cm, 1 Bm, 1 Am				Triebwerkgruppen 2 m, 3 m, 4 m, 5 m			
	Kreuzschlag auf einer Länge von		Gleichschlag auf einer Länge von		Kreuzschlag auf einer Länge von		Gleichschlag auf einer Länge von	
n	6 d	30 d	6 d	30 d	6 d	30 d	6 d	30 d
bis 50	2	4	1	2	4	8	2	4
51 bis 75	3	6	2	3	6	12	3	6
76 bis 100	4	8	2	4	8	16	4	8
101 bis 120	5	10	2	5	10	19	5	10
121 bis 140	6	11	3	6	11	22	6	11
141 bis 160	6	13	3	6	13	26	6	13
161 bis 180	7	14	4	7	14	29	7	14
181 bis 200	8	16	4	8	16	32	8	16
201 bis 220	9	18	4	9	18	35	9	18
221 bis 240	10	19	5	10	19	38	10	19
241 bis 260	10	21	5	10	21	42	10	21
261 bis 280	11	22	6	11	22	45	11	22
281 bis 300	12	24	6	12	24	48	12	24
über 300 <sup>2)</sup>	0,04 n	0,08 n	0,02 n	0,04 n	0,08 n	0,16 n	0,04 n	0,08 n

Bei Seilkonstruktionen mit besonders dicken Drähten in der Außenlage der Außenlitzen, z. B. Rundlitzenseil 6x19 Seale nach DIN 3058 oder Rundlitzenseil 8x19 Seale nach DIN 3062, ist die Anzahl sichtbarer Drahtbrüche bei Ablegereife um 2 Zeilen niedriger als nach den Tabellenwerten anzunehmen.

**Triebwerksgruppen nach DIN 15 020 T1**

d Drahtseildurchmesser

<sup>1)</sup> Fülldrähte werden nicht als tragend angesehen. Bei Drahtseilen mit mehreren Litzenlagen gelten nur die Litzen der äußersten Litzenlage als „Außenlitzen“. Bei Drahtseilen mit Stahleinlage ist die Einlage wie eine innere Litze anzusehen.

<sup>2)</sup> Die errechneten Zahlen sind aufzurunden.