

# Department Product Engineering

Lehrstuhl für

Fördertechnik und Konstruktionslehre



**Betreuer:**

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Franz Kessler

**Verfasst von:**

Cornelia Moder

Leoben, 15. September 2010

## **Eidesstattliche Erklärung**

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

## **Affidavit**

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

.....  
Ort, Datum

.....  
Unterschrift

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Franz Kessler, dass er es mir ermöglicht hat diese Diplomarbeit am Lehrstuhl zu verfassen und vor allem auch für die ausgezeichnete Betreuung. Ich habe mich am Lehrstuhl sehr wohl gefühlt und bin dankbar für die Hilfsbereitschaft der Mitarbeiter.

An dieser Stelle möchte ich mich auch bei meinen Eltern bedanken, die mir im Laufe meiner Ausbildung immer die Eigenständigkeit gelassen haben mich frei zu entscheiden, welchen Weg ich gehen will und mich dabei immer moralisch sowie finanziell unterstützt haben. Gleichzeitig möchte ich mich bei meinen Geschwistern bedanken, die mich in schweren Zeiten von meinen Problemen abgelenkt haben, indem sie einfach für mich da waren.

Herzlichen Dank auch an meine Studienkollegen und –kolleginnen, die mir das Studium an der Montanuniversität bereichert haben und zum Teil im Laufe meines Studentenlebens zu Freunden wurden.

Ebenfalls möchte ich mich bei meinem Freund bedanken, der meine oft auch mal schlechte Laune geduldig ertragen hat.



## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	I
Kurzfassung .....	IV
Abstract.....	IV
1. Einleitung .....	1
2. Vorgaben und Zielsetzung des Projektes .....	2
2.1. Geforderte Betriebsdaten .....	2
2.2. Mögliche Varianten der Abraumförderung .....	2
3. Beschreibung der Fördermittel .....	3
3.1. Bisheriges Fördermittel - Schwerlastkraftwagen.....	3
3.1.1. Vor- und Nachteile des SLKW.....	3
3.2. RopeCon .....	4
3.2.1. Bauelemente des RopeCon.....	5
3.2.2. Vor- und Nachteile des RopeCon.....	9
3.3. Tunnel mit konventionellem Gurtförderer und Abwurfband .....	10
3.3.1. Konventionelle Gurtförderanlage .....	10
3.3.2. Tunnel.....	12
3.3.3. Vor- und Nachteile von Gurtförderer in Kombination mit einem Tunnel .....	12
3.4. Seilbahn .....	13
3.4.1. Einseilbahn .....	16
3.4.2. Mehrseilbahn .....	20
3.4.3. Bauelemente der Seilbahnen .....	24
3.4.4. Vor- und Nachteile einer Seilbahn .....	31
4. Arten von Schüttgutbehälter beim Materialtransport.....	32
4.1. Kippkübel.....	32
4.2. Bodenentleergefäße .....	33
4.3. Klappkübel.....	33
5. Entleerungsvorrichtung .....	34
5.1. Schüttgutbehälter mit Bodenentleerung.....	35
5.2. Konstruktion- pneumatischer Zylinder und Rotationsensor .....	35
5.2.1. Pneumatische Steuerelemente .....	36
5.2.2. Elektrische Steuerelemente.....	38
5.2.3. Resümee .....	41



6.	Befüllung der Schüttgutbehälter .....	41
7.	Beschreibung des geschlossenen Gurtfördersystems SICON .....	42
7.1.	Komponenten des SICON- Gurtsystems .....	42
7.1.1.	Antrieb .....	42
7.1.2.	Rollen .....	42
7.1.3.	Gurt.....	43
7.2.	Be- und Entladung .....	43
7.3.	Vor- und Nachteile des SICON- Systems.....	44
8.	Fördersysteme zum Aufgabebunker .....	46
8.1.	Variante 1 der Zulieferung zum Aufgabebunker mit Gurtförderern .....	46
8.1.1.	Vor- und Nachteile der Variante 1 .....	46
8.2.	Variante 2 der Zulieferung zum Aufgabebunker mit SICON.....	47
8.2.1.	Vor- und Nachteile der Variante 2 .....	48
8.3.	wirtschaftliche Betrachtung der Varianten – Zulieferung zum Silo .....	49
8.3.1.	Kostenaufstellung .....	49
8.3.2.	Kostenaufstellung .....	51
9.	Technischer Vergleich der Fördervarianten .....	54
10.	Wirtschaftlicher Vergleich der einzelnen Fördervarianten .....	55
10.1.	SLKW.....	55
10.1.1.	Kostenaufstellung .....	55
10.2.	RopeCon mit 2 Sektionen .....	57
10.2.1.	RopeCon mit 3 Abwurfstellen .....	57
10.2.2.	RopeCon mit 2 Abwurfstellen .....	61
10.2.3.	Kostenaufstellung .....	62
10.3.	RopeCon kombiniert mit Gurtförderer.....	64
10.3.1.	Förderband .....	64
10.3.2.	RopeCon .....	64
10.3.3.	Kostenaufstellung .....	68
10.4.	RopeCon mit RopeCon Materialzulieferung.....	70
10.4.1.	Kostenaufstellung .....	75
10.5.	Tunnel mit konventionellen Gurtförderer .....	76
10.5.1.	Kostenaufstellung .....	80
11.	Kostenvergleich der einzelnen Fördervarianten .....	82



12.	Berechnungen nach DIN 22101 der gewählten Variante .....	83
12.1.	Vorbereitende Berechnungen .....	83
12.1.1.	Berechnung der Streckenlast infolge des Fördergutes $m_L$ .....	84
12.1.2.	Berechnung der Gesamtstreckenlast $m_{Ges}$ .....	84
12.1.3.	Fiktiver Reibungsbeiwert des RopeCon $f_{RopeCon}$ .....	84
12.2.	Berechnung der erforderlichen Antriebsleistung .....	84
12.2.1.	Berechnung des Hauptwiderstandes $F_{H1}$ und $F_{H2}$ .....	85
12.2.2.	Berechnung der Nebenwiderstände $F_{N1}$ und $F_{N2}$ .....	85
12.2.3.	Berechnung der Steigungswiderstände $F_{St1}$ und $F_{St2}$ .....	85
12.2.4.	Berechnung der Sonderwiderstände $F_{S1}$ und $F_{S2}$ .....	86
12.2.5.	Berechnung der Antriebsleistungen im stationären Betrieb $P_{st1}$ und $P_{st2}$ .....	86
12.3.	Berechnung der Abraumzulieferung .....	86
12.4.	Berechnung Förderung zur Abwurfstelle .....	88
13.	Zusammenfassung .....	92
	Formelzeichen .....	a
	Abkürzungen .....	b
	Literaturverzeichnis .....	c
	Abbildungsverzeichnis .....	e
	Tabellenverzeichnis .....	h



## **Kurzfassung**

Das Themengebiet dieser Diplomarbeit ist die Abraumförderung am Steirischen Erzberg. Zurzeit fördert ein Schwerlastkraftwagen den anfallenden Abraum zu einer Lagerstätte, die ca. 3,5 km von der Aufgabestelle entfernt ist. Das Ziel dieser Diplomarbeit ist die möglichen Varianten der Fördersysteme zu beschreiben sowie auf ihre Vor- und Nachteile zu untersuchen. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die technische und wirtschaftliche Betrachtung dieser Fördermittel gelegt und auf dieser Basis eine geeignete Fördervariante ausgewählt.

## **Abstract**

The topic of this thesis is the transport of tailings at the Styrian Erzberg. Currently one heavy goods vehicle supports the tailings to a field, which is about 3.5 km away from the loading point. The aim of this thesis is to describe the possible variants of the conveying system and analyse their advantages and disadvantages. Besides, the main attention lay on the technical and economic consideration of these conveying systems and on this base a suitable production facilities is selected.

## 1. Einleitung

Erstmals urkundlich erwähnt wurde der Steirische Erzberg im Jahre 1171. Der Erzberg ist ein Teil des Gebirgsstockes der Eisenerzer Alpen. Aufgrund des Abbaus des Eisenerzes durch Sprengungen im Tagebau entstand das markante stufenförmige Erscheinungsbild (Abb. 1.1). Die „steirische Pyramide“, wie der Erzberg auch genannt wird, ist die größte Sideritlagerstätte ( $\text{FeCO}_3$ ) der Welt. Der Erzberg bildet im Wesentlichen 30 Etagen mit einer Höhe von jeweils 24 Metern, benannt sind diese Etagen nach Heiligen oder verdienten Bergleuten. <sup>(1), (2)</sup>



Abb. 1.1: Blick auf den Steirischen Erzberg <sup>(3)</sup>

Heutzutage beträgt die Gesamtabbaumenge der Firma VA Erzberg GmbH rund 6,8 Mio. Tonnen pro Jahr, davon sind ca. 4,7 Mio. Tonnen Abraum sowie Aufbereitungsmaterial. Der Abraum wird zurzeit mittels SLKW von einem Bergebunker auf eine Halde befördert. Der SLKW (Abb. 1.2) hat ein Fassungsvermögen von rund 120 t, damit erreicht man einen Massenstrom von rund 240 t Abraum pro Stunde. <sup>(2)</sup>



Abb. 1.2: SLKW (Haulpak) als Touristenattraktion am Steirischen Erzberg <sup>(4)</sup>





## 2. Vorgaben und Zielsetzung des Projektes

Es gilt zu untersuchen, welche Fördermittel eingesetzt werden können, um den SLKW als Transportmittel abzulösen. Die zu betrachtende Fördermittel sind auf eine Einsatzdauer von 30 Jahren auszulegen.

### 2.1. Geforderte Betriebsdaten

Die Tab. 2.1 zeigt die vorgegebenen Betriebsdaten, die die Firma VA Erzberg GmbH an die Förderanlage stellt. Dabei soll berücksichtigt werden dass die Anlage im Dreischichtbetrieb laufen soll.

Bezeichnung	Wert	Einheit
Massenstrom	300	t/h
Schüttdichte	1.8 - 2.0	t/m <sup>3</sup>
Korngröße	bis 120	mm

Tab. 2.1: Geforderte Betriebsdaten <sup>(2)</sup>

### 2.2. Mögliche Varianten der Abraumförderung

In Tab. 2.2 sind die möglichen Varianten von Fördersystemen, die am Erzberg eingesetzt werden können, aufgelistet.

Variante	Bezeichnung:
1	SLKW
2.1	RopeCon über den Berg mit 2 Abwurfstellen
2.2	RopeCon über den Berg mit 3 Abwurfstellen
2.3	RopeCon um den Berg in Kombination mit Gurtförderer
2.4	2 RopeCon um den Berg (ohne Zwischenlagerung)
3	Stollen durch den Berg mit konventioneller Gurtförderanlage
4	Seilbahn

Tab. 2.2: Varianten der Abraumförderung

Im Anschluss werden die verschiedenen Varianten vorgestellt, darauf folgt eine technische sowie wirtschaftliche Betrachtung.

### 3. Beschreibung der Fördermittel

#### 3.1. Bisheriges Fördermittel - Schwerlastkraftwagen

Im Gegensatz zu konventionellen Gurtförderern, RopeCon- Systemen oder Seilbahnen hat der SLKW die großen Vorteile, dass er äußerst flexibel eingesetzt werden kann und aufwendige Streckeneinrichtungen eingespart werden können. Für den Förderweg des SLKW's reicht eine befahrbare Straße, die im Laufe der Zeit den Bedingungen angepasst werden kann. Damit ist man auch sehr flexibel, wenn die Förderwege aufgrund des sich verändernden äußeren Erscheinungsbildes des steirischen Erzberges angepasst werden müssen. Wie bereits erwähnt, wird zurzeit mit Hilfe von SLKW etwa 240 t Abraum pro Stunde von einem Bergebunker auf eine Halde in etwa 3500 m Entfernung gefördert. <sup>(2)</sup>



Abb. 3.1: Förderung des Schüttgutes mit SLKW <sup>(5)</sup>

##### 3.1.1. Vor- und Nachteile des SLKW

###### Vorteile <sup>(2)</sup>

- Geringe Investitionskosten im Gegensatz zu anderen Fördermitteln
- Sehr flexible Streckenführung (keine Fixierung des Förderweges bzw. Auf- und Abgabestelle)
- Keine aufwendigen Streckeneinrichtungen erforderlich (keine feste Befestigung mit dem Untergrund)
- Keine Montagearbeiten an den Streckeneinrichtungen
- Unabhängig von der Förderlänge

## Nachteile <sup>(6)</sup>

- Keine Energierückgewinnung möglich
- Hohe Betriebs- und Personalkosten
- Zur Beladung ist eine Vorrichtung oder eine zusätzliche Arbeitsmaschine erforderlich
- Leerfahrten von 50 %

## 3.2. RopeCon

Der RopeCon ist ein stetiges Langstrecken- Fördersystem, bei dem die Vorteile der Seilbahntechnik mit konventionellen Gurtfördersystemen kombiniert werden. Das Grundprinzip des RopeCon besteht, wie in Abb. 3.2 gezeigt wird, aus Tragseilen auf denen die Laufrollen aufliegen und einem Flachgurt mit aufvulkanisierten Wellenkanten zum Schutz vor seitlichem Abrutschen des Schüttgutes. Damit erreicht man, im Vergleich mit konventionellen Fördergurten, einen größeren Förderquerschnitt. Der seitliche Schutz besitzt eine Wellenform, damit der Gurt über die Trommeln gelenkt werden kann, ohne dass die Kante Schaden nimmt. In bestimmten Abständen werden Achsen am Gurt befestigt an deren Ende jeweils eine Laufrolle montiert ist. Wie bei konventionellen Gurtfördersystemen erfolgt der Antrieb des Fördergurtes über eine Antriebstrommel, sowie die Vorspannung über eine Umlenktrummel. Die stehenden Tragseile werden ebenfalls vorgespannt, damit über die Laufrollen das Gewicht des Gurtes und dessen Zusatzkomponenten getragen wird. <sup>(7), (8)</sup>

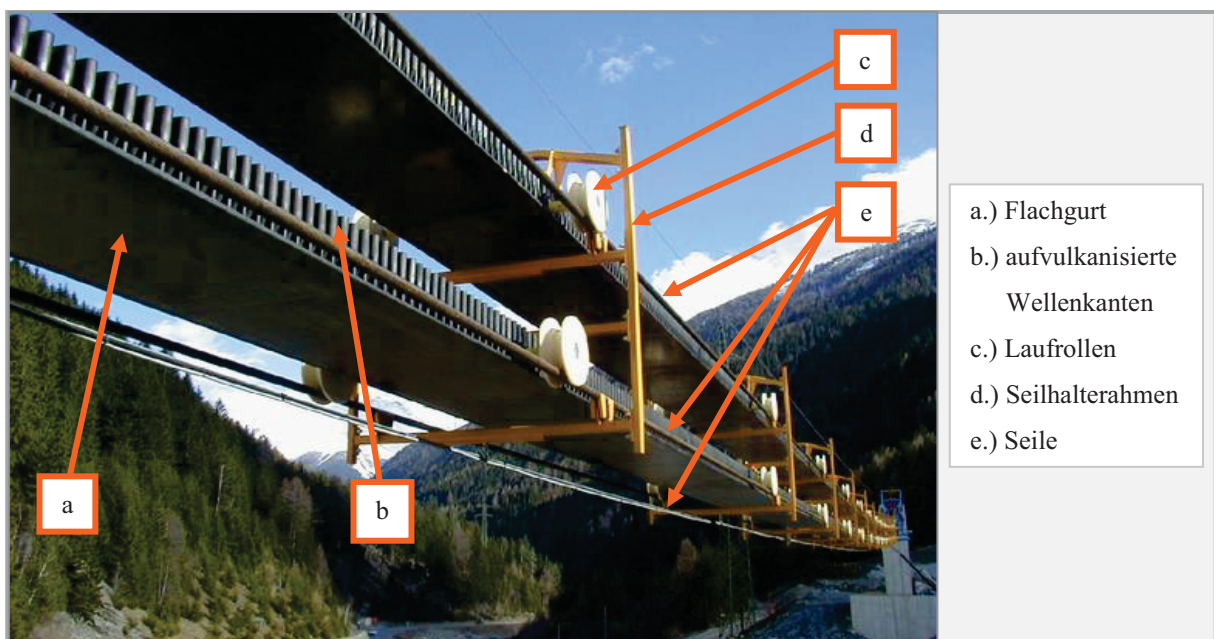


Abb. 3.2: Komponenten einer RopeCon- Anlage <sup>(2)</sup>

Wie in Abb. 3.3 zu erkennen ist, ist es durch die großen Seilfelder (bis zu 2000 m) möglich, lange Strecken über Flüsse und Straßen zu überwinden. <sup>(7)</sup>



Abb. 3.3: RopeCon- Anlage mit sehr langer Spannweite <sup>(8)</sup>

### 3.2.1. Bauelemente des RopeCon <sup>(2)</sup>

#### 3.2.1.1. Tragseile

Die Tragseile bestehen aus spannungsarmen, verzinkten und voll verschlossenen Spiralseilen. Das System besteht aus jeweils zwei Tragseilen zur Führung des Ober- und Untertrums und zwei Tragseile zur Befestigung der Seilhalterahmen, siehe Abb. 3.2.

#### 3.2.1.2. Spannvorrichtung

Bei den Spannvorrichtungen ist zwischen der Tragseilabspannung und der Gurtspannvorrichtung zu unterscheiden. Die Tragseile werden in einer geeigneten Seilabspannung auf die benötigte Abspannkraft vorgespannt. Dafür gibt es zwei Möglichkeiten, entweder mit Hilfe eines Fundaments im Boden, siehe Abb. 3.4, oder mit einer zu diesem Zweck errichteten Stütze.

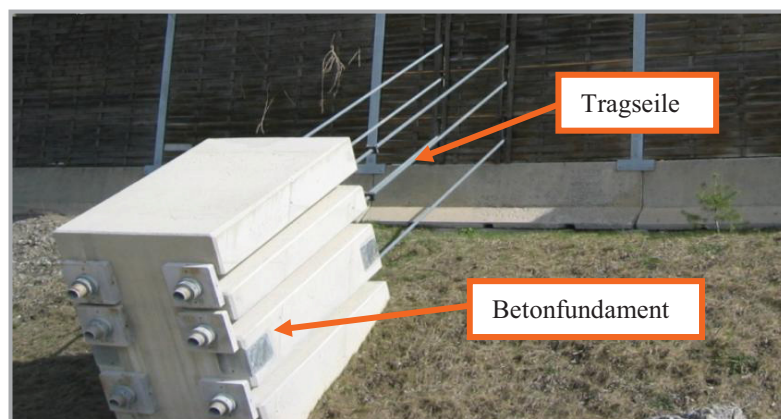


Abb. 3.4: Tragseilabspannung des RopeCon mittels Betonfundament <sup>(2)</sup>

Der Fördergurt wird mit einer Abspanntrommel vorgespannt, siehe Abb. 3.5. Die benötigte Gurtvorspannung kann hydraulisch, mit einem an der Trommel befestigten Hydraulikzylinder, oder mit Hilfe eines Spannungsgewichtes, eingestellt werden. Damit wird eine nahezu konstante Spannung des Fördergurtes erreicht und verhindert somit ein Durchrutschen des Gurtes an der Antriebstrommel, sowie einen übermäßigen Gurtdurchhang.

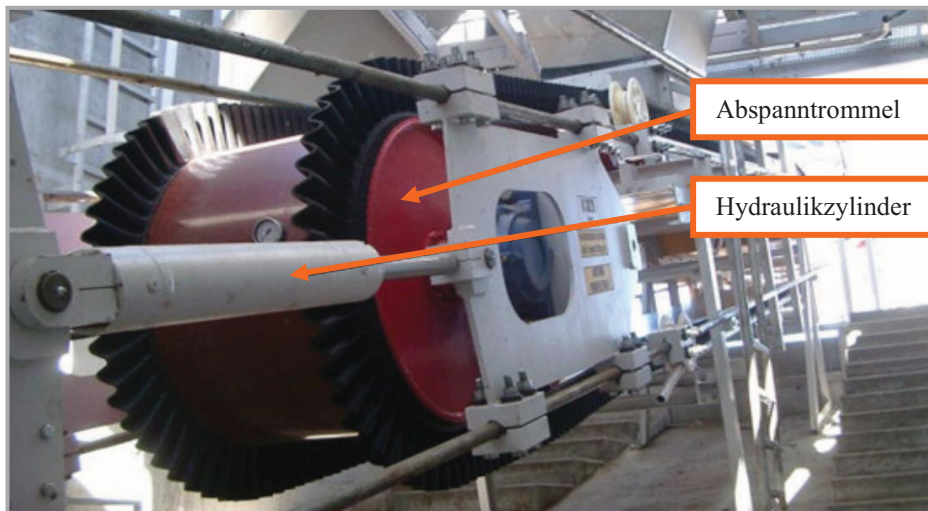


Abb. 3.5: Hydraulische Abspannung des Fördergurtes <sup>(2)</sup>

### 3.2.1.3. Seilhalterahmen

Die Seilhalterahmen, siehe Abb. 3.2, haben die Aufgaben einerseits die Tragseile auf Spur zu halten, andererseits den Abstand zwischen dem Ober- und Untertrum zu gewährleisten. Eine weitere wichtige Aufgabe erfüllt der Rahmen. Bei hohen Windgeschwindigkeiten muss der Fördergurt auf seiner Fahrbahn bleiben und der Rahmen muss ein Abheben oder Entgleisung der Tragrollen vom Tragseil verhindern.

### 3.2.1.4. Laufrollen

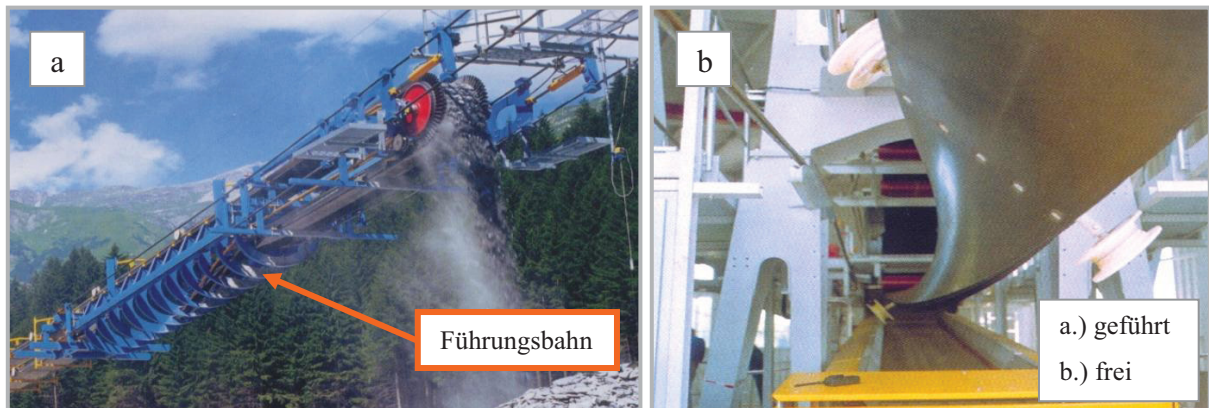
Diese Rollen laufen auf den Tragseilen, welche zwischen der Auf- und Abgabestation gespannt sind. Die Laufrollen sind mit einer starren Achse am Gurt fest verbunden. (Abb. 3.2)



Abb. 3.6: Detailbild der Laufrollenbefestigung am Gurt <sup>(9)</sup>

### 3.2.1.5. Gurtwendeeinrichtung <sup>(9)</sup>

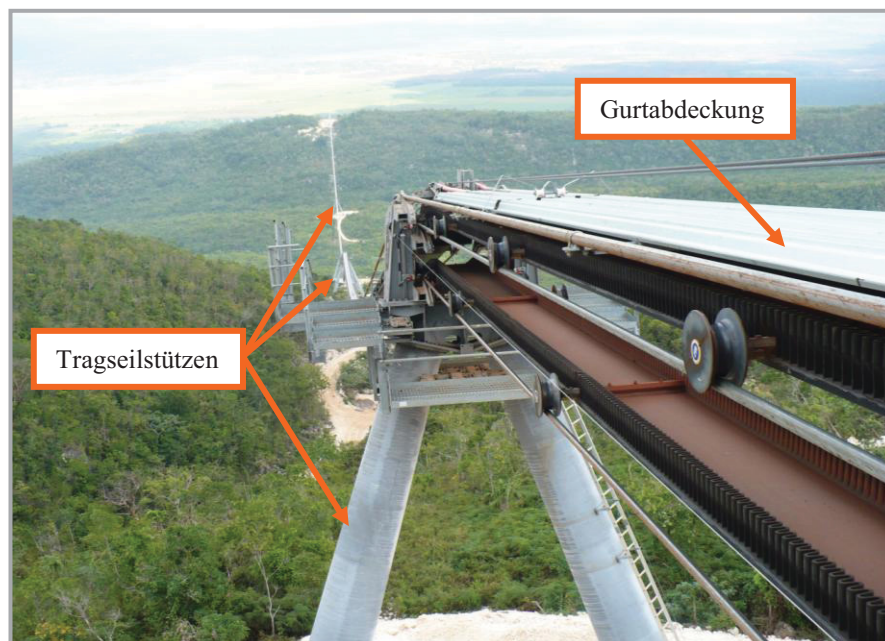
Um das Herabfallen der kleben gebliebenen Reste des Schüttgutes nach dem Abwurf zu verhindern, wird eine 180°-Wendung vorgenommen. Das heißt, die Gurtseite auf der das Material befördert wird, zeigt immer nach oben. Somit wird vermieden, dass sich entlang der Strecke einzelne Reste vom Gurt lösen können. Dabei gibt es zwei Arten, die geführte oder die freie Gurtwendung. (Abb. 3.7)



**Abb. 3.7:** Arten der Gurtwendeeinrichtungen <sup>(2), (9)</sup>

### 3.2.1.6. Tragseilstützen

Wie bei einer Seilbahn wird auch der RopeCon den topografischen Gegebenheiten durch Stützen angepasst. Diese Stützen können analog zu den Seilbahnen verschiedenste Formen aufweisen. Der Abstand zwischen den einzelnen Stützen, siehe Abb. 3.8, ist durch die maximale Spannfeldlänge des RopeCon limitiert.



**Abb. 3.8:** Mehrere Tragseilstützen über eine lange Spannweite <sup>(10)</sup>

### 3.2.1.7. Gurtabdeckung

Als Zusatzkomponente des RopeCon dient eine Gurtabdeckung, siehe Abb. 3.8, als Schutz des Fördergutes vor äußeren Einflüssen, wie Regen, Schnee und Wind.

### 3.2.1.8. Aufgabestelle

Die Beschickung des RopeCon mit Schüttgut erfolgt entweder direkt über einen Silo, oder indirekt über ein Beschickungsband. Dabei erfolgt die endgültige Aufgabe mit Hilfe einer Aufgabeschurre, welche zur gleichmäßigen Verteilung des Schüttgutes auf dem Obertrum eingesetzt wird.

### 3.2.1.9. Abgabestelle

Der Abwurf des Fördergutes erfolgt am Ende des Förderbandes, wobei das Fördergut entweder im freien Fall über die Umlenktrummel vom Fördergurt fällt, oder der freie Fall mit weiteren Zusatzeinrichtungen gelenkt wird. Als Zusatzeinrichtung für den gelenkten Abwurf dient z.B. ein Abwurftrichter, der das Fördergut auf ein anderes Band übergibt, oder einen Silo befüllt.



Abb. 3.9: Abwurf des Schüttgutes im freien Fall <sup>(2)</sup>

### 3.2.1.10. Antrieb

Der Antrieb des Förderbandes erfolgt in der Regel auf der Bergseite der Anlage wie bei einem konventionellen Gurtförderer mittels einer Antriebstrommel. Diese Trommel wird über ein Kegel-/ Stirnrad- Getriebe mit einem Asynchronmotor verbunden, siehe Abb. 3.10. Die Asynchronmaschine ist über einen Frequenzumrichter stufenlos regelbar.

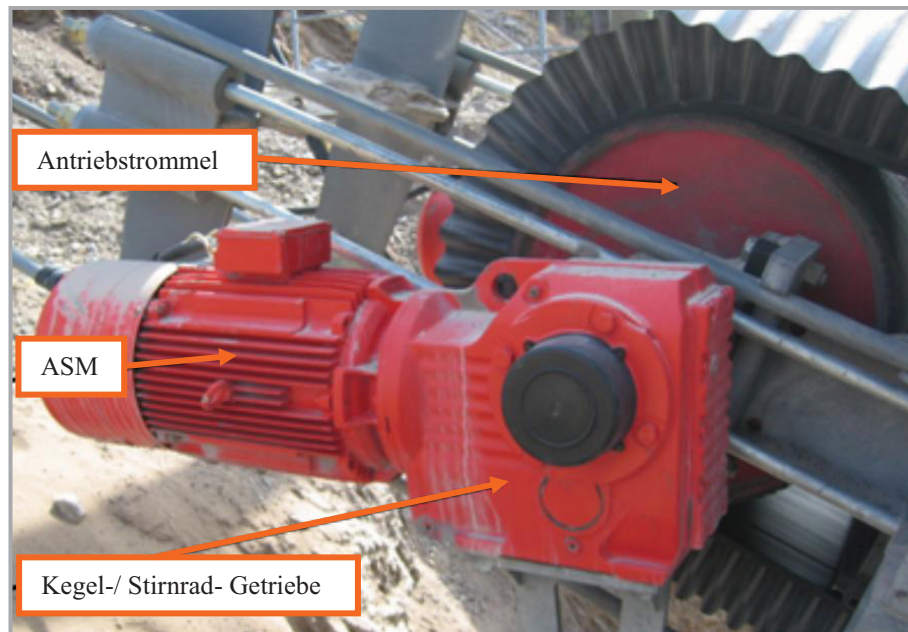


Abb. 3.10: Antriebskomponenten des RopeCon <sup>(2)</sup>

### 3.2.2. Vor- und Nachteile des RopeCon <sup>(2)</sup>

#### Vorteile

- Verbindet Vorteile aus der Seilbahntechnik mit jenen konventioneller Förderbänder
- Hohe Umweltverträglichkeit
  - ursprüngliches Gelände bleibt weitgehend erhalten (große Spannfelder)
- hohe Förderleistung auch im unwegsamen Gelände
- Geringe Betriebs- und Wartungskosten
- Möglichkeit der Energierückgewinnung im Generatorbetrieb
- Große Spannweiten und Höhendifferenzen mit wenigen Stützpunkten möglich
- Geringe Lärmbelastigung
- Abwurfstelle ist variabel

#### Nachteile

- Im Gegensatz zum SLKW
  - hohe Investitionskosten
  - eingeschränkt variabel in der Streckenführung (nur Abwurfstelle variabel)
- erhöhte Kosten aufgrund des Wellenkantengurtes
- aufwendigere Gurtreinigungseinrichtungen aufgrund der Form des Fördergurtes

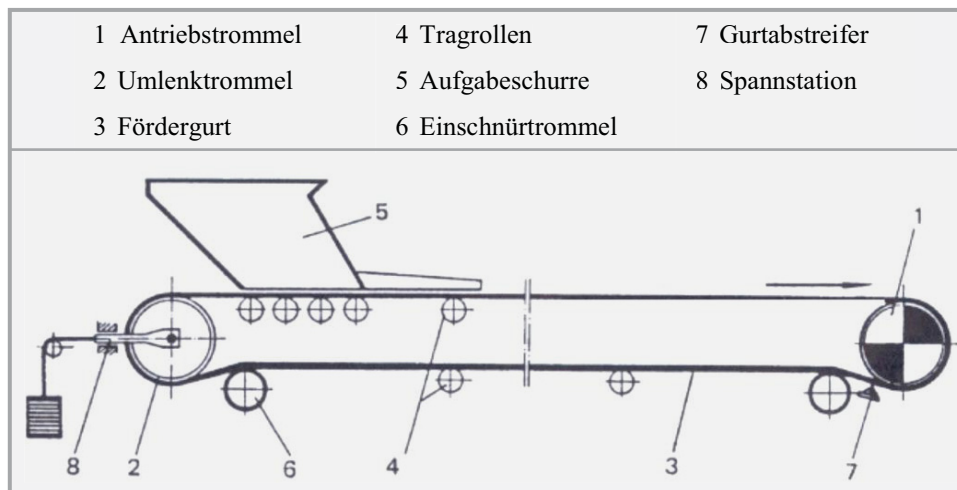


### 3.3. Tunnel mit konventionellem Gurtförderer und Abwurfband <sup>(2)</sup>

Die Beförderung des Abraumes am Erzberg kann grundsätzlich mit einem konventionellen Förderband durchgeführt werden. Um die Beschaffenheit des Geländes am Erzberg zu umgehen, müsste man einen Tunnel durch den Berg schlagen. Zunächst wird näher auf den konventionellen Gurtförderer eingegangen und in weiterer Folge der Tunnel durch den Berg genauer betrachtet.

#### 3.3.1. Konventionelle Gurtförderanlage

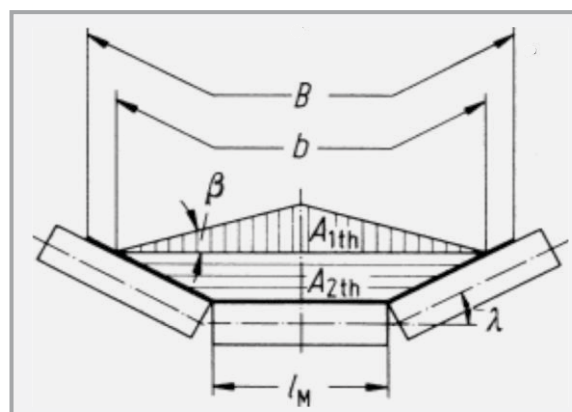
Ein Förderband ist meist eine stationäre Förderanlage und wird den Stetigförderern zugeteilt. Wie in Abb. 3.11 zu sehen ist, besteht ein konventioneller Gurtförderer primär aus einem endlosen umlaufenden Gurt, der auf den Tragrollen des Ober- bzw. des Untertrums aufliegt.



**Abb. 3.11:** Schematischer Aufbau einer konventionellen Gurtförderanlage <sup>(2)</sup>

##### 3.3.1.1. Gurt

Der Flachgurt dient sowohl als Trag- bzw. auch als Zugmittel. Eine Gurtmuldung verhindert, dass auf der Seite Schüttgut herunterfällt, siehe Abb. 3.11.



**Abb. 3.12:** Gurtmuldung und Förderquerschnitt eines konventionellen Förderbandes <sup>(11)</sup>

Durch die Eigenmasse des Gurtes und des Schüttgutes bzw. der Gurtzugkräfte kommt es zwischen den Tragrollen zu einem Durchhang der durch die Vorspannkraft minimiert wird. Damit man an der Antriebstrommel die erforderliche Umfangskraft übertragen kann, muss über Reibschluss eine bestimmte Gurtspannkraft nach der Eytelwein'schen Gleichung Glg. (3.1) vorherrschen. <sup>(12)</sup>

Glg. (3.1)

$$\frac{T_1}{T_2} \leq e^{\mu \cdot \alpha}$$

dabei gilt:

Glg. (3.2)

$$T_U = T_1 - T_2$$

$T_i$ ..... Gurtzugkräfte

$T_U$ ..... Umfangskraft

$\mu$ ..... Reibungskoeffizient

$\alpha$ ..... Umschlingungswinkel (Bogenmaß)

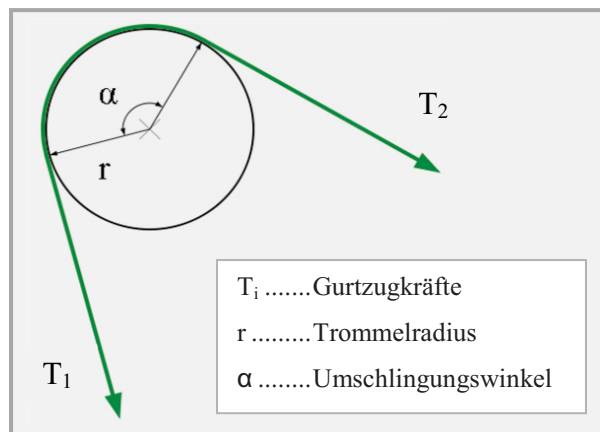


Abb. 3.13: Skizze zur Eytelwein'schen Gleichung <sup>(12)</sup>

### 3.3.1.2. Spannstation

Die Vorspannkraft kann entweder hydraulisch oder mit Hilfe eines Spanngewichtes, wie in Abb. 3.11 dargestellt, aufgebracht werden.

### 3.3.1.3. Gurtabstreifer

Der Gurtabstreifer ist nach dem Abwurf des Fördergutes platziert (Abb. 3.11) und hat die Aufgabe das Förderband kontinuierlich zu reinigen. Es gibt verschiedenste Ausführungen des Gurtabstreifers von Grob- bis Feinreinigung.

### 3.3.1.4. Tragkonstruktion

Die Tragkonstruktion besteht im Wesentlichen aus Stahlbauprofilen, welche die Tragrollenlager des Ober-/ Untertrums, sowie die Antriebs- und Spannvorrichtungen trägt.



### 3.3.1.5. Antrieb

Der Antrieb des Gurtförderers ist üblicherweise an der Abwurfstelle, wo die größten Gurtzugkräfte auftreten, platziert. Die Gurtspannung erfolgt da wo die geringsten Gurtzugkräfte sind.

### 3.3.2. Tunnel<sup>(2)</sup>

Der Tunnel hat die Abmaße von 4 x 4 Metern im Querschnitt und einer Länge von 2000 Meter. Ein Gurtförderer mit einer Länge von 2350 Meter verläuft von der Aufgabestelle durch den Tunnel bis zur Abgabestelle. Damit der Abwurfpunkt flexibel ist, wird am Ende ein Absetzband mit einer Länge von 300 Metern verwendet.

### 3.3.3. Vor- und Nachteile von Gurtförderer in Kombination mit einem Tunnel<sup>(2)</sup>

#### Vorteile

- Gesamte Strecke wird mit einem Fördersystem bewältigt
- Gurtabstreifer beim Bandförderer können einfach gestaltet werden
- In Gegensatz zum RopeCon kann eine Gurtmuldung eingesetzt werden (Schutz vor Herunterfallen des Schüttgutes)
- Der Flachgurt ist billiger als ein Wellkantengurt, wie er beim RopeCon eingesetzt wird
- Gesamtförderweg ist am kürzten
- Im Vergleich zur Seilbahn ist der Wartungsaufwand geringer
- Durch das Absetzband werden unterschiedliche Abwurfstellen realisiert und damit wird eine bessere Verteilung des Abraumes erzielt
- Unabhängig von Wetter (durch Tunnel geschützt)
- Das im Tunnelbau gewonnene Material kann verkauft werden

#### Nachteile

- Aufgrund der Tragrollenwiderstände, sowie des Walkens des Fördergurtes ist eine relative hohe Antriebsleistung erforderlich
- Die maximale Steigung ist auf relativ kleine Winkel im Vergleich zur Seilbahn oder des RopeCon begrenzt. Abhilfe bringt eine strukturierte Oberfläche des Fördergurtes
- Für einen konventionellen Gurtförderer ist die Tragkonstruktion aus Stahlprofilen wesentlich kostenintensiver als die beim RopeCon verwendeten Seile
- Es sind zwei separate Antriebe erforderlich (Fördergurt und Absetzband)
- In diesem Fall keine Energierückgewinnung durch Generatorbetrieb möglich



- Überwindung von Hindernissen, wie Flüsse oder Straßen, gestaltet sich bei einem herkömmlichen Gurtförderer aufgrund seiner Bauweise als schwierig und erfordert entsprechende Stützkonstruktionen
- Der Tunnelbau erhöht die Investitionskosten

### 3.4. Seilbahn <sup>(13)</sup>

Die ältesten Seilbahnen gehen bis auf 250 v Chr. zur Überquerung von Flüssen, oder zum Transport von Steinen beim Bau einer Festung zurück. Heutzutage werden Seilbahnen vor allem für den Personentransport genutzt. Seilbahnen können in verschiedene Typen eingeteilt werden.

Die Seilbahnen werden abhängig vom Transportgut eingeteilt in:

#### **Personenbeförderung**

- Sportbahn
- Nahverkehrsmittel
- Zubringerbahn
- Besichtigungsbahn  
(zB.: Vergnügungsbahn)

#### **Güterbeförderung:**

- Materialeilbahn
- Versorgungsseilbahn
- Lawinensprengbahn

Weitere Unterscheidungen gibt es, wie in Abb. 3.14 und Abb. 3.15 dargestellt.

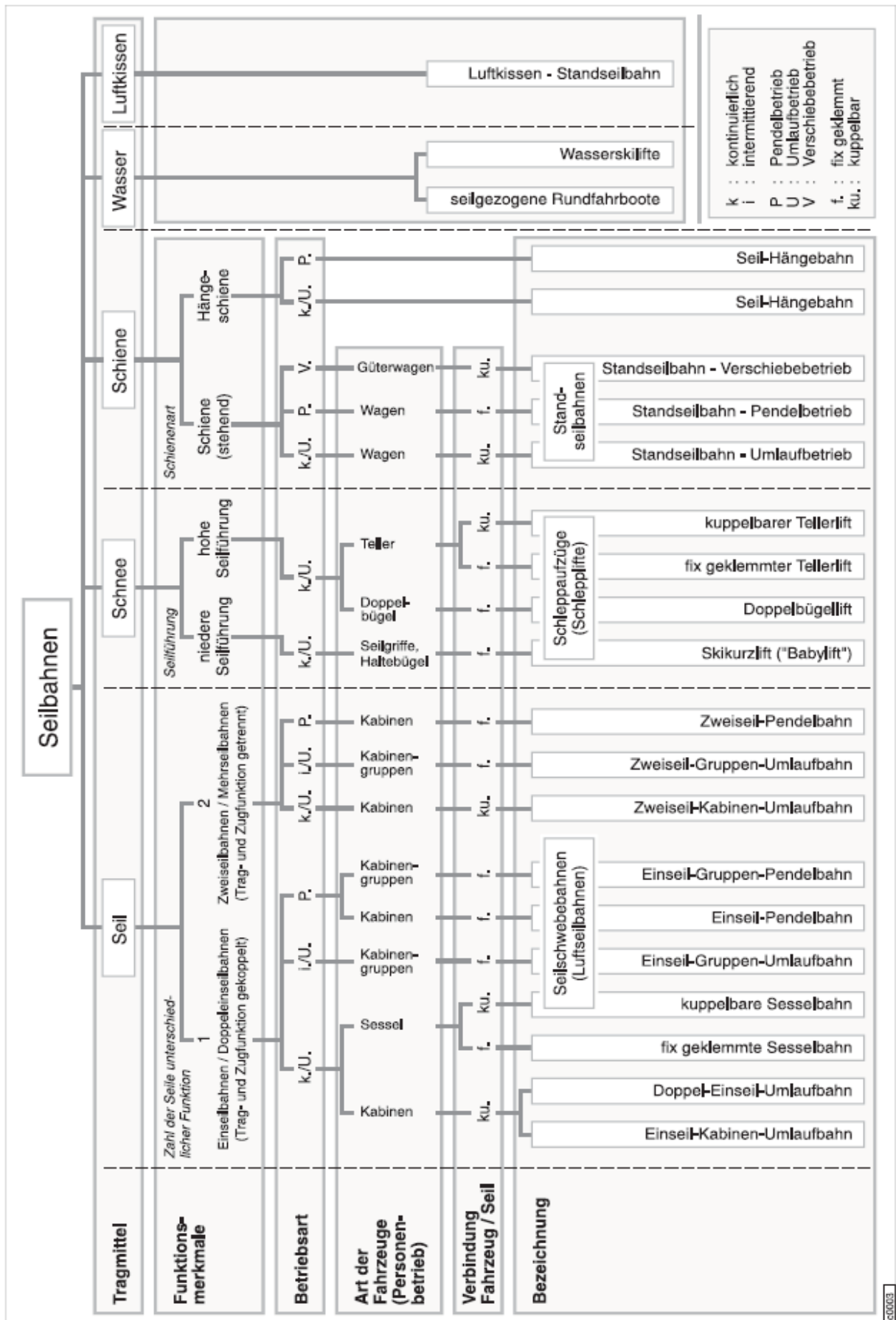


Abb. 3.14: Schema der verschiedenen Seilbahnarten und deren Einteilung <sup>(13)</sup>

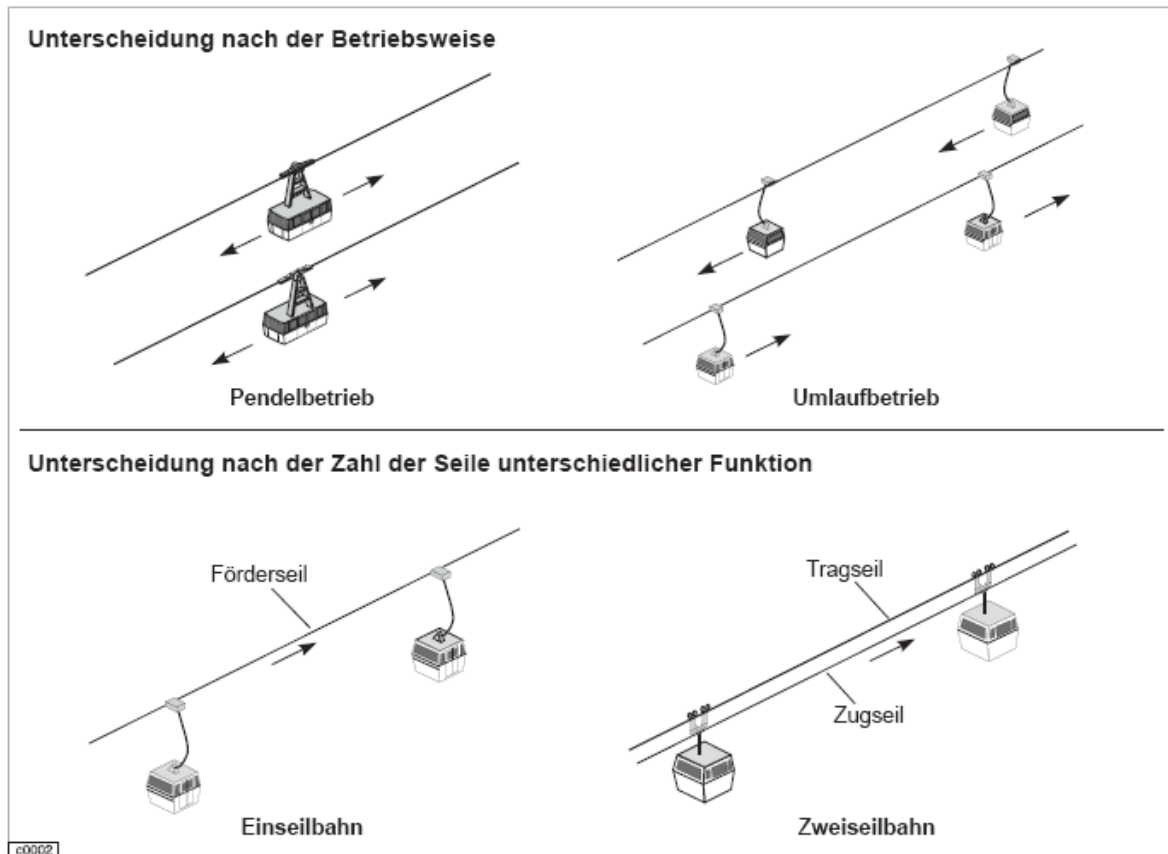


Abb. 3.15: Unterscheidung nach Betriebsweise, Anzahl der Seile, sowie deren Funktion <sup>(13)</sup>

Aus den verschiedenen Kombinationen der Bau- und Betriebsarten ergeben sich unterschiedlichste Seilbahntypen. Die wichtigsten für unsere Anwendung sind hier angeführt:

- Seilschwebbahn: „Luftseilbahn, bei welcher die Fahrzeuge von einem oder mehreren Seilen getragen werden“
- Einseilbahn: Ein Seil übernimmt die Aufgabe des Förder-, sowie des Zugseils
- Zweiseilbahn: Es gibt zwei Seile mit getrennten Aufgabenbereichen, zum einen das Tragen, zum anderen das Bewegen, des zu befördernden Transportgutes
- Umlaufbahn: „Seilschwebbahn, bei der die Fahrzeuge in gleich bleibender Fahrtrichtung verkehren“

Es gibt wie in Abb. 3.16 gezeigt wird Seilbahnen in Einseil-, oder Zweiseilbetrieb. Will man die Förderkapazität steigern, so wählt man als erste Maßnahme einen größeren Durchmesser der verwendeten Seile. Dieses Vorgehen wird allerdings durch die größeren maximalen Biegeradien, sowie dem zunehmenden Eigengewichtes der Seile begrenzt. Um diesen Gegebenheiten auszuweichen, werden zwei oder mehr Seile mit derselben Funktion eingesetzt. Die Bezeichnung der Einseilbahn ist eher auf die Funktion des Seiles bezogen, nicht auf die Anzahl der Seile. <sup>(13)</sup>



Vor- und Nachteile beider Bau- und Betriebsarten		
	Einseilbahn	Zweiseilbahn
allgemeine Unterschiede	<ul style="list-style-type: none"><li>+ geringerer Bauaufwand<ul style="list-style-type: none"><li>➤ niedrigere Anschaffungskosten (gilt nicht für Doppel- und große Einseilbahnen)</li></ul></li><li>+ günstigerer Unterhalt</li><li>- geringe zulässige Seilhöhe<ul style="list-style-type: none"><li>➤ kurze Spannfelder, mehr Stützen notwendig</li><li>➤ Waldrodungen nötig, größerer Landschaftseingriff, für stark gegliedertes Gelände nicht geeignet</li></ul></li><li>- Stöße bei Überfahrt der Seilklemmen über die Rollenbatterien, insbesondere bei Niederhaltstützen<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Erschütterung von Fahrzeugen und Stützen</li><li>➤ Komforteinbuße</li><li>➤ Bauteilverschleiß</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ geringe Seilreibung<ul style="list-style-type: none"><li>➤ geringer Energieverbrauch</li></ul></li><li>+ windstabil (gilt auch für Doppel-Einseilbahnen)</li></ul>
Umlaufbetrieb	<ul style="list-style-type: none"><li>+ höchste Förderleistung</li><li>- höchster spezifischer Energieverbrauch</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>+ mittlere zulässige Seilhöhe (gilt auch für Doppel-Einseilbahnen)<ul style="list-style-type: none"><li>➤ größere Spannfelder</li><li>➤ Überbrückung von Lawenstrichen und Gletschern meist möglich</li></ul></li></ul>
Pendelbetrieb		<ul style="list-style-type: none"><li>+ robust</li><li>+ zusätzliche Windstabilität durch das hohe Kabinengewicht</li><li>+ Bodenabstand unbegrenzt<ul style="list-style-type: none"><li>➤ maximale Spannfeldlängen</li><li>➤ einziger Bahntyp zur Überwindung von tiefen Tälern und Schluchten</li></ul></li><li>+ größte Einzellast transportierbar</li><li>- Förderleistung umgekehrt proportional zur Streckenlänge<ul style="list-style-type: none"><li>➤ hohe Förderleistungen nur auf kurzen bis mittleren Streckenlängen erreichbar</li></ul></li><li>- schubweiser Fahrgaststrom<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Führung in den Stationen nicht einfach</li></ul></li></ul>

c0034

Abb. 3.16: Vor- und Nachteile beider Bau- und Betriebsarten <sup>(13)</sup>

### 3.4.1. Einseilbahn

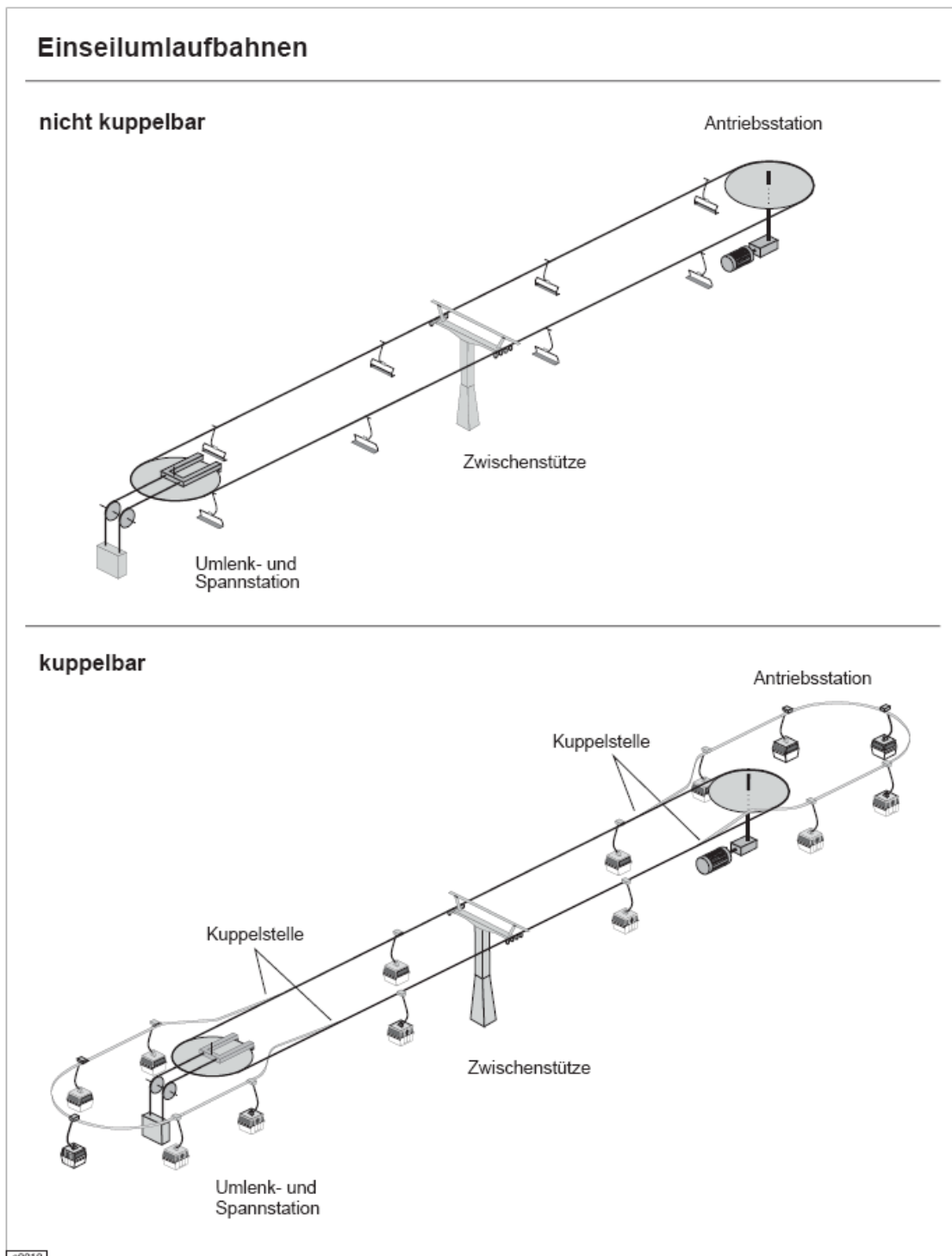
#### 3.4.1.1. Kontinuierlicher Umlaufbetrieb

##### Vorteile:

- Geringe Anlagen- und Betriebskosten bei hoher Förderkapazität
- Bestes Preis-/ Leistungs- Verhältnis unter den Schwebbahntypen
- Durch die geringe Anzahl an bewegten Teilen, robust gegen Störeinflüsse

**Nachteile:**

- Begrenzte Seilhöhe → eingeschränkter Einsatz im extremen Gelände
- Ein- und Ausstiegsvorgang bzw. Be- und Entladen bei nicht kuppelbaren Bahnen (Abb. 3.17) beschränkt die Förderleistung (konstante Seilumlaufgeschwindigkeit)
- Höhere Bau- und Instandhaltungskosten bei kuppelbaren Bahnen

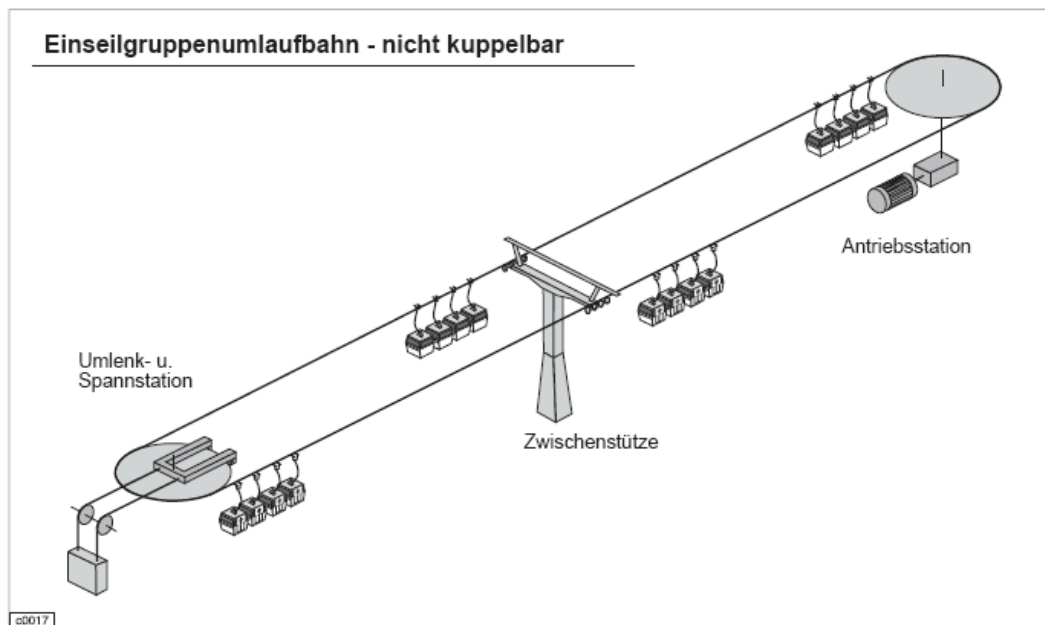


**Abb. 3.17:** Einseilumlaufbahnen kuppelbar <sup>(13)</sup>



### 3.4.1.2. Intermittierender Umlaufbetrieb

Bei Seilschwebebahnen im intermittierenden Betrieb sind üblicherweise zwei oder vier Transporteinheiten mit mehreren Transportfahrzeugen in bestimmten Abständen am Förderseil festgeklemmt. Es erreichen immer zwei Transporteinheiten gleichzeitig die Berg- bzw. Talstation. Der Umlaufbetrieb stoppt, wenn die Transporteinheiten in den Stationen angekommen sind, das führt zu einer nur mäßigen Förderleistung.



**Abb. 3.18:** Einseilgruppenumlaufbahn - nicht kuppelbar <sup>(13)</sup>

### 3.4.1.3. Pendelbetrieb

Einseilpendelbahnen, Bild siehe Abb. 3.19, sind prinzipiell für ähnliche Anwendungsgebiete eingesetzt wie intermittierende Umlaufbahnen.



**Abb. 3.19:** Beispiel einer Einseil-Pendelbahn mit einem Seil <sup>(14)</sup>

### 3.4.1.4. Doppel- Einseilbahn

Bei der Doppel- Einseilbahn sind zwei Förderseile parallel geführt. Die Transportfahrzeuge werden durch zwei Klemmen an den Seilen befestigt, siehe Abb. 3.20.



Abb. 3.20: Bild einer Doppel- Einseilbahn <sup>(15)</sup>

Es gibt zwei Systeme von Doppel- Einseilbahnen, siehe Abb. 3.21 und Abb. 3.22.

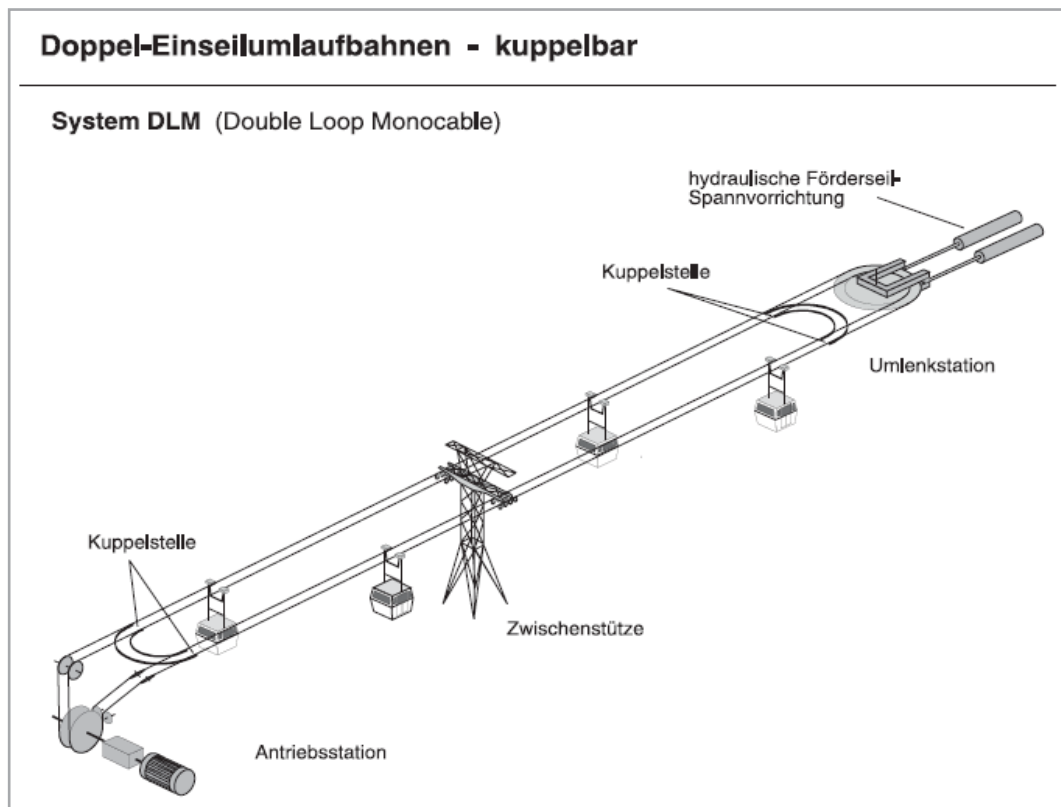


Abb. 3.21: Doppel- Einseilumlaufbahn – kuppelbar (Double Loop Monocable) <sup>(13)</sup>

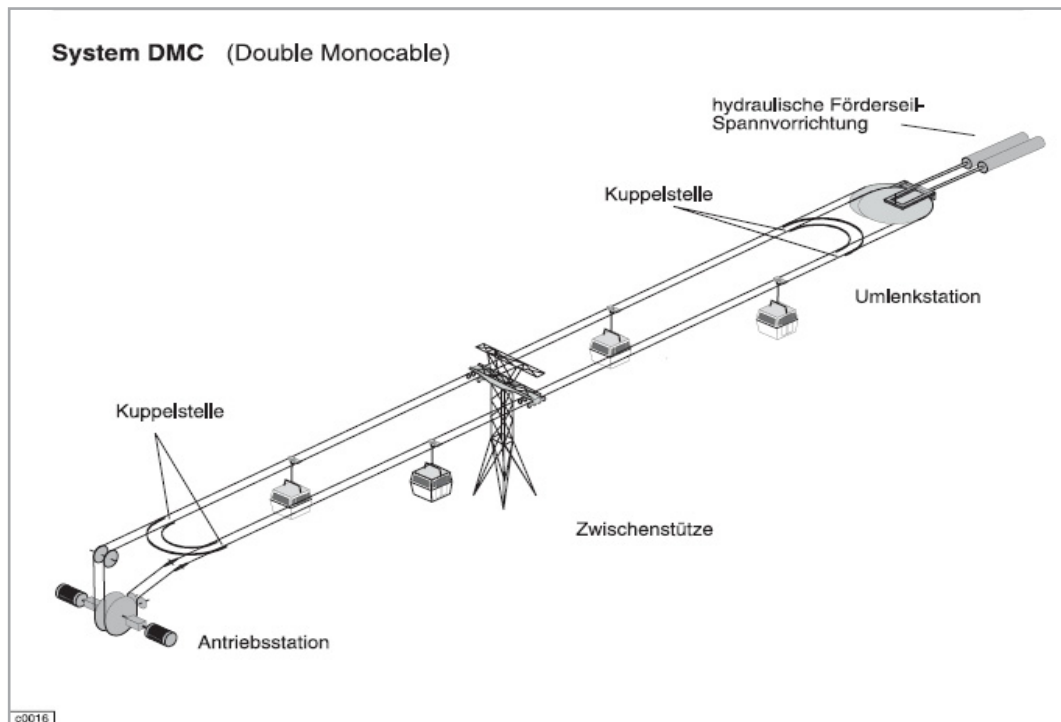


Abb. 3.22: Doppel- Einseilumlaufbahn - kuppelbar (Double Monocable) <sup>(13)</sup>

- DLM:** „Double Loop Monocable“; Ein Förderseil läuft um eine doppelte Schleife, diese Schleife wird mit nur einem Motor über zwei fest miteinander verbundenen Seilscheiben angetrieben. (österreichisches System)
- DMC:** „Double Monocable“; Der Gleichlauf der zwei getrennten Förderseilschleifen wird durch eine elektronische Synchronisierung der Antriebe sichergestellt.

### 3.4.2. Mehrseilbahn

Durch die Aufgabentrennung des Förderseils in Last- und Tragseil sind die Komponenten der Anlage, wie Streckenbauwerke und Aufhängung wesentlich komplexer und damit teurer als bei der Einseilumlaufbahn. Durch die erhöhte Anzahl von Zug- und Tragseilen können jedoch schwerere Lasten befördert werden. Mehrseilsysteme werden deshalb vor allem bei größeren Bodenabständen oder langen Spannfeldern eingesetzt, wo Einseilumlaufbahnen nicht mehr zulässig sind. Hauptsächlich gibt es Zweiseil- (Abb. 3.23, Abb. 3.24), oder Dreiseilbahnen (Abb. 3.25, Abb. 3.26). Wie bei der Einseilbahn gibt es auch Mehrseilbahnen im kontinuierlichen, intermittierenden Umlaufbetrieb und Pendelbetrieb. Die Zweiseil-Pendelbahn (Abb. 3.27) zeichnet sich unter anderem dadurch aus, dass sie wegen der im Notfall eingesetzten Rettungsbahn, weite Stützabstände aufweisen und bis hohe Seilhöhen betrieben werden darf.

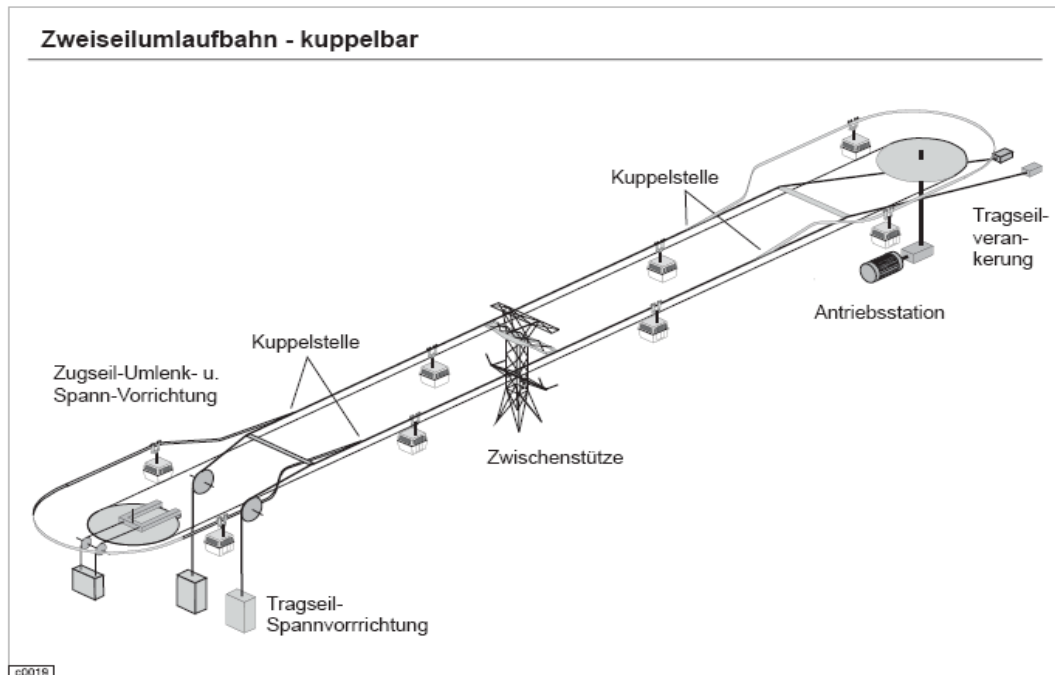


Abb. 3.23: Zweiseilumlaufbahn – kuppelbar <sup>(13)</sup>

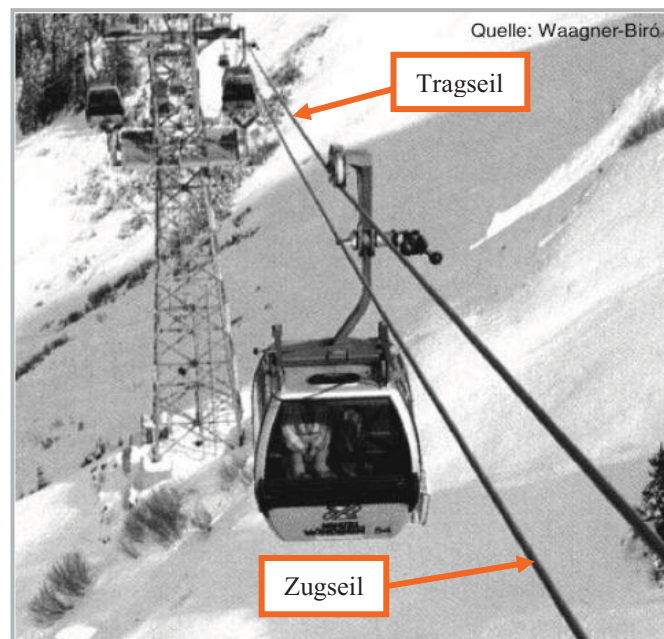


Abb. 3.24: 2S- Bahn (1 Tragseil, 1 Zugseil) <sup>(13)</sup>

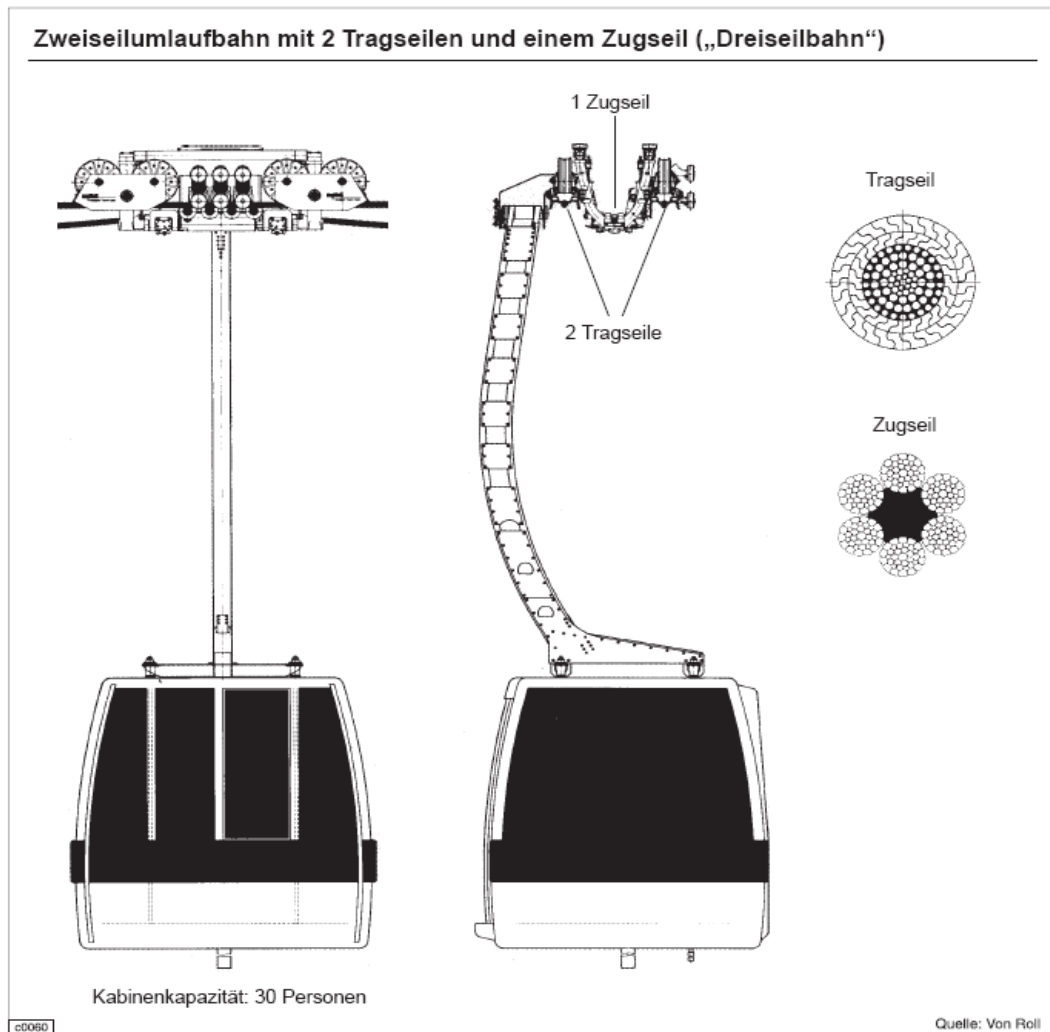


Abb. 3.25: Zweiseilumlaufbahn mit 2 Tragseilen und einem Zugseil <sup>(13)</sup>

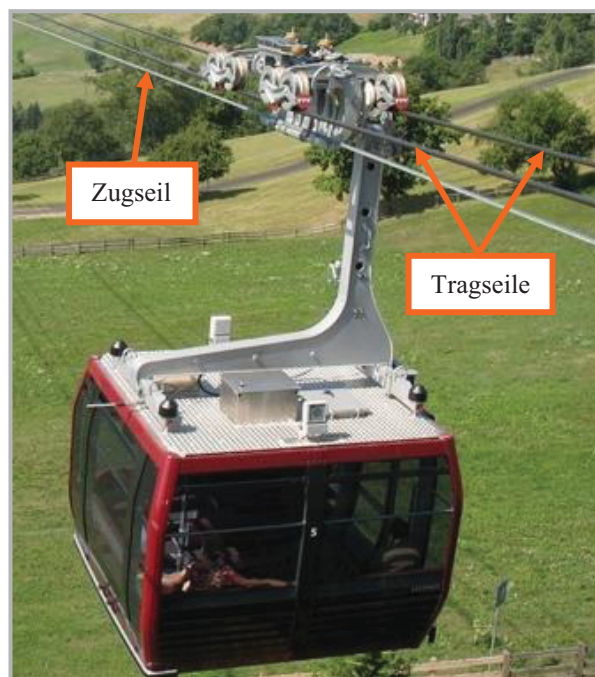


Abb. 3.26: 3S- Bahn (2 Tragseile, 1 Zugseil); Rittner Seilbahn <sup>(16)</sup>

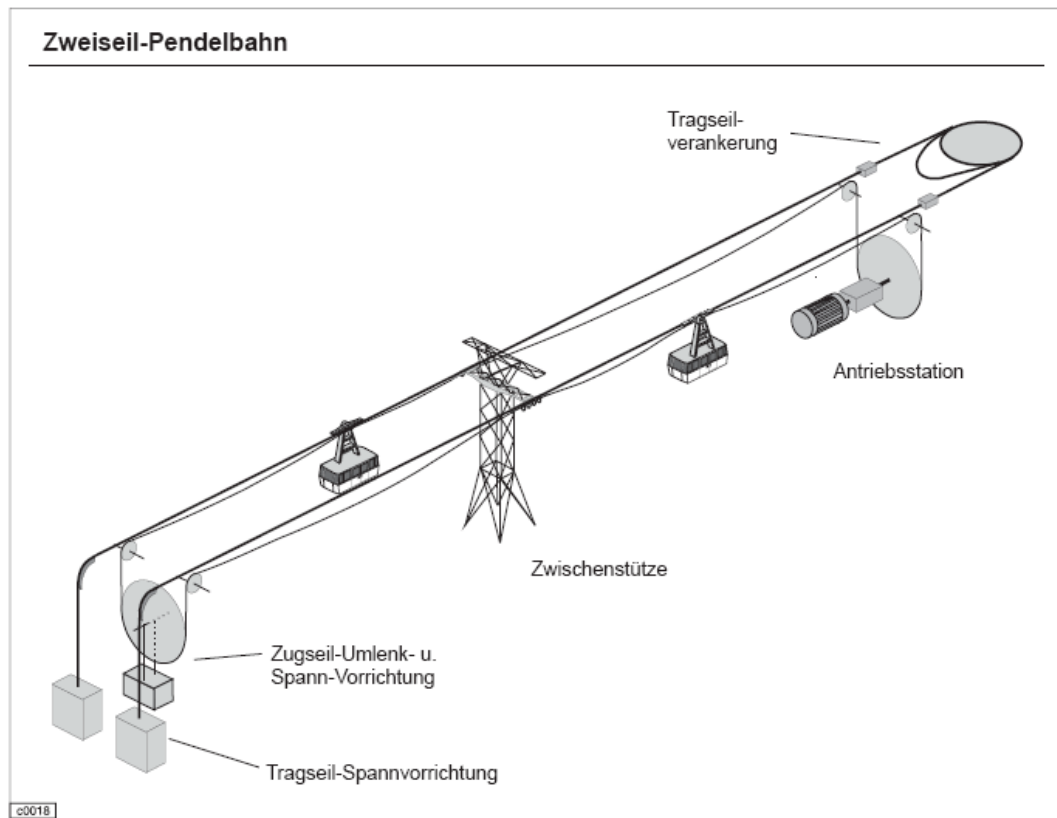


Abb. 3.27: Zweiseil- Pendelbahn <sup>(13)</sup>



### 3.4.3. Bauelemente der Seilbahnen

#### 3.4.3.1. Seile

Drahtseile kann man nach dem Verwendungszweck einteilen.

- Laufende Seile (Zugseile)
- Stehende Seile
- Tragseile
- Anschlagseile

Seilarten					
Rundseil	Spiralseil (Rundlitze)	einfach verseilt	(offenes) Spiralseil (Rundlitze)	—	—
			verschlossenes Spiralseil	halbverschlossenes Spiralseil	—
				vollverschlossenes Spiralseil	—
	Litzenseil	zweifach verseilt	Rundlitzenseil	einlagiges Rundlitzenseil	—
				mehrlagiges Rundlitzenseil	Spiral- Rundlitzenseil
					Parallel- Rundlitzenseil
			Formlitzenseil	Dreikantlitzenseil	—
				Flachlitzenseil	einlagiges Flachlitzenseil
					mehrlagiges Flachlitzenseil
	Kabelschlagseil	dreifach verseilt	—	—	—
Flechtseil	ge- flochten	—	—	—	
Flachseil	—	einfach genäht	—	—	
	—	doppelt genäht	—	—	

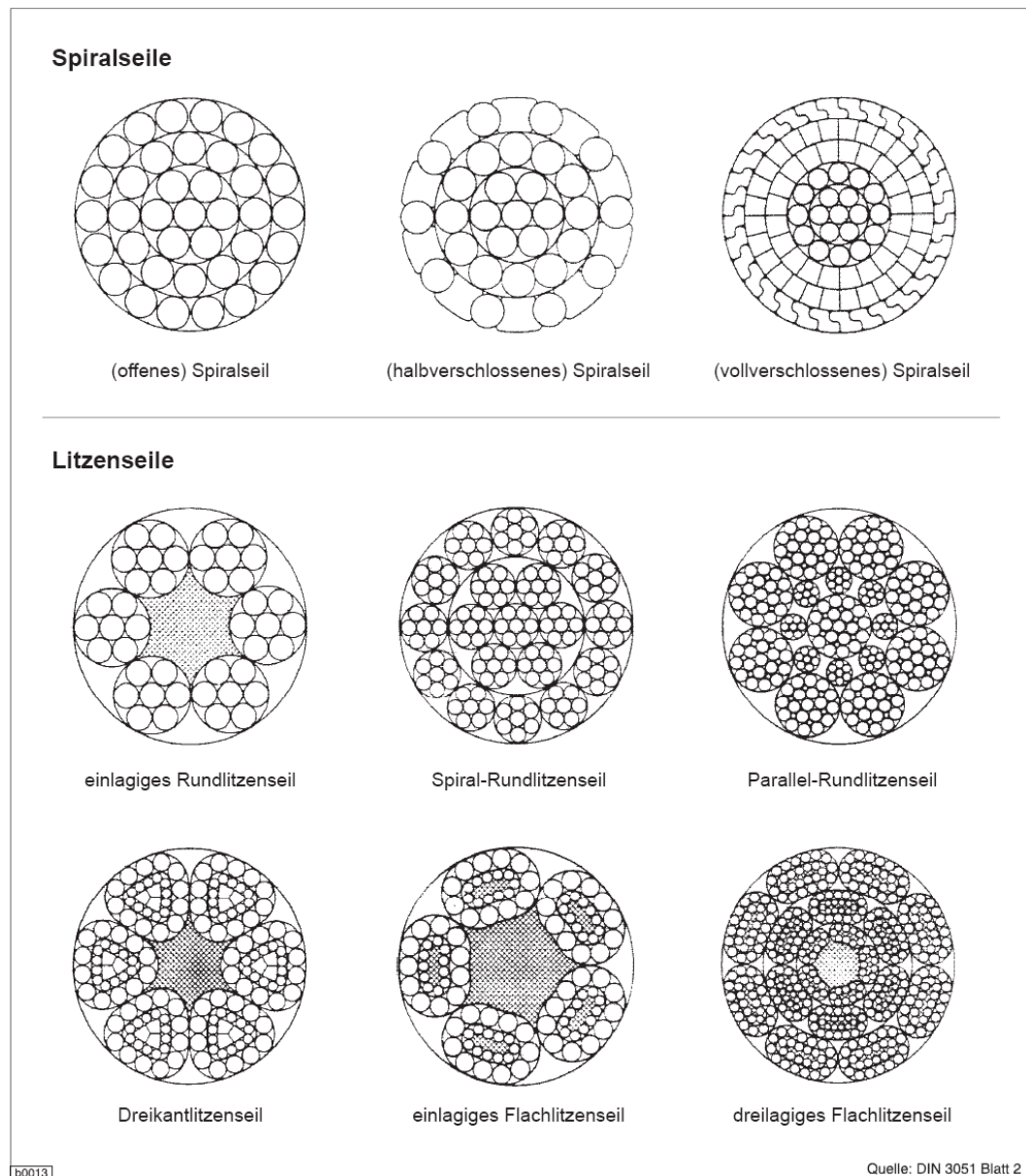
Abb. 3.28: Einteilung der verschiedenen Seilarten nach DIN 3051 Blatt 2 <sup>(13)</sup>

#### Spiralseile:

Diese werden aus einzelnen Drähten direkt verseilt. Spiralseile halten Zugbeanspruchungen gut aus, sind aber nur eingeschränkt biegsam. Wenn man den Drähten eine bestimmte Außenkontur gibt, können Spiralseile eine glatte Oberfläche aufweisen, siehe Abb. 3.29. Damit können z.B. Rollen besser darauf laufen und zählen somit zu den „stehenden Seilen“.

### Litzenseile:

Bei den Litzenseilen windet man dünne Einzeldrähte schraubenlinienförmig um eine Litzeneinlage herum und diese Einzeldrähte werden ebenfalls schraubenlinienförmig um eine Einlage, der Seele, geschlagen, siehe Abb. 3.30. Diese Art des Seilaufbaus führt dazu, dass diese Seilart eine hohe Biegsamkeit erreicht und als „laufendes Seil“ eingesetzt wird.



**Abb. 3.29:** Darstellung der Spiralseil- und Litzenseile <sup>(13)</sup>



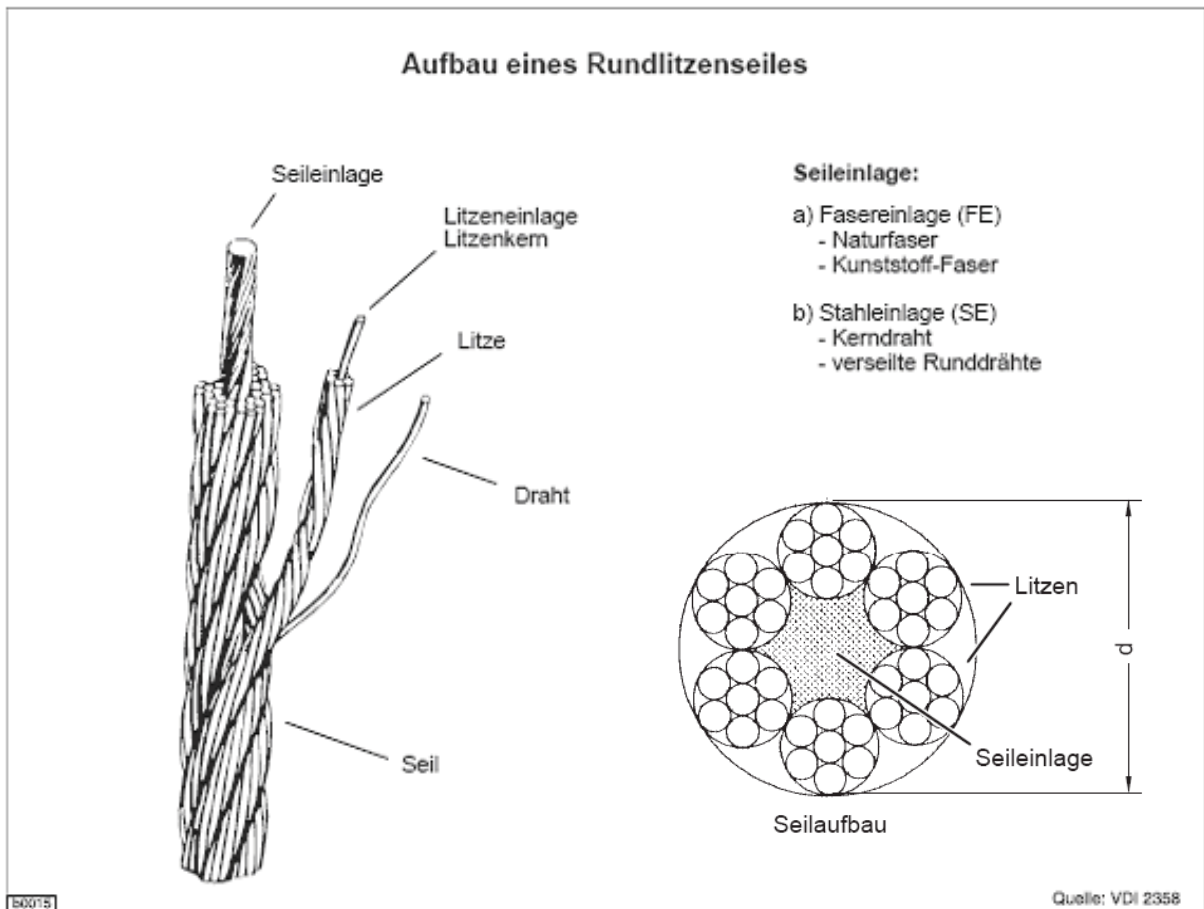


Abb. 3.30: Aufbau eines Rundlitzenseiles <sup>(13)</sup>

Weiters gibt es bei den Seilen verschiedene Einteilungen nach:

- Schlagarten: Kreuz- und Gleichschlag
- rechts- oder linksgängig (Abb. 3.31)
- Verseilarten: Parallel- und Standartschlag (Abb. 3.32)

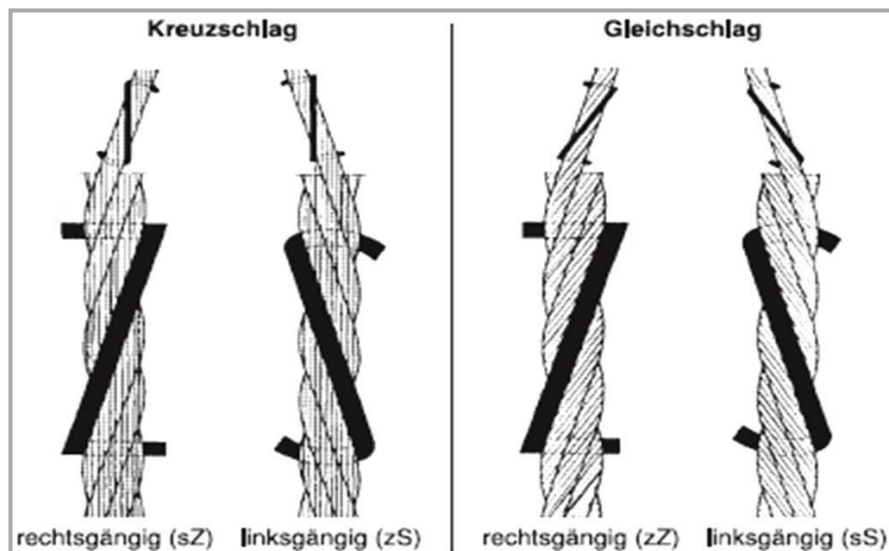
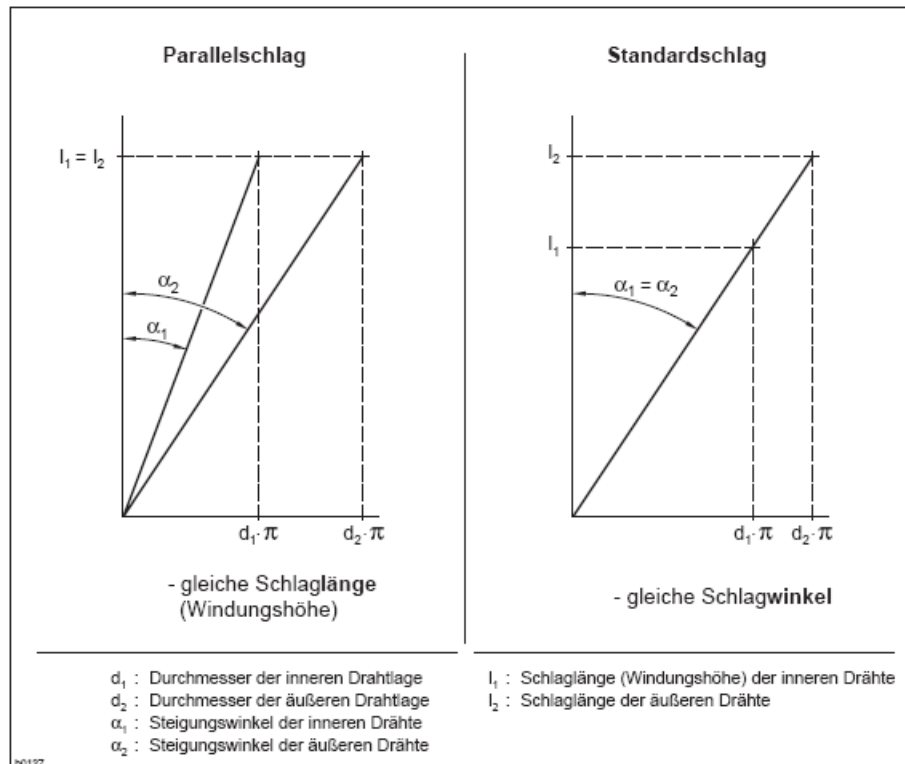


Abb. 3.31: Schlagarten des Litzenseiles <sup>(13)</sup>



**Abb. 3.32:** Verseilarten bei Litzenseilen <sup>(13)</sup>

### 3.4.3.2. Stützen

Stützen setzen sich zusammen aus:

- Stützenfuß (am Betonfundament angeflanscht)
- Mast (Mittelteil)
- Querhaupt (Kopfträger)

#### Einteilung der Stützen

Funktion:    Trag-, Niederhalter-, Wechsellaststütze

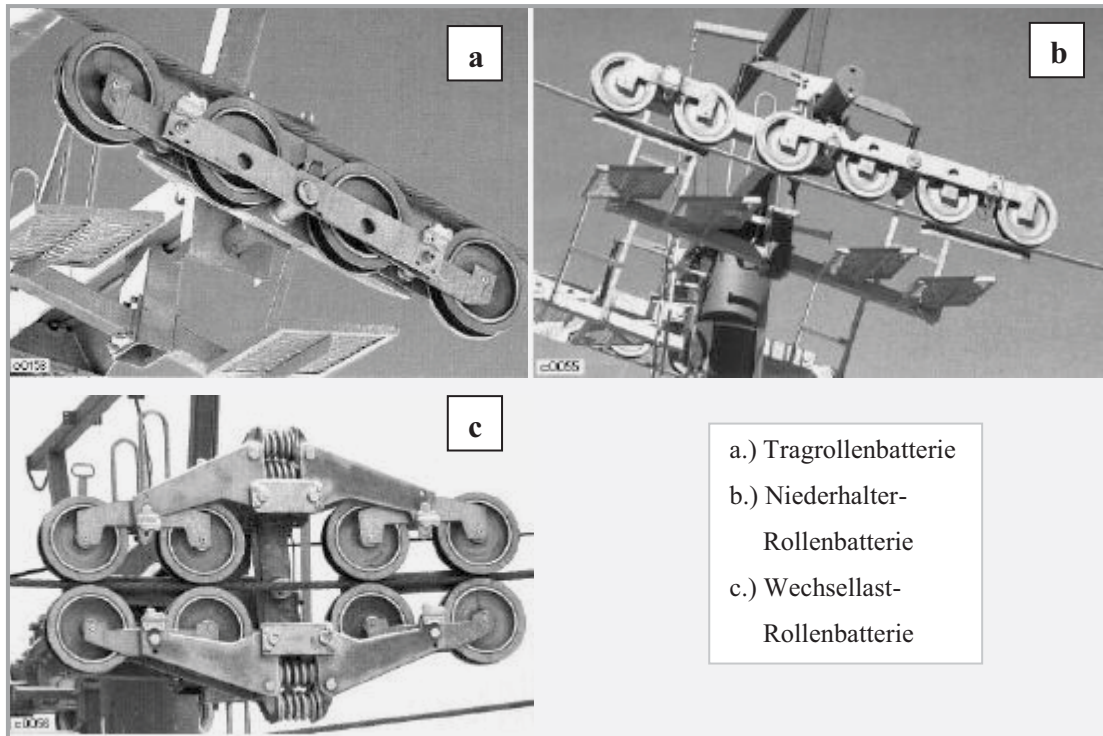
Mast-Bauart: Rundrohr-, Blechkasten-, Fachwerk-, Betonstützen, Sonderbauformen

Bauformen:    Ein-, Mehrfachstütze, Portalstütze, Kuppengerüst

### 3.4.3.3. Rollenbatterien

Das Förderseil läuft in einer Rille der Seilrolle, welche zur Schonung des Seils mit einer Kunststoff- oder Gummifütterung ausgekleidet ist. Die Aufgabe der Rollen besteht darin, sowohl die vertikale als auch die horizontale Führung zu übernehmen. Eine Rollenwiege oder auch Rollenwippe genannt besteht aus einem Stahlrahmen, in dem jeweils zwei nebeneinander stehende Seilrollen gelagert sind. Diese drehbar gelagerten Rollenwiegen werden wiederum zu einer größeren Baugruppe zusammengefasst, der Rollenbatterie.

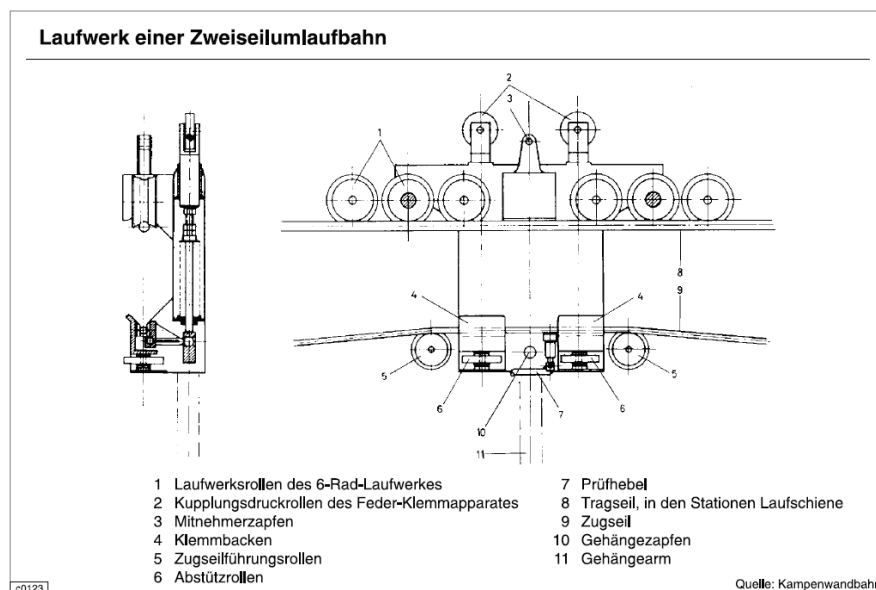
Diese Rollenbatterie wird wie in Abb. 3.33 zu sehen ist als Tragrollenbatterie, Niederhalter-, oder Wechsellast- Rollenbatterie mit einer geradzahligen Anzahl von Rollen verwendet.



**Abb. 3.33:** Varianten der Rollenbatterie <sup>(13)</sup>

#### 3.4.3.4. Laufwerke

Es gibt bei Zwei- oder Mehrseilförderbahnen eine Trennung zwischen Trag- und Zugseil. Das Fahrzeug rollt mittels der Laufwerke auf dem festen Tragseil und wird mit einer Seilklemme an das umlaufende Zugseil geklemmt, um das Fahrzeug in Zugrichtung zu bewegen.



**Abb. 3.34:** Laufwerk einer Zweiseilumlaufbahn <sup>(13)</sup>

### 3.4.3.5. Seilklemmen

Die Seilklemme dient zur Befestigung des Fördermittels mit dem Seil und dient daher zur Übertragung der Funktion des Förder- bzw. Zugseils. In den meisten Fällen gewährleistet ein Tellerfederpaket, dass das Förderseil mit einer konstanten Anpresskraft in der Klemme festgehalten wird, siehe Abb. 3.35. Damit der Verschleiß des Seiles gering gehalten werden kann, wechselt man in regelmäßigen Zeitabständen die Position der Klemmen am Förderseil. Seilklemmen werden unterteilt in kuppelbare und feste, wobei man die kuppelbaren Seilklemmen auch während des Betriebes vom Seil nehmen kann um z.B. die Passagiere bequem aussteigen zu lassen. Die betrieblich lösbaren Klemmen werden bei Fahrtbeginn durch einen Schließvorgang fest mit dem Seil verbunden, am Ende der Fahrt wird diese feste Verbindung ausgekuppelt, wie in Abb. 3.36 dargestellt. Bei Durchfahrt der Kuppelbereiche spannt ein Spannhebel, der über eine Schiene zwangsgeführt wird, die Spannvorrichtung der Seilklemme vor, verlässt das Fahrzeug die Station, wird die Vorspannkraft genutzt um die erforderliche Anpresskraft auf das Seil zu übertragen.

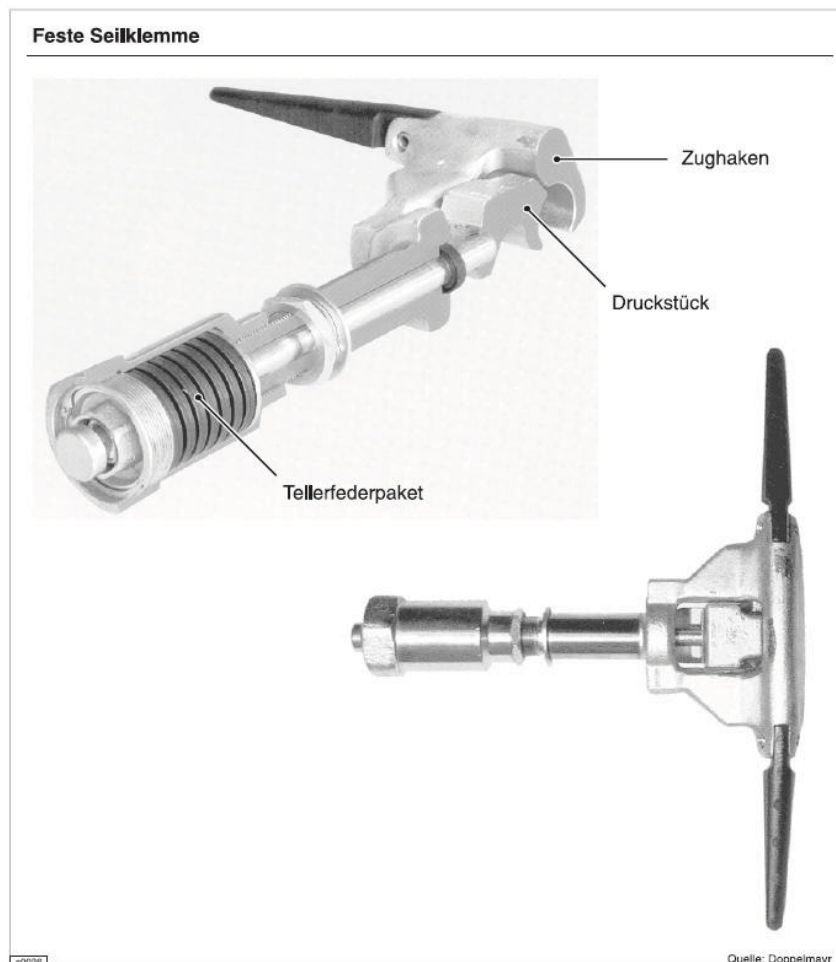
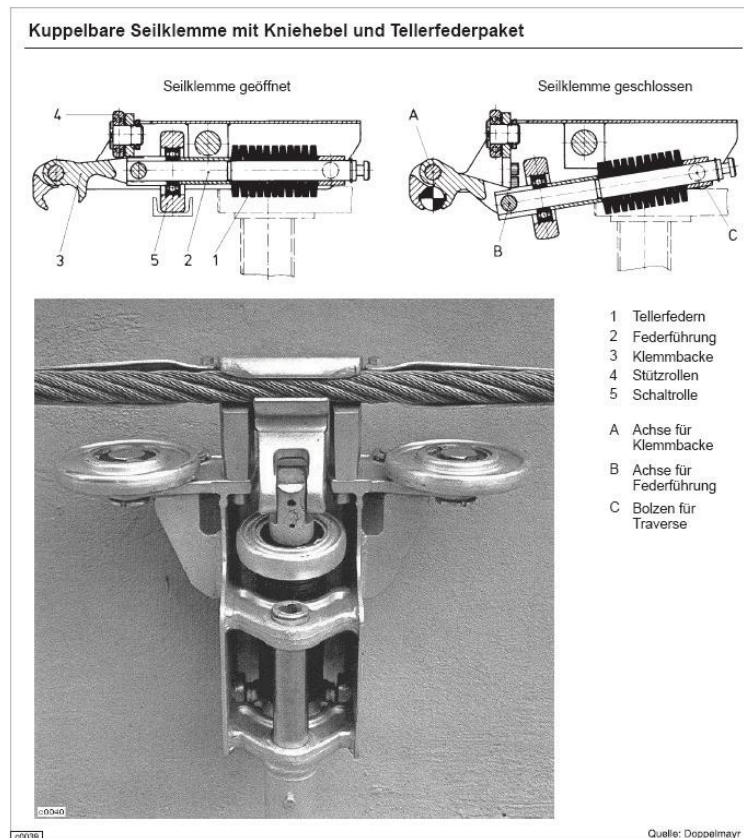
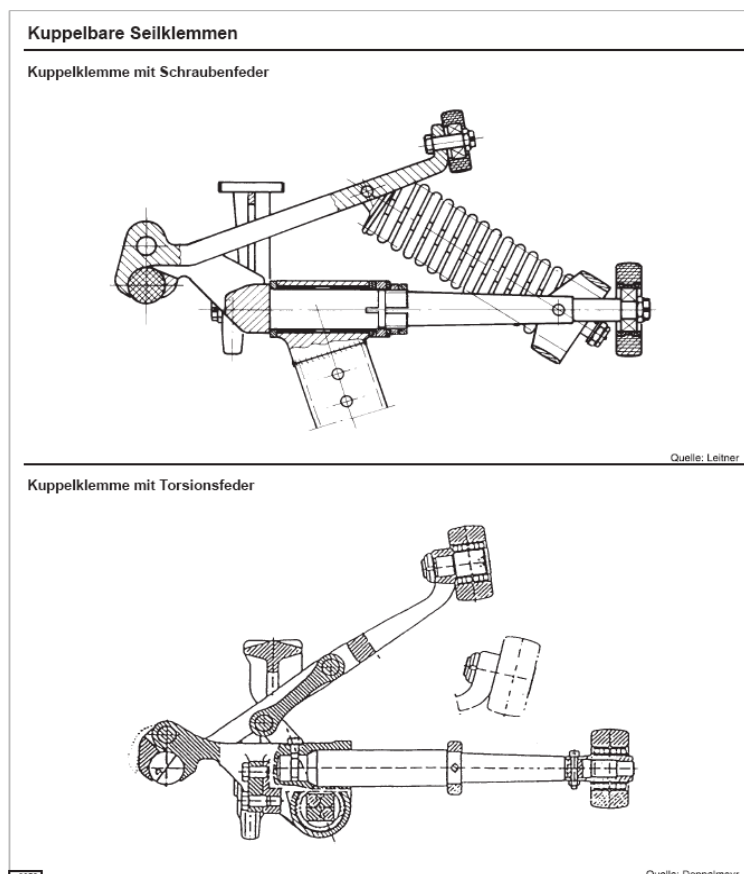


Abb. 3.35: Feste Seilklemme <sup>(13)</sup>



**Abb. 3.36:** Kuppelbare Seilklemmen mit Kniehebel und Tellerfederpaket <sup>(13)</sup>



**Abb. 3.37:** Kuppelbare Seilklemmen mit Schrauben- oder Torsionsfeder <sup>(13)</sup>



### 3.4.3.6. Fahrbetriebsmittel

Unterschiedliche Arten von Fahrbetriebsmitteln:

#### Personenbeförderung

- Gondel
- Sesseln
- Fahrzeuge auf einer Standseilbahn
- Schleppgehänge
- Wagenkasten

#### Güterbeförderung

- Kippkübel
- Bodenentleergefäße
- Greifer
- Schienen (Seil- Hängebahn)
- Container

### 3.4.4. Vor- und Nachteile einer Seilbahn <sup>(2)</sup>

#### Vorteile

- Ruhiger geräuscharmer Lauf auf der Strecke
- Geringer Energieaufwand eines Zweiseilbetriebssystems
- grundsätzlich Generatorbetrieb möglich
  - Energierückgewinnung bei Bergabwärtsfahrten
- Starke maximale Neigung unbedenklich
  - Schüttgutgefäße stehen in waagrechter Position, es besteht keine Gefahr des Abrutschen des Fördergutes
- Bei Zweiseilsystem sind lange Seilfelder möglich
  - Anzahl der Streckenbauwerke (Stützen) werden minimiert
  - Abhängig vom maximal erlaubten Durchhang der Seile

#### Nachteile

- Üblicherweise ist die Position der Abwurfstelle nur eingeschränkt variabel
  - Abwurfstellen meist nur in den Stationen
- Linienführung einer Seilbahn nur mit großem technischen Aufwand möglich
- Diskontinuierliche Materialauf- und -abgabe
  - zwischen den einzelnen Fördergefäßen ist ein gewisser Abstand vorhanden (pulsierende Förderung)
  - Be- und Entladen erfolgt in gewissen Intervallen

- Die Seilbahn besteht aus sehr vielen Einzelteilen
  - Erhöhung die Ausfallswahrscheinlichkeit
  - Bei einer an die Randbedingungen angepassten Konstruktion des Abwurfsystems fallen zusätzliche Einzelteile an
- Bei einer geringen Förderlänge ist ein Seilbahnsystem aufgrund des hohen technischen und kostenspezifischen Aufwands unwirtschaftlich
- Aufgrund der Konstruktion des Schüttgutbehälters ist eine vollständige Reinigung im Vergleich zur Reinigung eines Fördergurtes wesentlich aufwändiger

## 4. Arten von Schüttgutbehälter beim Materialtransport

Damit die Seilbahn am steirischen Erzberg überhaupt eingesetzt werden kann muss eine Lösung gefunden werden, wie der Abwurfmechanismus konzipiert werden soll. Um eine endgültige Entscheidung zu treffen werden vorerst die verschiedenen Arten von Schüttgutbehälter beschrieben.

### 4.1. Kippkübel

Eine der einfachsten Varianten der Schüttgutbehälter ist der Kippkübel. Dabei wird der Kübel wie in Abb. 4.1 zu sehen ist aufgehängt und mit Material von oben befüllt. Bei der Entleerung des Schüttgutes wird der Kübel mechanisch, oder per Hand, um eine horizontale Achse gekippt. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Lage des Schwerpunktes relativ zur Aufhängung. Das Gefäß soll sich im leeren Zustand von selbst wieder aufrichten und im vollen Zustand nach Lösen der Verriegelung umkippen und das Schüttgut entleeren.

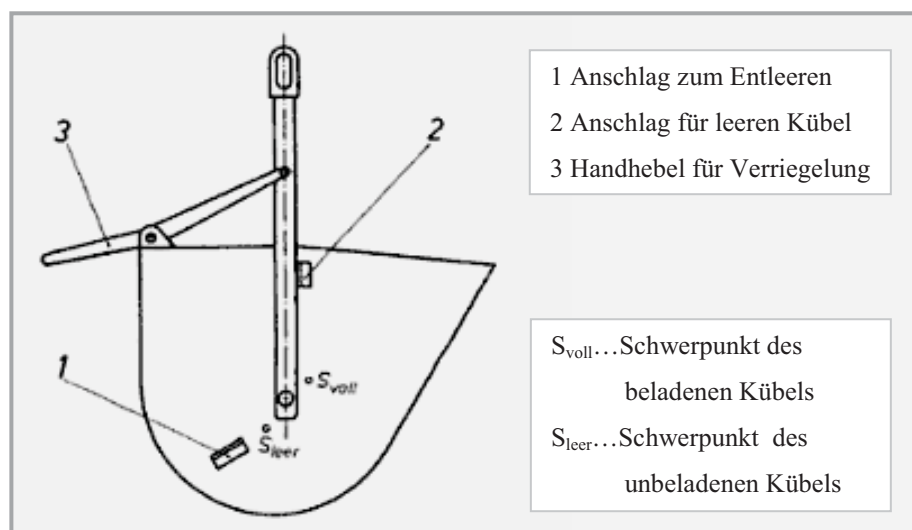


Abb. 4.1: Kippkübel <sup>(17)</sup>

## 4.2. Bodenentleergefäße

Die Bodenentleergefäße haben, wie der Name schon sagt, am Boden des Gefäßes zB Klappen, siehe Abb. 4.2, die bei Entleerung des Schüttgutes geöffnet werden. Neben den Klappen gibt es auch Drehschieber, bei denen die Bodenöffnung mittels Hebel betätigt wird und anschließend an das Entleeren von selber wieder schließt. Entleerungsglocken eignen sich besonders für die Beschickung von Bunkern mit feststehender Füllstelle.

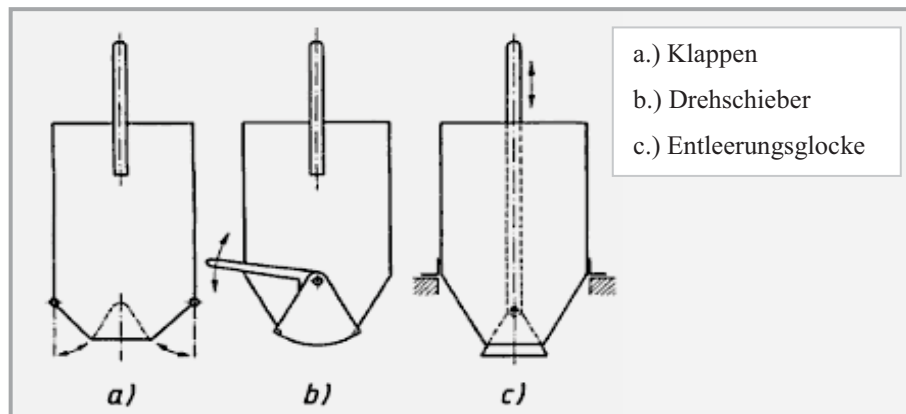


Abb. 4.2: Bodenentleergefäße <sup>(17)</sup>

Neben diesen konventionellen Bodenentleergefäßen gibt es noch Weiterentwicklungen dieser Varianten, wie in Abb. 4.3 gezeigt wird.



Abb. 4.3: Bodenentleergefäße der Firma Allegheny <sup>(18)</sup>

## 4.3. Klappkühel

Das Gefäß hängt an zwei getrennten Seilsträngen, diese müssen so schaltbar sein, dass beim Öffnen des Kühels nur das Steuerseil, siehe Abb. 4.4, bewegt wird. Im Wesentlichen ist ein Klappkühel ein Greifer.



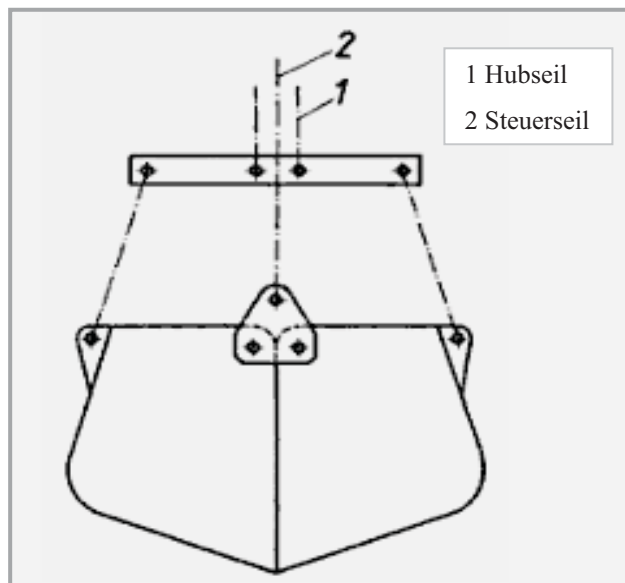


Abb. 4.4: Klappkübel mit Gehänge <sup>(17)</sup>

## 5. Entleerungsvorrichtung

Die geplante Abwurfstelle des Schüttgutes am steirischen Erzberges befindet sich in mehreren Metern Höhe. Dieser Umstand erschwert das Entleeren des Schüttgutbehälters immens, da dieser sich bis auf die Seile frei in der Luft bewegt und somit in der näheren Umgebung kein Hebel oder eine Vorrichtung angebracht werden kann, die den Behälter mechanisch öffnet und somit einleert (Abb. 5.1).

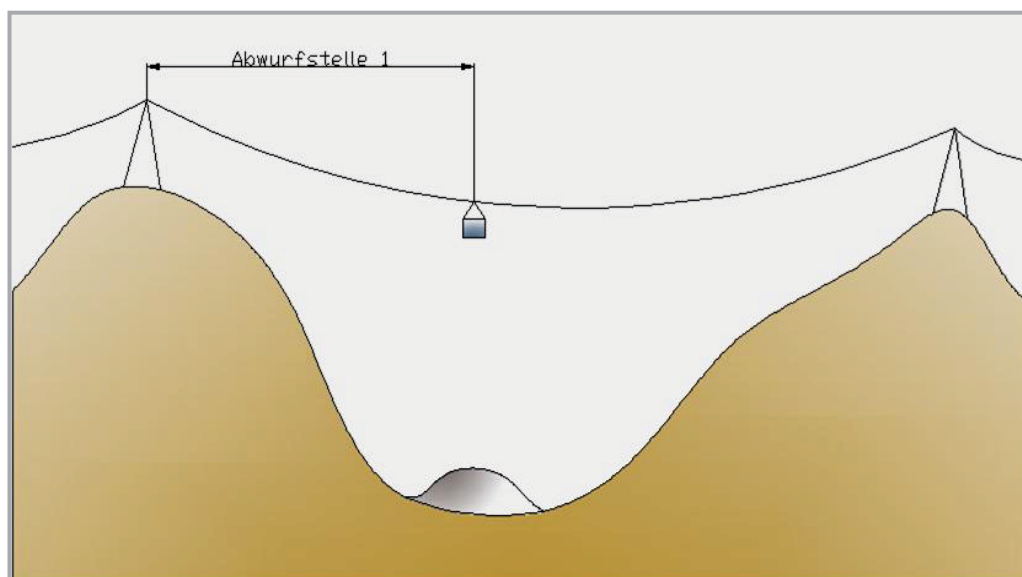


Abb. 5.1: Skizze der Abwurfstelle zwischen der Stützen

## 5.1. Schüttgutbehälter mit Bodenentleerung

Damit der Öffnungsmechanismus an einer beliebigen Stelle auslöst werden kann, braucht man Informationen über die Position des Schüttgutbehälters. Damit die Abwurfstellen verändert werden können, müssen diese Positionen variabel sein.

## 5.2. Konstruktion- pneumatischer Zylinder und Rotationssensor

Eine Möglichkeit die Problemstellung zu lösen ist ein System aus pneumatischen Elementen, wie Pneumatikzylinder, Stellglied und Druckluftspeicher, sowie einer Steuerung des elektrisch betätigten Stellgliedes mit einem Rotationssensor und einer Steuerungseinheit, wie einer SPS oder RCX. Erschwerend hinzukommt, dass eine Versorgung der elektrischen Komponenten des Systems gewährleistet sein muss. Eine Möglichkeit wäre ein Dynamo der während des gesamten Umlaufbetriebes an der Seilrollenwelle mitläuft. Die damit gewonnene elektrische Energie wird in einem Energiespeicher gespeichert und bei Bedarf verwendet.

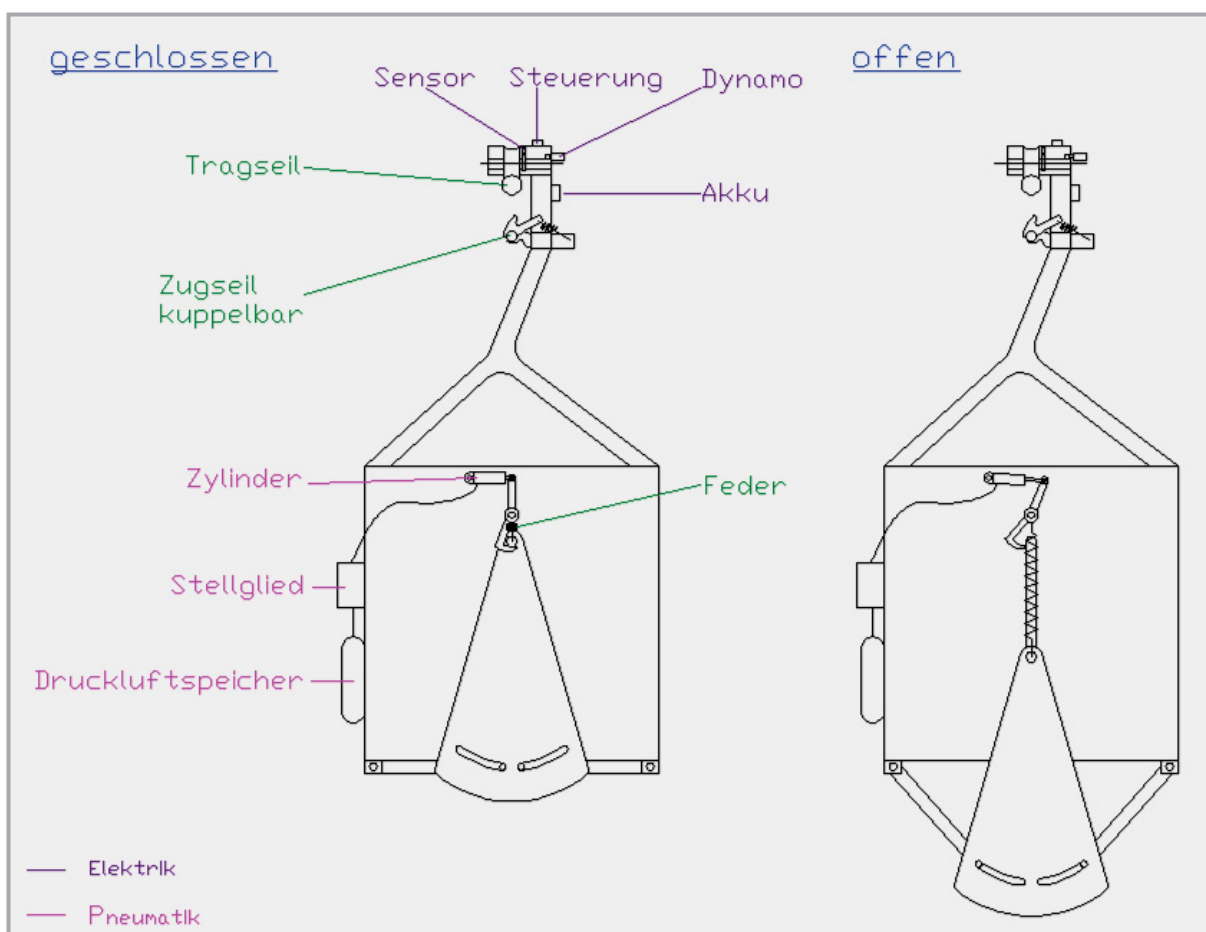
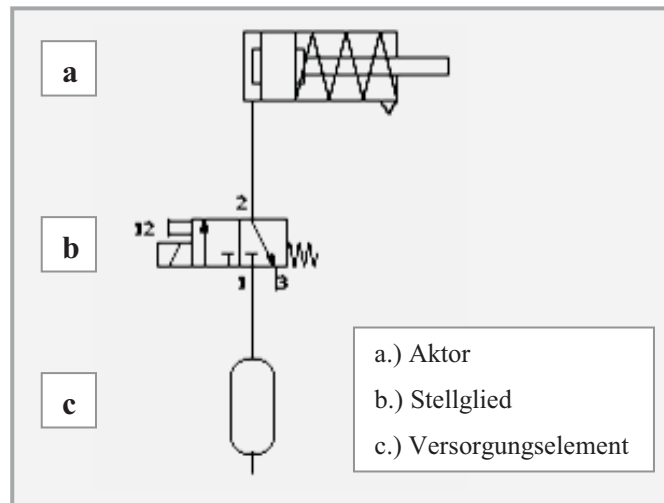


Abb. 5.2: Skizze des Bodenentleerungskübel mit den einzelnen Steuerelementen

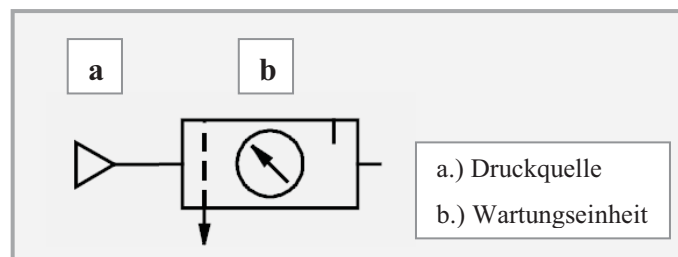
### 5.2.1. Pneumatische Steuerelemente <sup>(19)</sup>

Die wesentlichen pneumatischen Steuerelemente sind in Abb. 5.3 dargestellt. Als Aktor dient ein einfachwirkender Zylinder, das Stellglied ist ein 3/2 Wegeventil das elektrisch betätigt wird und als Druckluftversorgung dient ein Druckluftspeicher, der an der Beladestation aufgeladen wird.

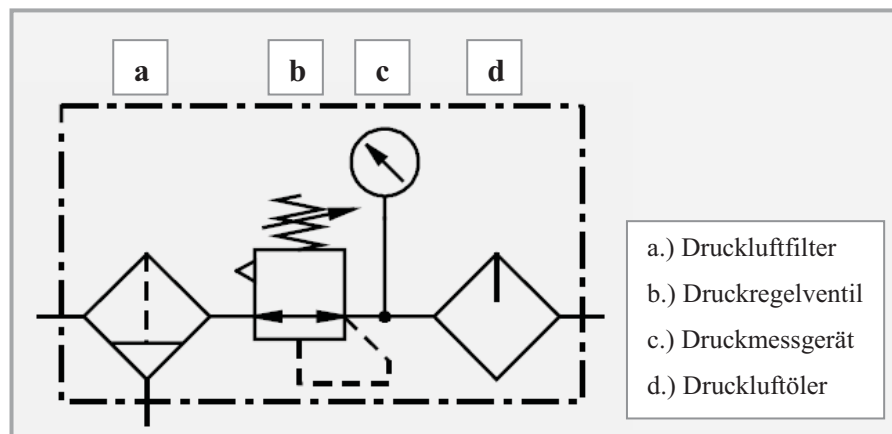


**Abb. 5.3:** pneumatischer Steuerkreis direkt am Kübel befestigt <sup>(19)</sup>

Die Versorgungselemente in der Beladestation bilden, wie in Abb. 5.4 abgebildet, eine Druckquelle mit einer Wartungseinheit. Die Wartungseinheit besteht aus Druckluftfilter, Druckregelventil, Druckmessgerät sowie einem Druckluftöler. (Abb. 5.5)



**Abb. 5.4:** Versorgungselemente an der Beladestation <sup>(19)</sup>



**Abb. 5.5:** Komponenten der Wartungseinheit <sup>(19)</sup>

### 5.2.1.1. Pneumatikzylinder

Zur Betätigung des Hebels, der die seitlich angebrachte Platte nach unten öffnet, wird ein einfachwirkender Pneumatikzylinder eingesetzt, wie in Abb. 5.2 dargestellt. Der Vorteil eines Pneumatiksystems gegenüber einem Hydrauliksystem ist, dass kein geschlossener Regelkreis mit einer Flüssigkeitsrückführung notwendig ist. Die Druckluft kann an die Umgebung abgegeben werden. Die Rückstellung des Zylinders wird von einer Feder übernommen. Die Kraft die der Pneumatikzylinder braucht um den Hebel zu betätigen ist in erster Linie abhängig vom verfügbaren Druckunterschied, sowie von der Kolbenfläche  $A$ , nach Glg. (4.1). Weiteren Einfluss auf die Kraft des Pneumatikzylinders üben die Leckageverluste und Temperaturunterschiede aus.

Glg. (5.1)

$$F_z = \Delta p \cdot A_K$$

$F_z$ ..... Kraft des Zylinders  
 $\Delta p$ ..... Druckunterschied  
 $A_K$  ..... Kolbenfläche



Abb. 5.6: Einfachwirkender Pneumatikzylinder mit Federrückstellung <sup>(20)</sup>

### 5.2.1.2. Stellglied des Pneumatikzylinders

Damit man den einfachwirkenden Pneumatikzylinder betätigen kann, reicht ein 3/2 Wegeventil (Abb. 5.7). Dieses Stellglied wird mit einem elektrischen Impuls betätigt, wenn der Schüttgutkübel die richtige Abwurfposition erreicht hat. Die elektrische Betätigung braucht je nach Art des Steuergliedes eine bestimmte Spannung. Die Rückstellung des Wegeventils erfolgt mittels einer Feder.

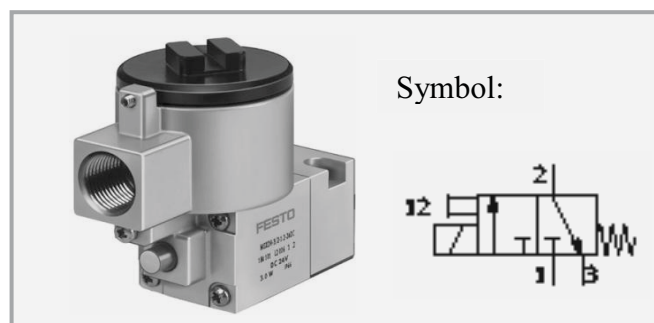


Abb. 5.7: 3/2 Wegeventil elektrisch betätigt mit Federrückstellung <sup>(21)</sup>

### 5.2.1.3. Druckluftspeicher

Damit dem Hydraulikzylinder eine ausreichende Druckluftversorgung zukommt, wird ein Druckluftspeicher angebracht, der in der Station, während der Kübel mit dem Material beschickt wird, aufgeladen wird.

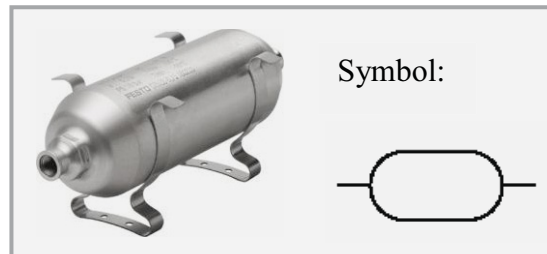


Abb. 5.8: Druckluftspeicher <sup>(22)</sup>

### 5.2.1.4. Komponenten der Druckluftversorgung an der Beladestation

#### Druckluftquelle <sup>(23)</sup>

Als Druckluftlieferanten dienen hauptsächlich zwei Varianten der Druckluftherzeugung, der Kolbenkompressor oder der Schraubenverdichter. Diese Druckluft wird in der Wartungseinheit gereinigt und aufbereitet.

#### Wartungseinheit <sup>(24)</sup>

Die Wartungseinheit hat folgende Funktion zu erfüllen:

- Reinigung (Druckluftfilter)
- Druckregelung (Druckregelventil)
- Druckanzeige (Druckmessgerät)
- Schmierung (Druckluftöler)

Die vom Verdichter kommende Druckluft enthält in geringen Mengen Schmutzpartikel und Feuchtigkeit. Zuerst werden diese Partikel raus gefiltert und im Anschluss erfolgt mit einem Druckregelventil die Justierung des Ausgangsdruckes um eventuelle Druckschwankungen zu kompensieren. Ein Druckmessgerät zeigt den aktuellen Druck im Versorgungsnetz an. Zur ausreichenden Schmierung der Pneumatikelemente ist gegebenenfalls ein Druckluftöler notwendig.

### 5.2.2. Elektrische Steuerelemente

Wie schon erwähnt, braucht man, damit das 3/2 Wegeventil angesteuert werden kann einen elektrischen Impuls, wenn der Kübel die richtige Abwurfposition erreicht hat. Eine Variante ist einen Rotationssensor an der Seilrollenwelle anzubringen.



### 5.2.2.1. Arten von Sensoren <sup>(25)</sup>

Es gibt eine große Produktpalette an unterschiedlichsten Sensoren, ein paar werden hier aufgelistet:

- Haptische Sensoren (Berührung)
- Infrarot- Sensoren
- Sonar- Sensoren
- Laser
- Radar-Sensoren
- Hall- Sensoren
- Kompaß- Sensoren
- Winkelkodierung
- Bewegungs- Sensoren
- Bild- Sensoren

Beim Rotationssensor entspricht eine Umdrehung 16 Zählimpulsen. Diese Impulse werden aufsummiert und beim Erreichen der angestrebten Wegstrecke, einer bestimmten Anzahl von Umdrehungen (Glg. (5.2)), sendet die Steuereinheit ein Signal an das Stellglied.

Glg. (5.2)

$$U = d \cdot \pi$$

U ..... Umfang

d ..... Durchmesser des Rades

### 5.2.2.2. Arten von Steuereinheiten <sup>(25)</sup>

#### Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)

Eine SPS ist ein Gerät, das Maschinen oder Anlagen steuert, oder regelt und auf digitaler Basis programmiert wird. Eine SPS ist aufgebaut aus Ein- und Ausgängen, einem Betriebssystem und einer Schnittstelle, über die das Anwenderprogramm geladen wird. Die Sensoren werden an die Eingänge und die Aktoren an die Ausgänge geschaltet.

#### Verbindungsprogrammierte Steuerung (VPS)

Der Begriff VPS ist eingeführt worden um eine Abgrenzung zur SPS vornehmen zu können. Der Unterschied der VPS zu SPS ist der, dass der Programmablauf durch feste Verbindung der einzelnen Bauelemente festgelegt ist. Das heißt, dass es sich z.B. um eine feste Verdrahtung von logischen Komponenten handelt. Wobei dieser Verdrahtungsaufwand und die eingeschränkte Flexibilität bei komplexen Systemen ein Nachteil der VPS darstellt.



## Robotic Command System (RCX)

Der RCX besitzt drei Sensoreingänge, an die verschiedene Sensoren angeschlossen werden können. Jeder Sensor muss eigens programmiert werden. Der RCX verfügt nicht nur über einen Anschluss für externe Sensoren, es existieren auch weitere interne Sensoren wie:

- Timer
- Zähler
- Infrarot- Empfänger

### 5.2.2.3. Dynamo <sup>(26)</sup>

Ein Dynamo ist dem Prinzip nach ein elektrischer Generator, der die Bewegungsenergie (Rotationsenergie) oder mechanische Energie eines Systems in elektrische Energie umwandelt. Dabei geht Energie durch Reibung, Kupferverluste, Eisenverluste usw. verloren, siehe Glg. (5.3).

Glg. (5.3)

$$P_{el} = P_{mech} - P_v$$

$P_{el}$ ..... elektrische Leistung
$P_{mech}$ ..... mechanische Leistung
$P_v$ ..... Verlustleistung

Der Dynamo ist auf dem Schüttgutkübel an der Halterung zum Tragseil angebracht, siehe Abb. 5.2 dort nimmt er die Rotationsenergie der Tragrollenwelle auf und wird damit als Energielieferant eingesetzt. Dieses System versorgt über einen Energiespeicher in weiterer Folge die einzelnen Bauelemente mit der nötigen Energie.

### 5.2.2.4. Arten der Energiespeicherung

#### Akkumulator (Akku) <sup>(27)</sup>

Akkumulatoren speichern elektrische Energie und bestehen aus einer oder mehreren in Serie oder parallel geschalteten Einheitszellen. Dabei wandeln Akkus beim Aufladen elektrische Energie in elektrochemische Energie um, beim Entladen findet der umgekehrte Vorgang statt.

#### Kondensatoren <sup>(28)</sup>

Kondensatoren speichern Energie nicht in chemischer Form, sondern im elektrischen Feld zwischen den Kondensatorplatten. Die Energiedichte ist im Gegensatz zum Akku geringer, der Vorteil des Kondensators ist, dass bei geringer Impedanz die elektrische Ladung sehr schnell aufgenommen, bzw. abgegeben werden kann. Das häufige Laden und Entladen kompensiert der Kondensator, da keine chemischen Prozesse stattfinden.

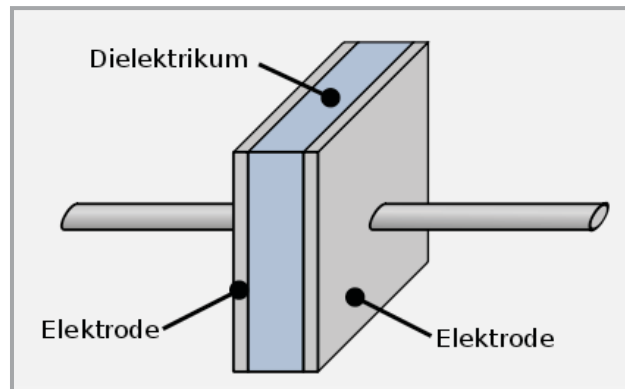


Abb. 5.9: Prinzipieller Aufbau eines Kondensators <sup>(28)</sup>

### 5.2.3. Resümee

Diese Punkte sind in weiterer Folge noch zu klären und abzuschätzen:

- Systemsicherheit der Konstruktion
  - Entleerungsmechanismus nur zu einem bestimmten Zeitpunkt betätigt
  - Einführung eines zweiten Kontrollsystems (z.B. Lichtschranke)
- Komponenten für den Einsatz im Außenbereich ausgelegt
  - Korrosionsbeständigkeit
  - IP- Schutzart (Staub und Wasser)
- Temperaturbereiche der einzelnen Bauteile
  - von minus 35- 40 °C bis plus 45- 50 °C
- Anschlüsse der einzelnen Bauteile untereinander kompatibel
- ausreichende Energieversorgung mit Dynamo gewährleistet
- Befestigung der Komponenten am Schüttgutkübel
- Kosten der Konstruktion

## 6. Befüllung der Schüttgutbehälter

Die Befüllung des Schüttgutkübels wird in der Station durchgeführt. Dabei wird zunächst der Schüttgutbehälter durch eine Rampe geschlossen und vom Trag- bzw. Zugseil ausgekuppelt. Während der Befüllung des Kübels mit dem Schüttgut wird der Druckluftspeicher aufgeladen, damit der benötigte Druck an der Abwurfstelle bereitgestellt werden kann.



## 7. Beschreibung des geschlossenen Gurtfördersystems SICON

SICON Fördergurte zeichnen sich dadurch aus, dass sie in ihrer Linienführung äußerst flexibel sind. Diese Fördergurte passen sich bei Bedarf der Umgebung ideal an. Es ist sogar möglich Kurvenradien von weniger als einem Meter zu realisieren, ohne dass eine Übergabestation nötig ist, siehe Abb. 7.1. Ebenfalls ermöglicht dieses Fördersystem bei großen Höhenunterschieden und engstem Raum das Schüttgut durch eine serpentinartige Streckenverlegung zu fördern. Ein Vorteil dieser Art der Förderung ist, dass man entlang einer Transportstrecke mehrere Auf- und Abwurfstellen einrichten kann. <sup>(29)</sup>



Abb. 7.1: Umlenkung eines SICON- Gurtes mit Antrieb <sup>(29)</sup>

### 7.1. Komponenten des SICON- Gurtsystems <sup>(29)</sup>

#### 7.1.1. Antrieb

Der Antrieb erfolgt über Reibschluss in den Kurven mit mindestens 90° Umlenkung. Der Gurt wird dabei mit den einzelnen Umlenkscheiben in den Kurven geführt (Abb. 7.1).

#### 7.1.2. Rollen

Es gibt eine senkrechte Führungsrolle, sowie eine geneigt eingestellte Stützrolle. Diese Rollen dienen zum Öffnen und Schließen, sowie zur Befestigung des Fördergurtes.

### 7.1.3. Gurt

Der Gurt ist schalenförmig aufgebaut und kann an jeder beliebigen Stelle geöffnet und geschlossen werden. Im Gurtinneren befindet sich das Schüttgutmaterial. An den Rändern des Fördergurtes befinden sich zwei Profile, die durch die Führungs- und Stützrollen geführt werden. Zur Verstärkung der zwei Profile befinden sich einvulkanisierte Stahlseile an den Rändern des Fördergurtes.

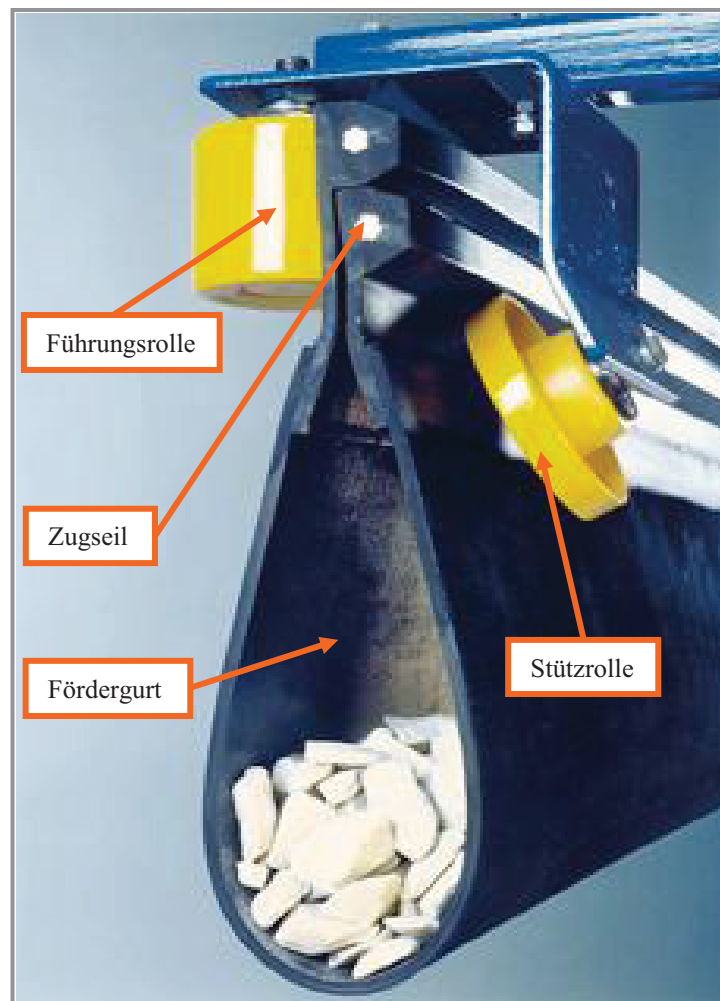


Abb. 7.2: Komponenten eines SICON- Systems <sup>(29)</sup>

## 7.2. Be- und Entladung

Es können mehrere Stellen der Transportlinie ausgewählt werden an denen Schüttgut be- oder entladen wird. Die Beladung ist in Abb. 7.3 dargestellt, dabei wird der Gurt mit Sonderführungsrollen von oben einen Spalt geöffnet um das Schüttgut von oben einfüllen zu können. Nach diesem Vorgang wird der Gurt wieder geschlossen. Bei der Entleerung läuft der Gurt über eine Trommel die den Gurt öffnet. Das Schüttgut kann über eine Schurre abgegeben werden und der Gurt wird im Anschluss wieder geschlossen.

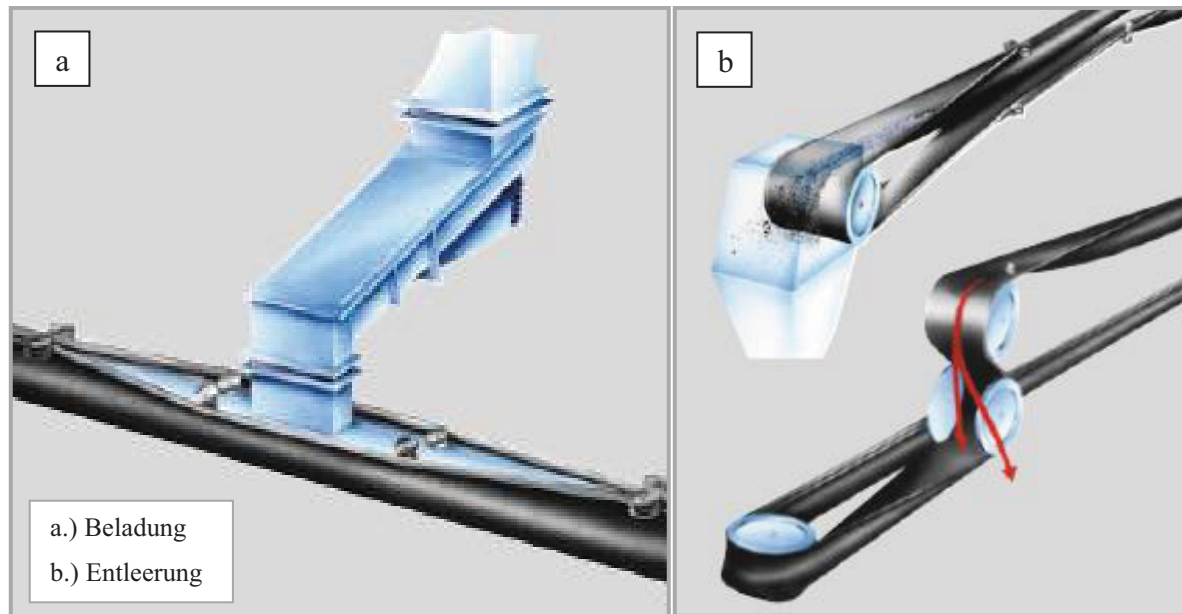


Abb. 7.3: Beladung und Entleerung eines SICON- Gurtes <sup>(29)</sup>

### 7.3. Vor- und Nachteile des SICON- Systems <sup>(2)</sup>

#### Vorteile

- Reduktion von Übergabestellen durch gute Kurvengängigkeit
- Überwindung großer Höhenunterschiede durch serpentinartige Förderung auf engstem Raum möglich
  - Geringer Platzbedarf
  - Transport durch 180°- Kurven mit weniger als 1 m Radius
  - Steigungswinkel bis zu 35°
- Einfache Aufhängung des flexiblen Fördergurtes
- Zweiwege-Fördersystem; Gurt kann in beide Richtungen Schüttgut transportieren
- Reduzierung der Gurtzugkräfte durch Anordnung mehrerer Antriebstationen
- Die Tasche schützt empfindliche Fördergüter vor
  - Wettereinflüssen
  - Staubentwicklung
- Lärmemission kann minimiert werden
- Selbstreinigender Gurt



## Nachteile

- Durch die Erhaltung der geschlossenen Form des SICON- Gurtes entstehen hohe Bewegungswiderstände und in weiterer Folge ein erhöhter Energieverbrauch
- für dieses SICON- System ist eine spezielle Tragkonstruktion erforderlich
- Hohe Investitions- und Betriebskosten
- Bei mehreren Antrieben steigen die Kosten



## 8. Fördersysteme zum Aufgabebunker <sup>(2)</sup>

In diesem Kapitel werden zwei möglich Varianten der Zulieferung des Abraums zum Aufgabebunker vorgestellt. Von diesem Punkt aus führen die weiteren Fördersysteme bis zur Abwurfstelle. Von der Aufbereitungsanlage und der geplanten Pelletieranlage soll insgesamt ein Massenstrom von 300 t/h Abraum abtransportiert werden.

### 8.1. Variante 1 der Zulieferung zum Aufgabebunker mit Gurtförderern

Der Abtransport des Abraums von der Aufbereitungsanlage soll mit drei Gurtförderern durchgeführt werden, um die steilen Wände rund um den Erzbergsee zu umgehen (Abb. 8.1). Ein bereits bestehendes Förderband von der Aufbereitungsanlage zur Bandübergabestation wird bis zur ersten Übergabestation 1 verlängert. Ein zweites Förderband transportiert von der ersten bis zur zweiten Übergabestation 250 t/h. Ein drittes Förderband fördert 250 t/h von der Aufbereitungsanlage sowie 50 t/h von der Pelletieranlage von der Übergabestation 2 zum Aufgabebunker. Die geplante Pelletieranlage liefert mit einem Gurtförderer 50 t/h Abraum zur Übergabestation 2. Da die Pelletieranlage noch in Planung ist und deshalb die genauen Übergabestationen noch nicht festgelegt werden können, sind die angegebenen Längen der Förderbänder nur als Richtwerte zu sehen.

#### 8.1.1. Vor- und Nachteile der Variante 1

##### Vorteile

- Für kurze Transportwege gut geeignet
- Mit dieser Förderanlage können hohe Fördergeschwindigkeiten erreicht werden
- Mit einer entsprechenden Tragkonstruktion können auch Hindernisse, wie Fahrwege, Gebäude, Anlagebauten etc. überwunden werden
- Geringe Gesamtkosten

##### Nachteile

- Drei Gurtförderer und zwei Übergabestationen notwendig
  - Separate Antriebseinheiten, Gurtspanneinheiten, Tragkonstruktionen usw. notwendig
  - je Förderband steigen die Kosten
- Hohe Bewegungswiderstände
- Ohne entsprechende Zusatzmaßnahmen ist die Steigung der Förderbänder begrenzt

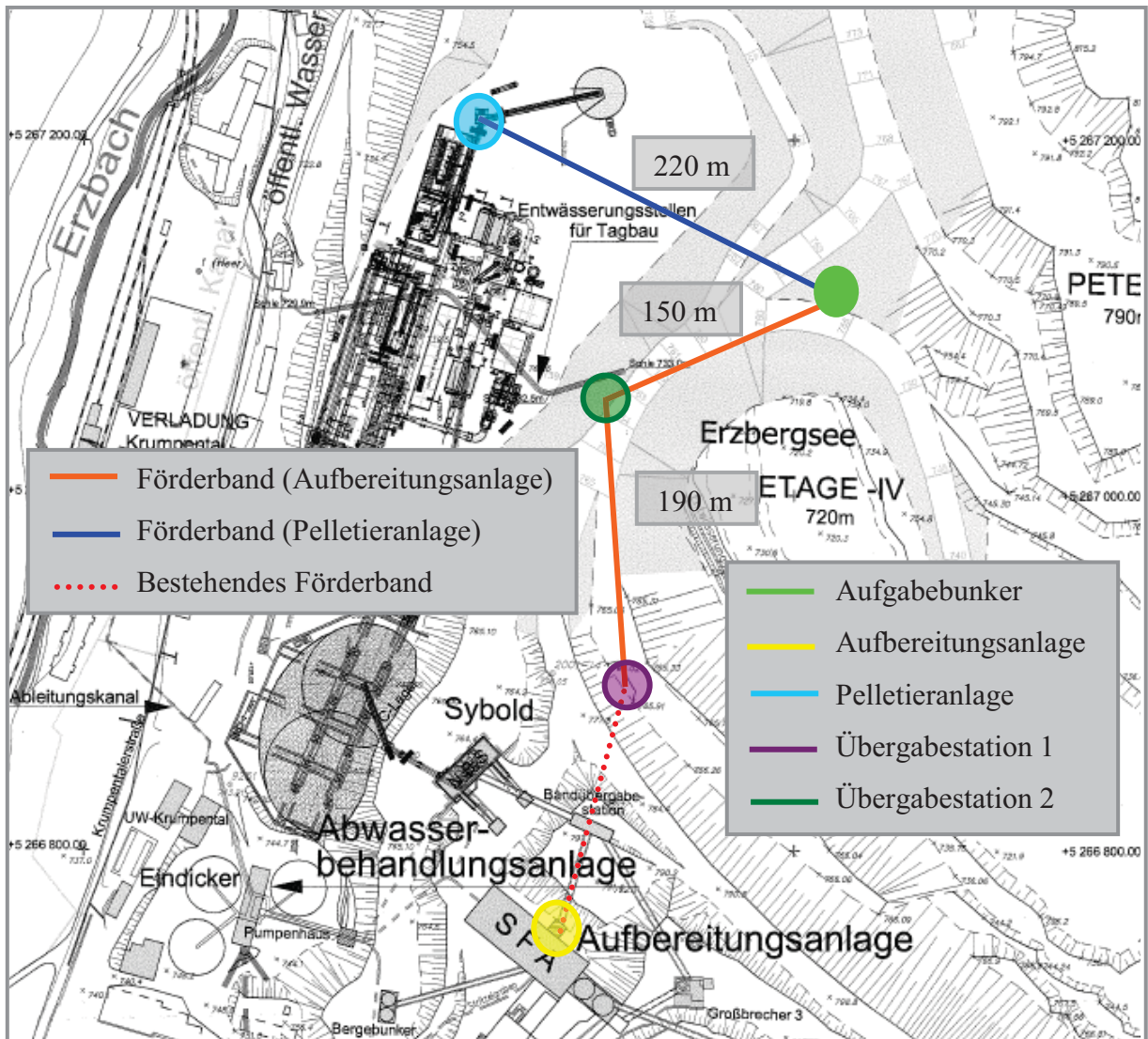


Abb. 8.1: Förderung zum Aufgabebunker Variante 1 <sup>(30)</sup>

## 8.2. Variante 2 der Zulieferung zum Aufgabebunker mit SICON

Bei dieser Variante werden zwei unterschiedliche Fördersysteme zum Abraumtransport verwendet. Für die geradlinige Strecke zwischen Pelletieranlage und Aufgabebunker wird wie in Variante 1 ein konventionelles Förderband eingesetzt. Die gekrümmte Förderstrecke wird mit Hilfe eines geschlossenen Gurtfördersystems (SICON) überwunden, siehe Abb. 8.2.





### 8.3. wirtschaftliche Betrachtung der Varianten – Zulieferung zum Silo

#### 8.3.1. Kostenaufstellung

<b>Variante 1: Förderbänder</b>		
Gesamtkosten über 30 Jahre		Gesamt:
Gurtförderer 800 mm x 190 m		322.789 €
Gurtförderer 800 mm x 150 m		284.035 €
Gurtförderer 650 mm x 220 m		330.805 €
<u>Σ Investitionskosten</u>		<u>937.629 €</u>
Wartung der Gurtförderer (2% der Investitionskosten)		18.753 €
2 x Wechsel der Fördergurte		56.000 €
Austausch der Tragrollen (alle 6 Jahre) (ein Wechsel kostet 42.000 €) → 4 x Tragrollentausch erforderlich	42.000 € x 4	168.000 €
Austausch der Antriebseinheit nach 15 Jahren		25.000 €
Trommelaustausch nach 15 Jahren		36.000 €
<u>Σ Instandhaltungskosten</u>		<u>303.753 €</u>
Energiekosten Gurtförderer 15 kW; bei 0,10 €/kW	36 €/Tag x 3	810.000 €
<u>Σ Energiekosten</u>		<u>810.000 €</u>
<u>Σ Betriebskosten</u>		<u>1.113.753 €</u>
<u>Σ Gesamtkosten</u>		<u>2.051.382 €</u>

Tab. 8.1: Kostenaufstellung (Förderbänder) <sup>(2)</sup>



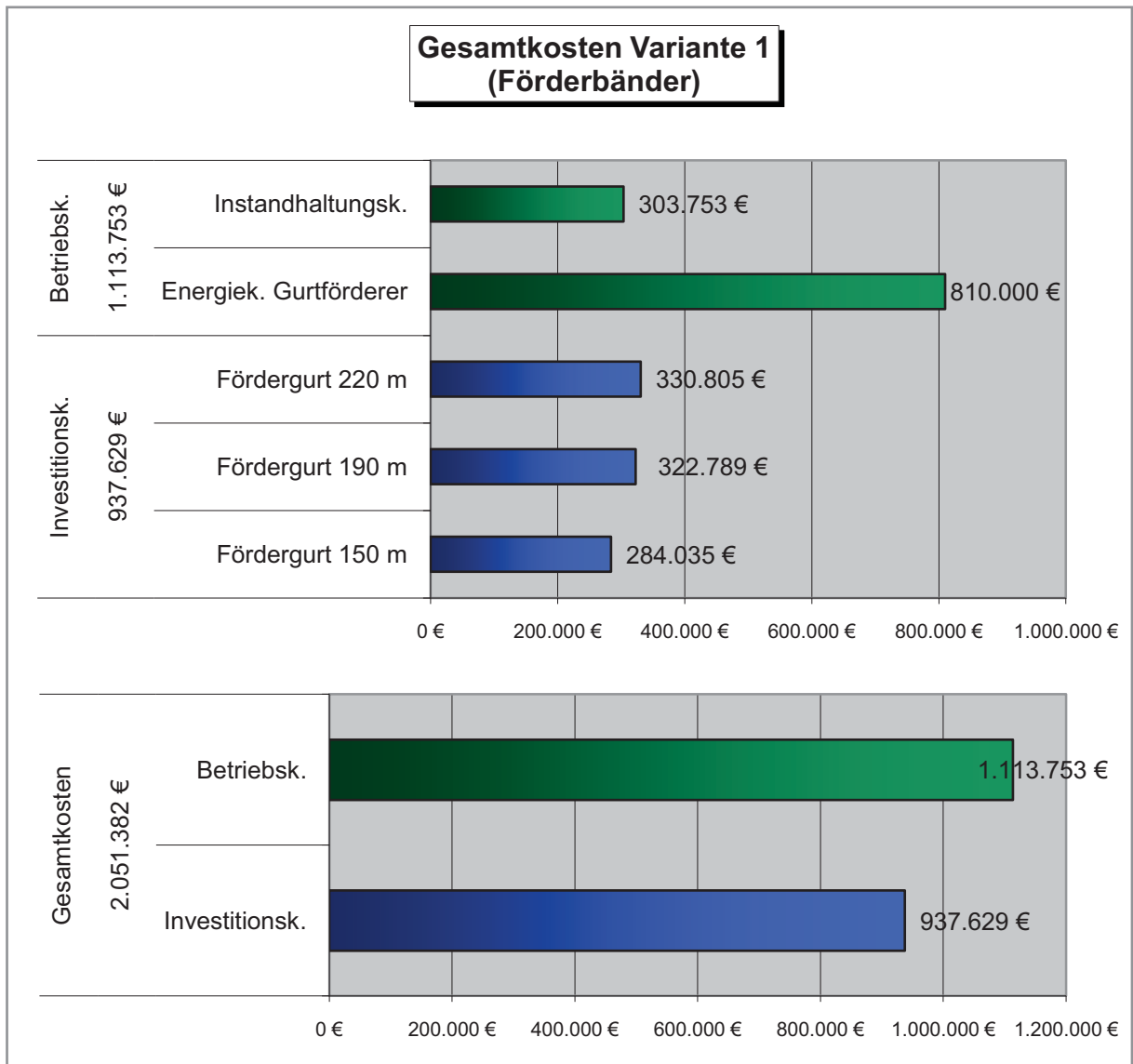


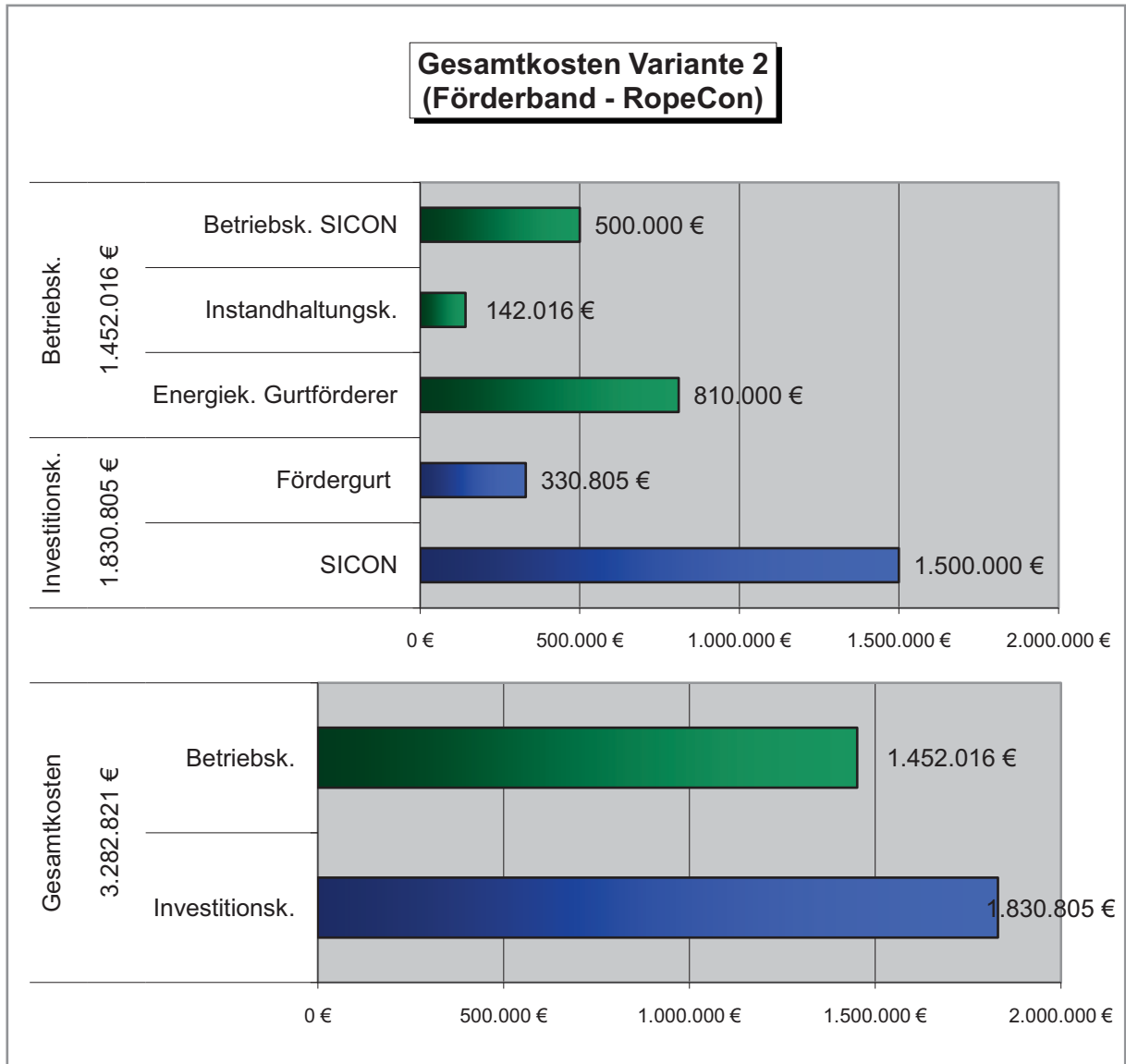
Abb. 8.3: Aufteilung der Gesamtkosten Variante 1 (3 Förderbänder)



### 8.3.2. Kostenaufstellung

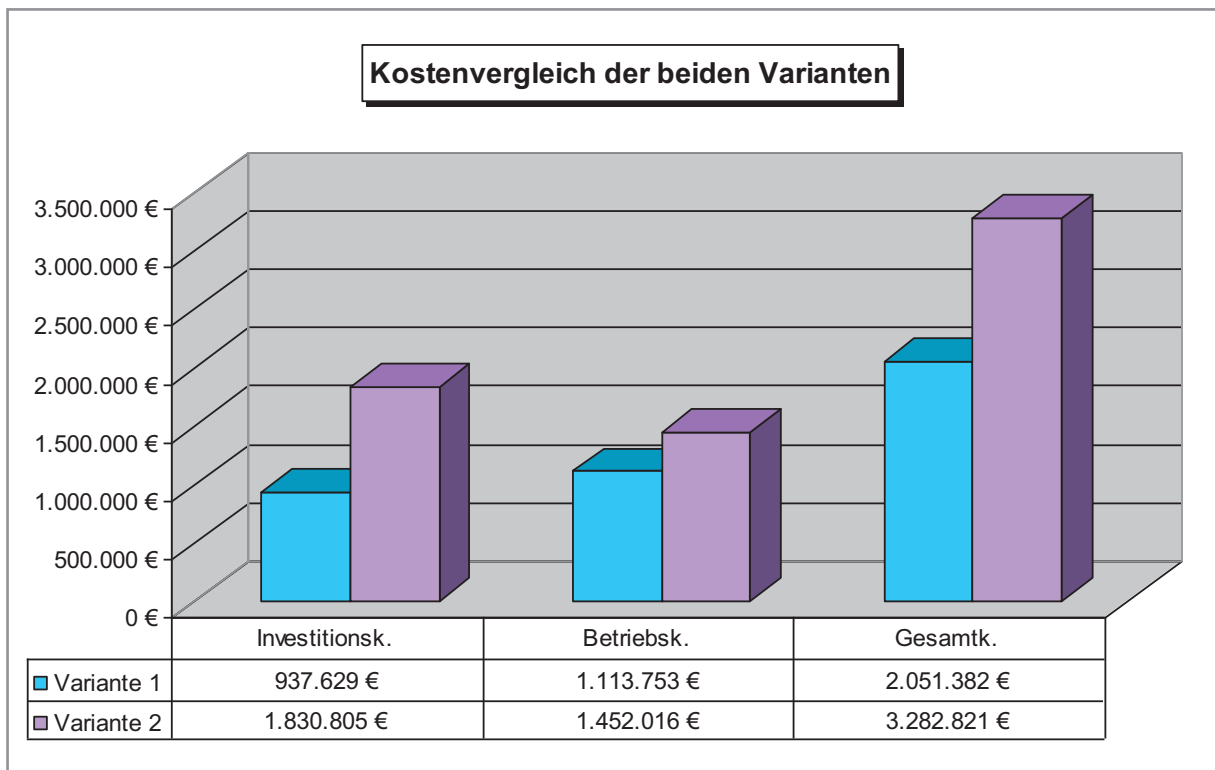
<b>Variante 2: SICON</b>		
Gesamtkosten über 30 Jahre		Gesamt:
SICON- Fördergurt (320m)		1.500.000 €
Gurtförderer 650 mm x 220 m		330.805 €
<hr/>		
$\Sigma$ <u>Investitionskosten</u>		<b><u>1.830.805 €</u></b>
Wartung der Gurtförderer (2% der Investitionskosten)		36.616 €
2 x Wechsel des Fördergurtes		27.000 €
Austausch der Tragrollen (alle 6 Jahre) (ein Wechsel kostet 14.500 €) → 4 x Tragrollentausch erforderlich	14.500 € x 4	58.000 €
Austausch der Antriebseinheit nach 15 Jahren		8.400 €
Trommelaustausch nach 15 Jahren		12.000 €
<hr/>		
$\Sigma$ <u>Instandhaltungskosten</u>		<b><u>142.016 €</u></b>
Energiekosten SICON 30 kW; bei 0,10 €/kW	72 €/Tag	540.000 €
Energiekosten Gurtförderer 15 kW; bei 0,10 €/kW	36 €/Tag	270.000 €
<hr/>		
$\Sigma$ <u>Energiekosten</u>		<b><u>810.000 €</u></b>
Betriebskosten SICON (Wechsel: 2x Gurt, 1x Antriebseinheit, 2x Traggerüst)		500.000 €
<hr/>		
$\Sigma$ <u>Betriebskosten</u>		<b><u>1.452.016 €</u></b>
<hr/>		
$\Sigma$ <u>Gesamtkosten</u>		<b><u>3.282.821 €</u></b>

Tab. 8.2: Kostenaufstellung (SICON) <sup>(2)</sup>



**Abb. 8.4:** Aufteilung der Gesamtkosten Variante 2 (Förderband– SICON)

In Abb. 8.5 ist erkennbar, dass die Variante 2 (SICON- System) insgesamt deutlich höhere Gesamtkosten verursacht.



**Abb. 8.5:** Kostenvergleich der beiden Zuliefervarianten



## 9. Technischer Vergleich der Fördervarianten

Im Zuge des technischen Vergleiches werden die möglichen Fördervarianten nach verschiedenen Gesichtspunkten miteinander verglichen. Dazu dient Tab. 9.1 als Übersicht über die Vorteile der jeweiligen Fördermittel.

Auswahlkriterien (bezügl. Vorteile)	Seilbahn	konvention. Gurtförderer	SLKW	RopeCon
Flexibilität bezüglich des Abwurfpunktes	↓	→	↑	↑
Überwindung von Hindernissen	↑	↓	→	↑
stetige Förderung	↓	↑	↓	↑
Energierückgewinnung im Generatorbetrieb	↑	→	↓	↑
keine aufwändigen Stationseinrichtungen	↓	↑	↑	→
keine aufwändigen Streckeneinrichtungen	↑	↓	↑	↑
geringe Windanfälligkeit	↓	↑	↑	→
Reinigung der Fördereinheit	↓	↑	↑	→
Abspannung der Tragseile notwendig	↓	↑	↑	↓
Lange Spannfelder möglich	→	↓	↑	↑
Bau eines Fundaments erforderlich	→	↓	↓	→
Umweltverträglichkeit	↑	→	→	↑
hohe Förderleistung im unwegsamen Gelände	→	→	↓	↑
maximale Neigung	→	↓	→	→
insgesamt wenige unterschiedliche Einzelteile	↓	↑	↑	↑
$\Sigma$	6	6	9	<b>11</b>

**Tab. 9.1:** Auswahlkriterien der Fördermittel

Hier zeichnet sich ab, dass das RopeCon- System aufgrund der technischen Voraussetzungen am besten abschneidet. Die Variante Seilbahn fällt aufgrund des Sicherheitsrisikos aus der Auswahl raus, da es sehr schwierig ist ein sicheres System zu konstruieren, das gewährleistet, dass der Schüttgutbehälter ausschließlich an der gewünschten Abwurfstelle das Material entleert. Aus diesem Grund wird auf die Variante Seilbahn bei der wirtschaftlichen Betrachtung nicht näher eingegangen. Der konventionelle Gurtförderer erreicht bei der technischen Betrachtung die gleiche Punkteanzahl wie die Seilbahn und ist somit nicht in der engeren Wahl. Der SLKW ist aufgrund seiner Flexibilität in technischer Hinsicht in der engeren Wahl, erzeugt aber die höchsten Gesamtkosten, wie wir im nächsten Kapitel sehen werden.



## 10. Wirtschaftlicher Vergleich der einzelnen Fördervarianten

### 10.1. SLKW

Da ein Fördergutstrom von 300 t/h gefordert wird, müsste bei Beibehalten dieser Variante zumindest schichtweise mit einem zweiten SLKW gefahren werden. Hauptgrund für das Ausfallen dieser Variante ist, dass die dabei anfallenden zusätzlichen Kosten im Vergleich zu den anderen Varianten zu hoch wären.

#### 10.1.1. Kostenaufstellung

<b>Variante 1 SLKW</b>		
Gesamtkosten über 30 Jahre		Gesamt:
Preis pro SLKW (mit Fördergutstrom von 240 t/h)	850.000 €	
Einsatzdauer 5 Jahre danach Neuanschaffung → 6 x Kauf von SLKW erforderlich	x6	5.100.000 €
<b><math>\Sigma</math> Investitionskosten</b>		<b><u>5.100.000 €</u></b>
Betrieb 24 h; Personalkosten 35 €/h	840 €/Tag	6.300.000 €
Treibstoffverbrauch 60 l/h; Treibstoffpreis 0,90 €/l	1296 €/Tag	9.720.000 €
sonstige Betriebskosten 25 €/h (Instandhaltung)	600 €/Tag	4.500.000 €
<b><math>\Sigma</math> Betriebskosten</b>		<b><u>20.520.000 €</u></b>
<b><math>\Sigma</math> Gesamtkosten</b>		<b><u>25.620.000 €</u></b>

Tab. 10.1: Kostenaufstellung (SLKW) <sup>(2)</sup>

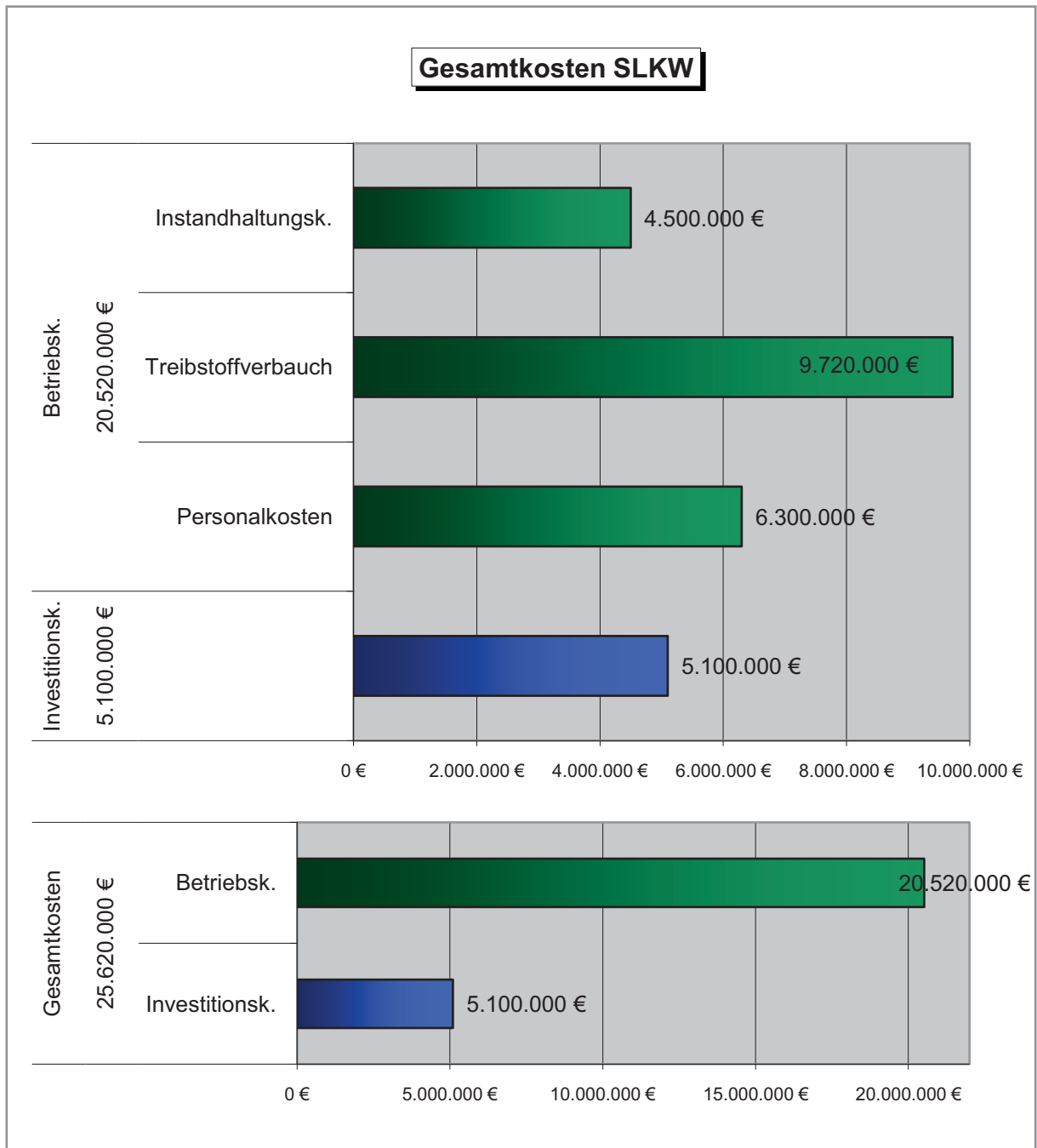


Abb. 10.1: Aufteilung der Gesamtkosten (SLKW)



## 10.2. RopeCon mit 2 Sektionen

### 10.2.1. RopeCon mit 3 Abwurfstellen

Aufgrund der topografischen Bedingungen muss dieses Konzept der Förderung in 2 Sektionen aufgeteilt werden. Die erste Sektion reicht vom Aufgabebunker bis zum höchsten Punkt am Berg. Im Anschluss befindet sich die zweite Sektion bis zum Endpunkt der Förderung (Abb. 10.2). Die Tragseilverankerungen befinden sich an den Enden der beiden Sektionen.

#### 10.2.1.1. Sektion 1

Am Beginn der Sektion 1 befinden sich die Beladestation sowie eine Gurtspanneinrichtung. Zur Verankerung der Tragseile dient ein Fundament im Boden und die Antriebseinheit befindet sich am höchsten Punkt, siehe Abb. 10.4.

#### 10.2.1.2. Sektion 2

Am Ende der Sektion 2 gibt es 3 variable Abwurfstellen, die im Laufe der Jahre das Tal zwischen Erzberg und Präbichl auffüllen sollen (Abb. 10.3).

Technische Daten			
	Sektion 1	Sektion 2	Einheit:
horizontale Länge	1450	1642	m
Höhenunterschied	403	-28	m
horizontale Förderlänge	1450	1072	m
Förderhöhenunterschied	403	-78	m
max Neigung	27,5	-14,3	°
Gurtgeschwindigkeit	3,2	3,2	m/s
Dauerleistung	404	-30	kW
<b>Fördergurtdaten</b>			
Gurttype	St 3000 8T/5T	EP 1000 6T/5T	
Gurtbreite	500	500	mm
Gurtnutzbereite	400	400	mm
Welkantenhöhe	120	120	mm
<b>Tragseildaten</b>			
Tragseildurchmesser	4 x 27	4 x 27	mm
	2 x 32	2 x 32	mm
Spannkraft	1718	1718	kN
Seillänge	6 x 1491	6 x 1635	m

Tab. 10.2: Technische Daten aus Abb. 10.4



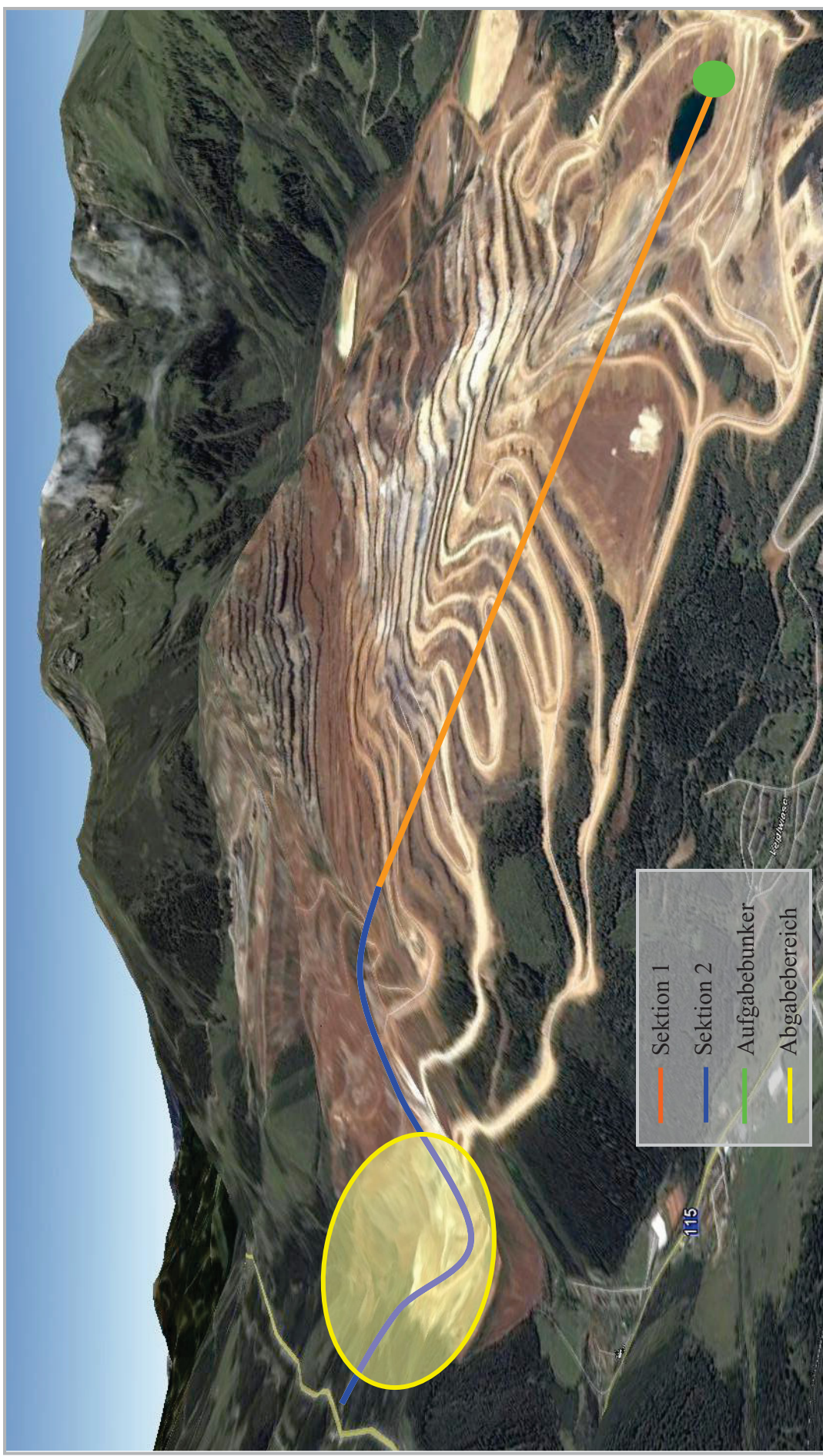


Abb. 10.2: Linienführung der RopeCon- Anlage mit zwei Sektionen <sup>(31)</sup>

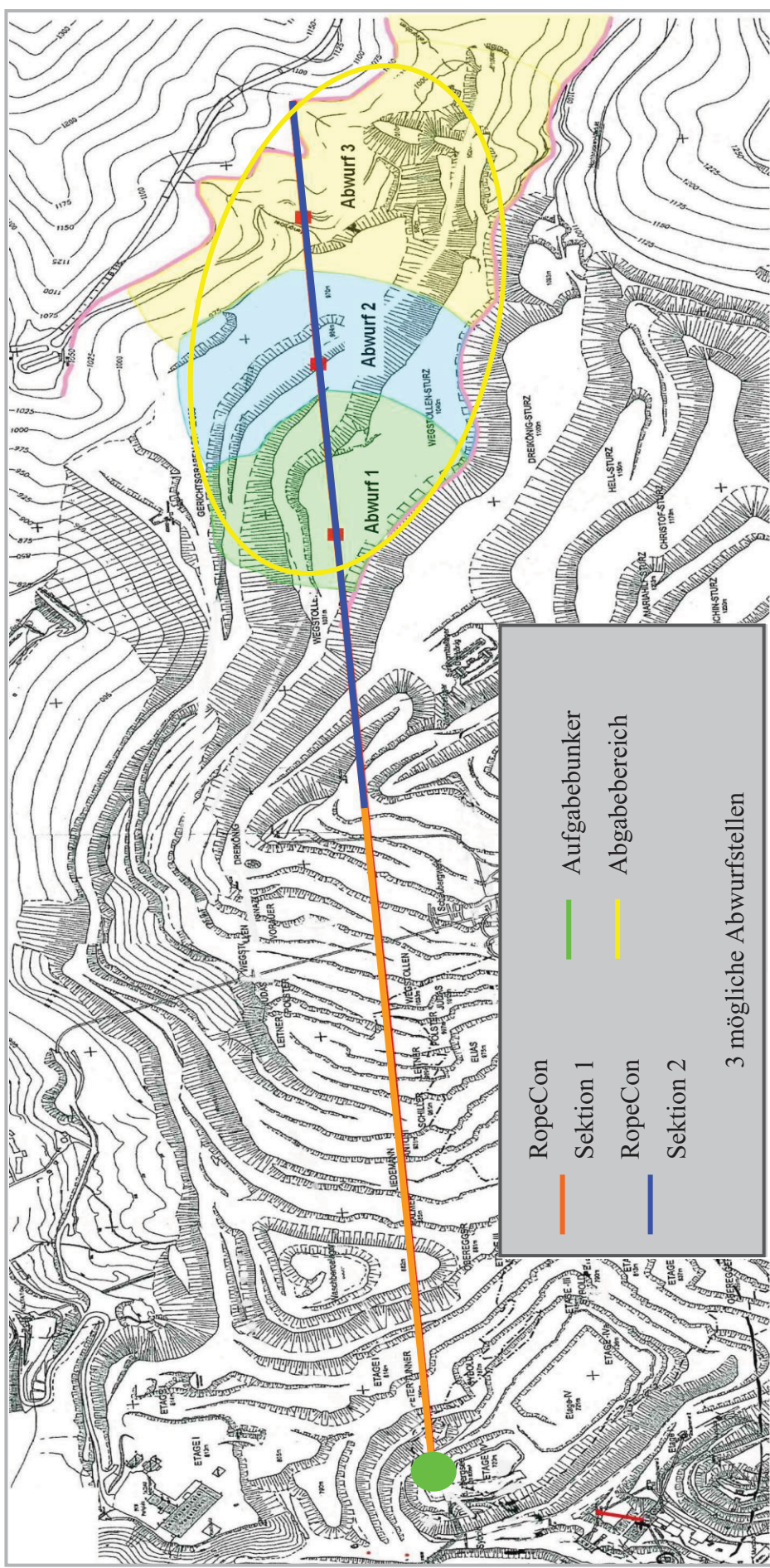


Abb. 10.3: Erzberg mit eingezeichneten Höhenlinien (3 Abwurfstellen) <sup>(2)</sup>



### 10.2.2. RopeCon mit 2 Abwurfstellen

Diese Variante unterscheidet sich zu der zuvor beschriebenen Variante nur in der Anzahl der Abwurfstellen: Die Streckenführung ist die gleiche, es sind aber 2 Abwurfstellen vorgesehen. Es wird mit Abwurf 1 begonnen und durch Verkürzung des RopeCon auf Abwurf 2 übergegangen.

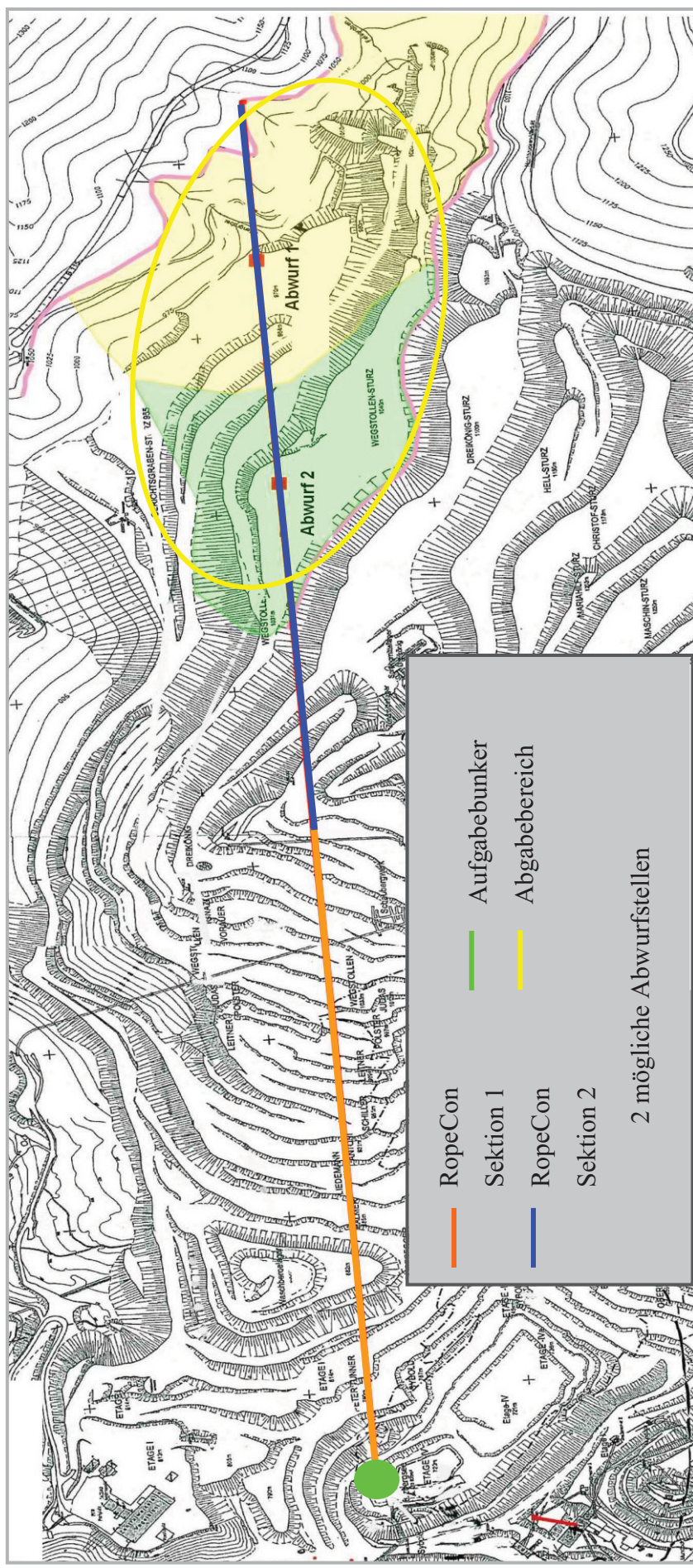


Abb. 10.5: Erzberg mit eingezeichneten Höhenlinien (2 Abwurfstellen) (2)



### 10.2.3. Kostenaufstellung

<b>Variante 2.1 und 2.2: RopeCon (2 Sektionen)</b>		
Gesamtkosten über 30 Jahre		Gesamt:
RopeCon (2Sektionen) – System 3092 m		8.643.000 €
<u>Σ Investitionskosten</u>		<u>8.643.000 €</u>
3 Bandwärter für Gurtförderanlage á 50.000 €/Jahr	150.000 €/Jahr	4.500.000 €
<u>Σ Instandhaltungskosten</u>		<u>4.500.000 €</u>
Energiekosten- Rückgewinnung (Generatorbetrieb) 30 kW; bei 0,05 €/kW	36 €/Tag	- 270.000 €
<u>Σ Energiekosten</u>		<u>- 270.000 €</u>
0,14854 Betriebskostenfaktor pro t (lt Dopelmayr) bei 54 Mio. t ges Fördermenge in 30 Jahren		<u>8.021.160 €</u>
<u>Σ Betriebskosten</u>		<u>12.251.160 €</u>
<u>Σ Gesamtkosten</u>		<u>20.894.160 €</u>

Tab. 10.3: Kostenausstellung (RopeCon direkt vom Bunker) <sup>(2)</sup>

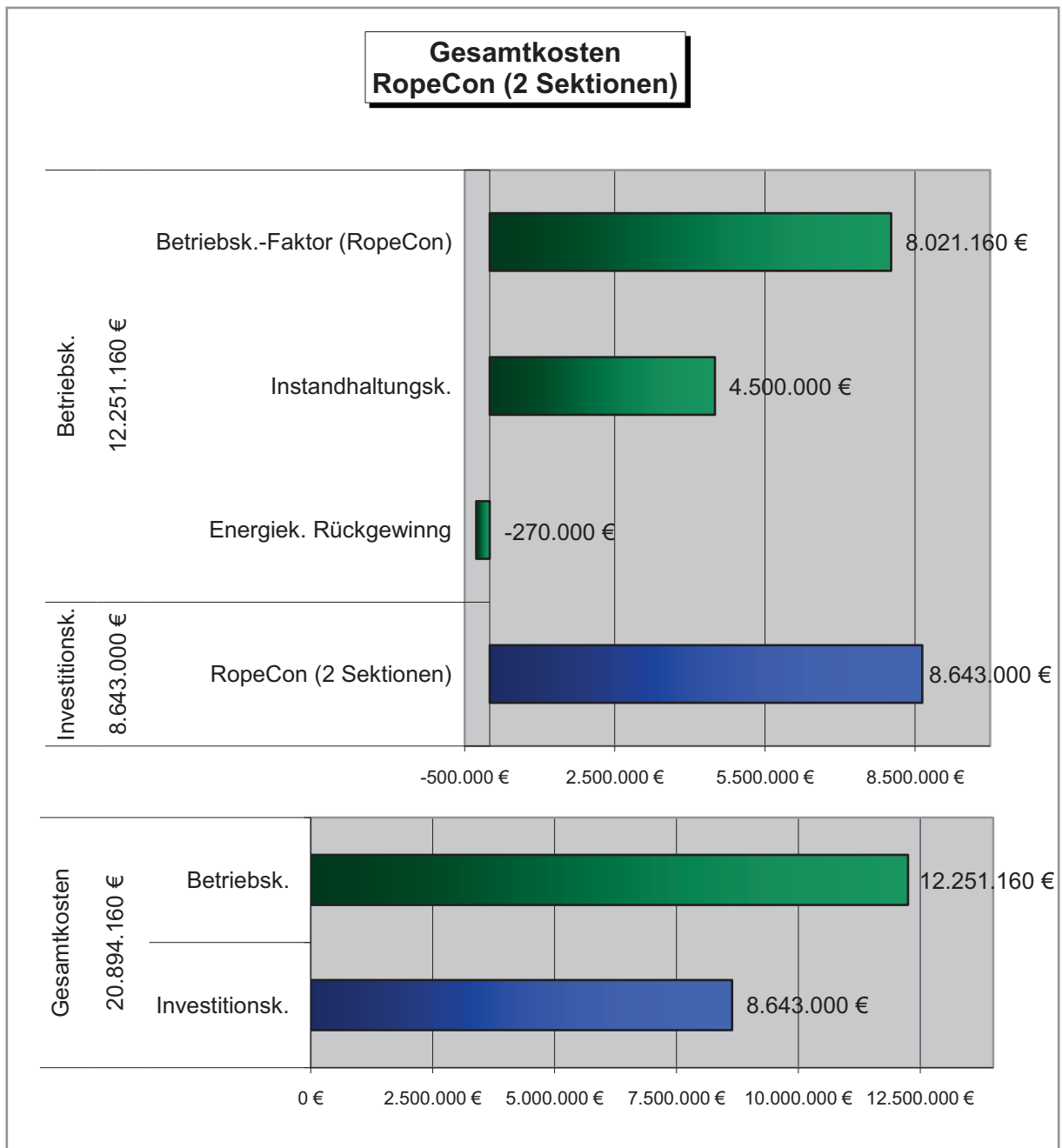


Abb. 10.6: Aufteilung der Gesamtkosten (RopeCon direkt vom Bunker)



### 10.3. RopeCon kombiniert mit Gurtförderer

Diese Variante besteht aus zwei Fördereinheiten, einem Gurtförderer der das Material von einem Aufgabebunker zu einem Silo bringt und einem RopeCon der das Material von der Übergabestation zu den Abwurfstellen befördert. Der Silo befindet sich im Bereich des Hubschrauberlandeplatzes, damit ist die Linienführung anders als bei den vorherigen Varianten.

#### 10.3.1. Förderband

Der Antrieb des Förderbandes befindet sich an der höchsten Stelle der Fördereinheit. Die Gurtspanneinrichtungen befinden sich in der Nähe des Aufgabesilos.

#### 10.3.2. RopeCon

Die Tragseilspannvorrichtungen befinden sich jeweils an der Übergabestelle und am gegenüberliegenden Berg. Die Antriebseinheit des RopeCon ist ebenfalls an der Übergabestelle positioniert und die Gurtspannvorrichtung befindet sich bei den jeweiligen Abwurfpunkten.

Technische Daten		
	RopeCon	Einheit:
horizontale Länge	2650	m
Höhenunterschied	220	m
horizontale Förderlänge	2179	m
Förderhöhenunterschied	195	m
max Neigung	25,3	°
Gurtgeschwindigkeit	3,2	m/s
Dauerleistung	324	kW
Fördergurtdaten		
Gurttype	St 4900 12T/9T	
Gurtbreite	500	mm
Gurtnutzbereite	400	mm
Welkantenhöhe	120	mm
Tragseildaten		
Tragseildurchmesser	4 x 32	mm
	2 x 37	mm
Spannkraft	2287	kN
Seillänge	6 x 2688	m

Tab. 10.4: Technische Daten aus Abb. 10.9



Abb. 10.7: Linienführung des Gurttörderers und RopeCon <sup>(31)</sup>



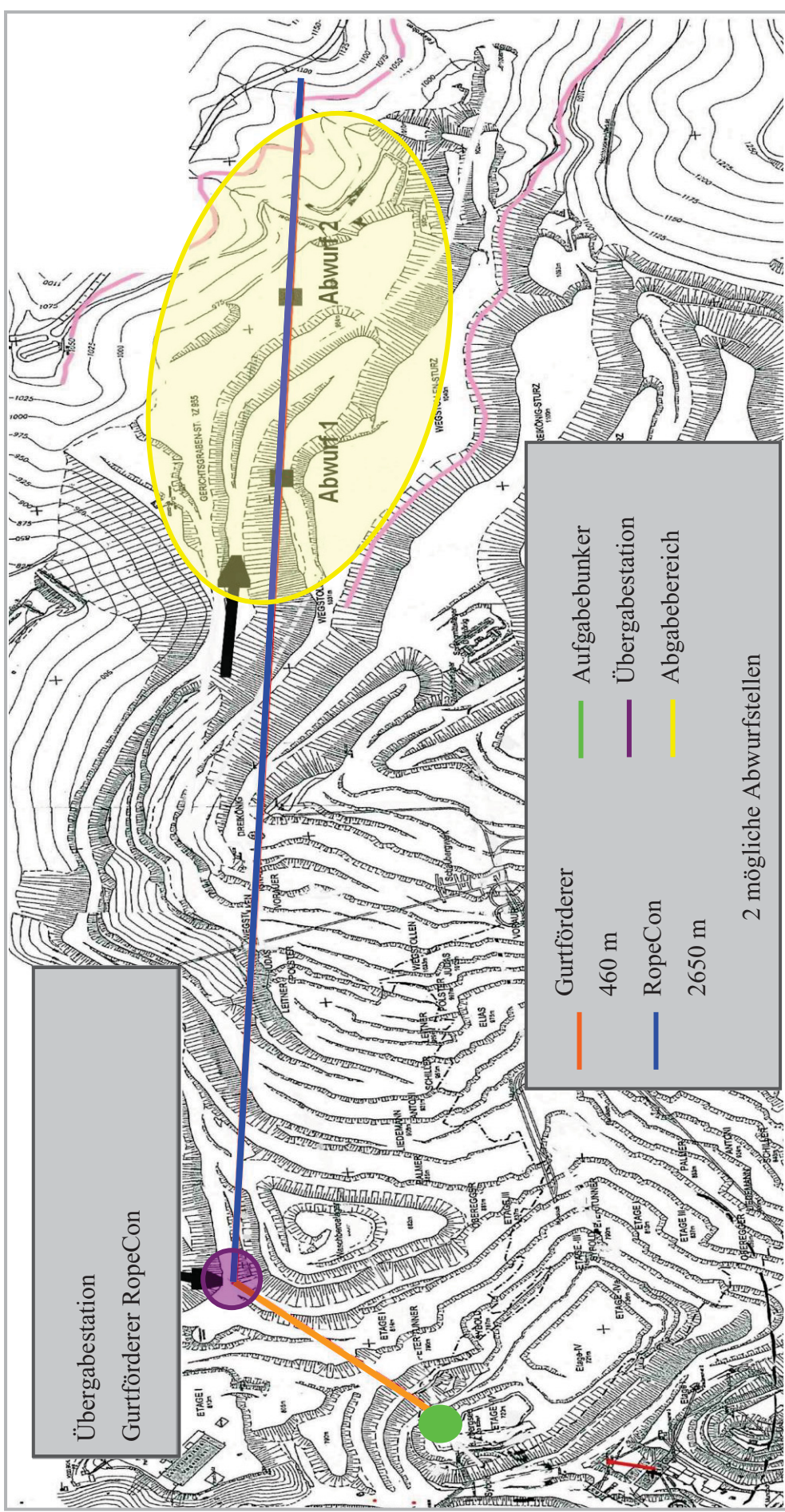


Abb. 10.8: Erzberg mit eingezeichneten Höhenlinien (Gurtförderer + RopeCon) <sup>(2)</sup>

Übergabestation  
 Antrieb  
 Tragsilverankerung

Gurtspanneinrichtung

Tragsilberankerung

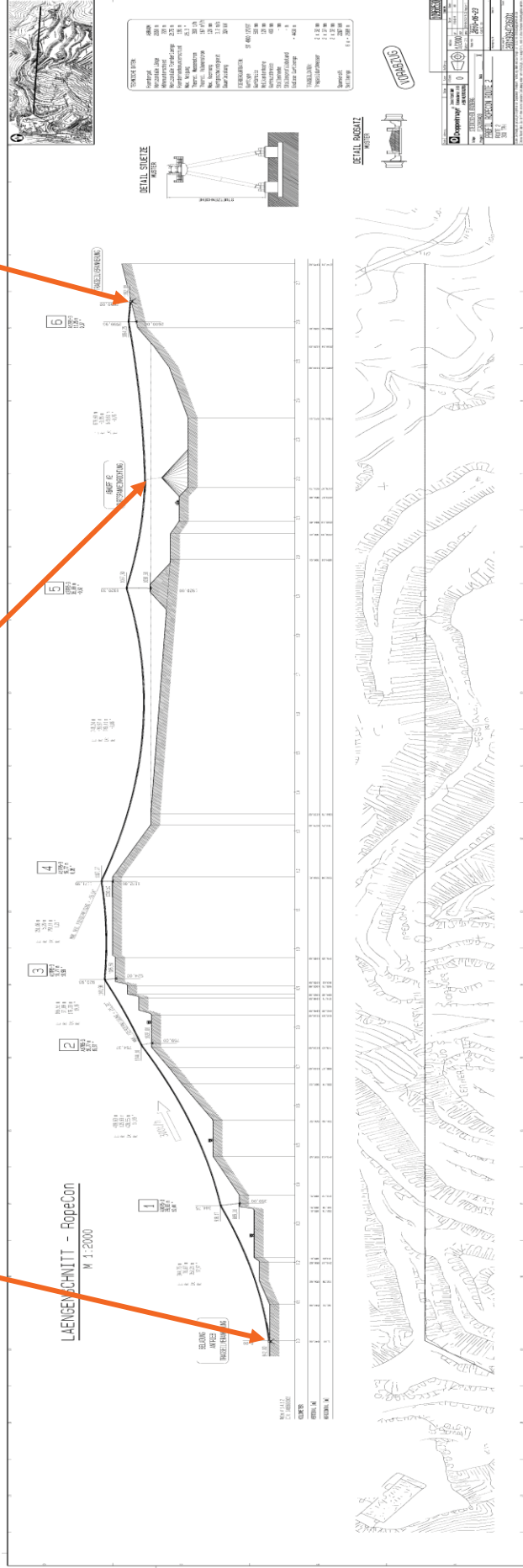


Abb. 10.9: Geländeschnittdarstellung des RopeCon mit Gurtförderer (2)



### 10.3.3. Kostenaufstellung

<b>Variante 2.3: Gurtförderer - RopeCon</b>		
Gesamtkosten über 30 Jahre		Gesamt:
RopeCon 500 mm x 2650 m		6.729.000 €
Gurtförderer 650 mm x 460 m		420.124 €
<hr/>		
$\Sigma$ <u>Investitionskosten</u>		<b><u>7.149.124 €</u></b>
3 Bandwärter für Gurtförderanlage á 50.000 €/Jahr	150.000 €/Jahr	4.500.000 €
Wartung des Gurtförderers (2% der Investitionskosten)		8.402 €
2 x Wechsel der Fördergurte		190.000 €
Austausch der Tragrollen (alle 6 Jahre) (ein Wechsel kostet 35.000 €) → 4 x Tragrollentausch erforderlich	35.000 € x4	140.000 €
Austausch der Antriebseinheit nach 15 Jahren		30.000 €
Trommelaustausch nach 15 Jahren		70.000 €
<hr/>		
$\Sigma$ <u>Instandhaltungskosten</u>		<b><u>4.938.402 €</u></b>
Energiekosten Gurtförderer 132 kW; bei 0,10 €/kW		2.376.000 €
<hr/>		
$\Sigma$ <u>Energiekosten</u>		<b><u>2.376.000 €</u></b>
0,10933 Betriebskostenfaktor pro t (lt Doppelmayr) bei 54 Mio. t ges Fördermenge in 30 Jahren		<b><u>5.903.820 €</u></b>
<hr/>		
$\Sigma$ <u>Betriebskosten</u>		<b><u>13.218.222 €</u></b>
<hr/>		
$\Sigma$ <u>Gesamtkosten</u>		<b><u>20.367.346 €</u></b>

Tab. 10.5: Kostenaufstellung (Gurtförderer - RopeCon) <sup>(2)</sup>

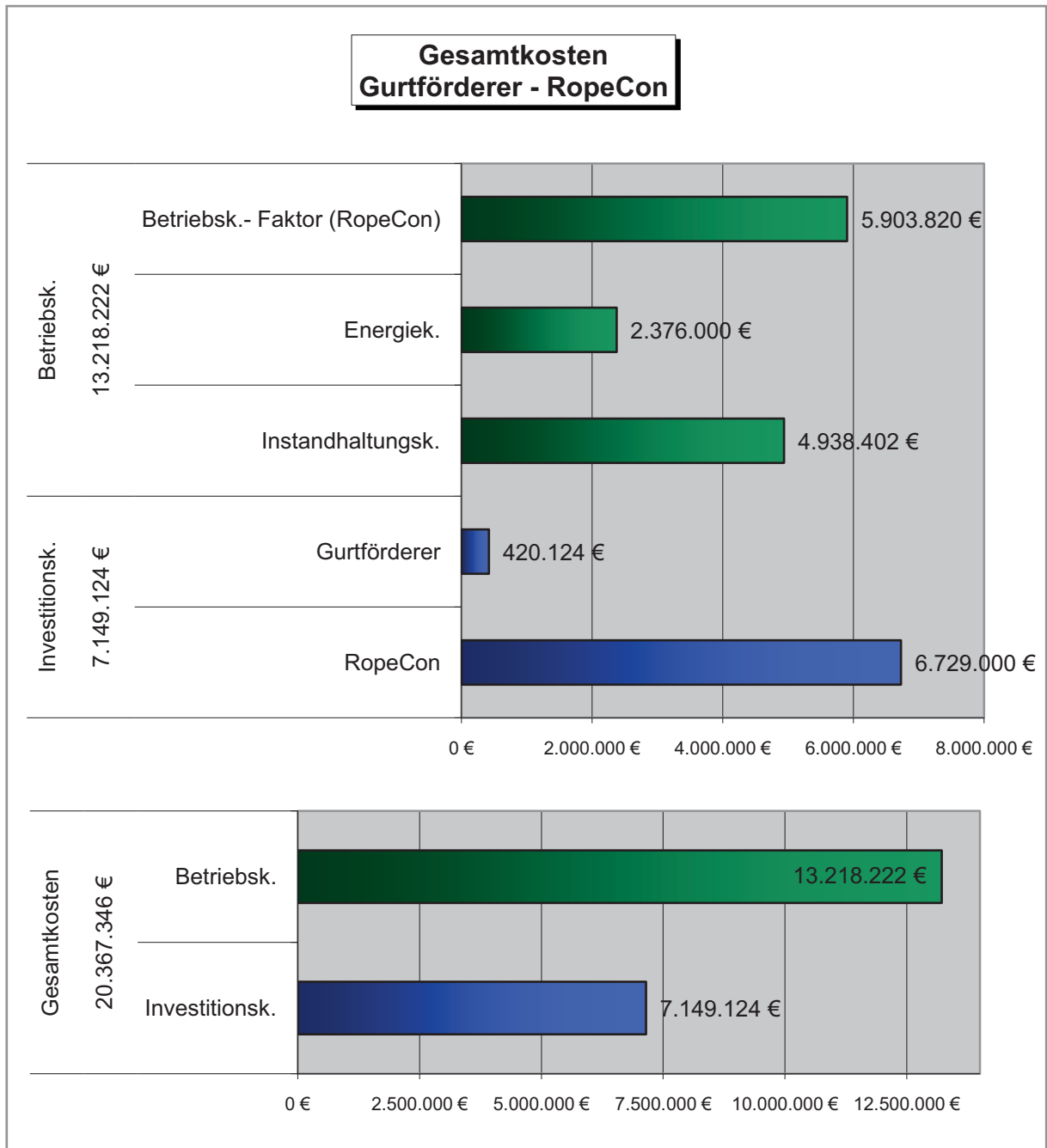


Abb. 10.10: Aufteilung der Gesamtkosten (Gurtförderer - RopeCon)



## 10.4. RopeCon mit RopeCon Materialzulieferung

Diese Variante ist eine Abwandlung der Kombination Gurtförderer mit RopeCon. Hierbei wird der Gurtförderer durch ein RopeCon- System ersetzt und die Übergabestelle an einer anderen Stelle positioniert, siehe Abb. 10.12. Das besondere bei dieser Variante ist, dass der Aufgabebunker wie er in den anderen Varianten geplant ist wegfällt und damit hohe Kosten eingespart werden können. Die Fördereinheit ist direkt an die Aufbereitungsanlage sowie der Pelletieranlage angeschlossen. Wie in Abb. 10.11 zu sehen ist, fördert der RopeCon von der Aufbereitungsanlage 250 t/h in Richtung der Übergabestelle. Von der Pelletieranlage werden 50 t/h direkt auf den RopeCon, von der Aufbereitungsstation kommend, aufgegeben.

Technische Daten			
	RopeCon kurz	RopeCon	Einheit:
horizontale Länge	666	2925	m
Höhenunterschied	24	243	m
horizontale Förderlänge		2470	m
Förderhöhenunterschied		222	m
max Neigung	16,0	25,0	°
Gurtgeschwindigkeit	3,2	3,2	m/s
Dauerleistung	59	301	kW
<b>Fördergurtdaten</b>			
Gurtype	St 3040 12T/9T	St 4900 12T/9T	
Gurtbreite	500	500	mm
Gurnutzbereite	400	400	mm
Welkantenhöhe	120	120	mm
<b>Tragseildaten</b>			
Tragseildurchmesser	4 x 32	2 x 42	mm
	2 x 27	2 x 37	mm
		2 x 32	mm
Spannkraft	2380	3527	kN
Seillänge	6 x 675	6 x 2950	m

Tab. 10.6: Technische Daten aus Abb. 10.13 & Abb. 10.14

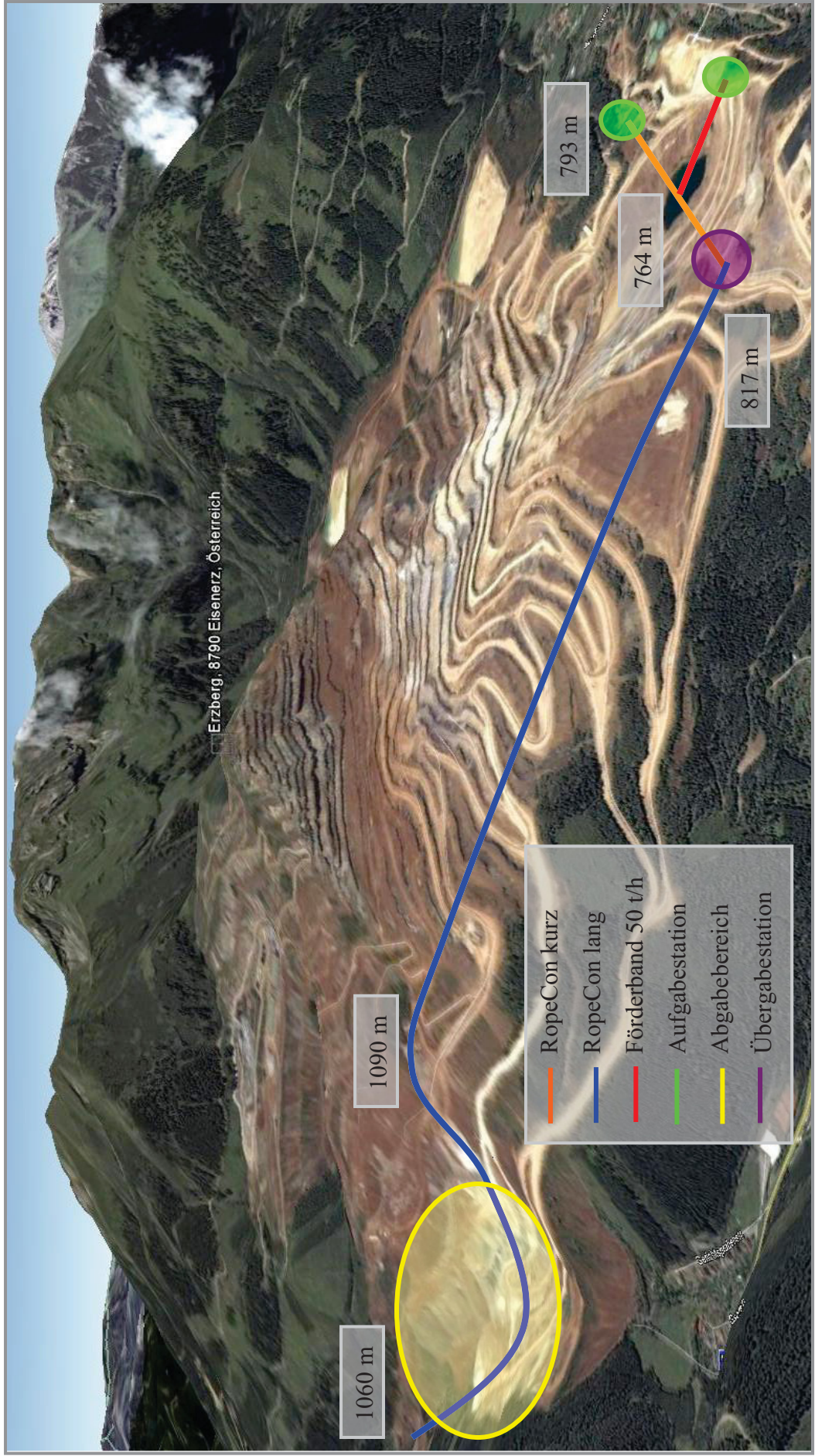


Abb. 10.11: Linienführung der RopeCon- Anlage (integrierte Zulieferung) <sup>(31)</sup>

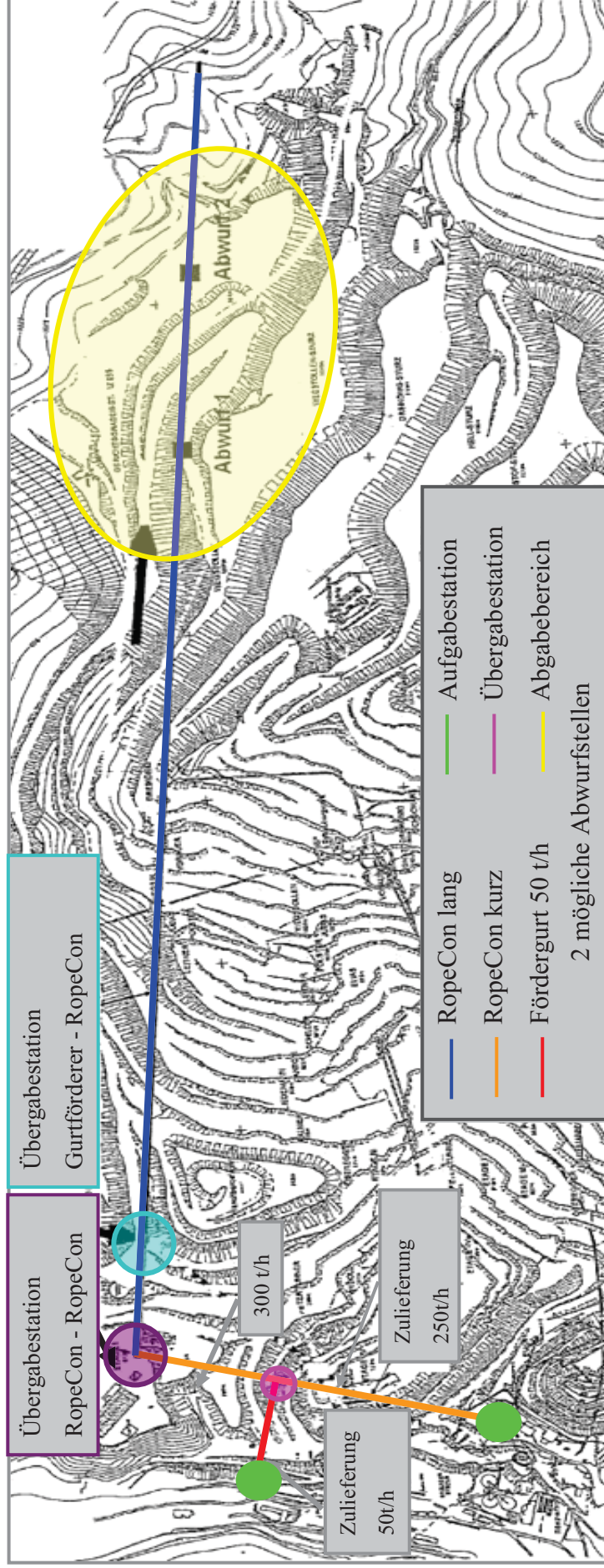


Abb. 10.12: Erzberg mit eingezeichneten Höhenlinien (RopeCon & integrierte Zulieferung) <sup>(2)</sup>

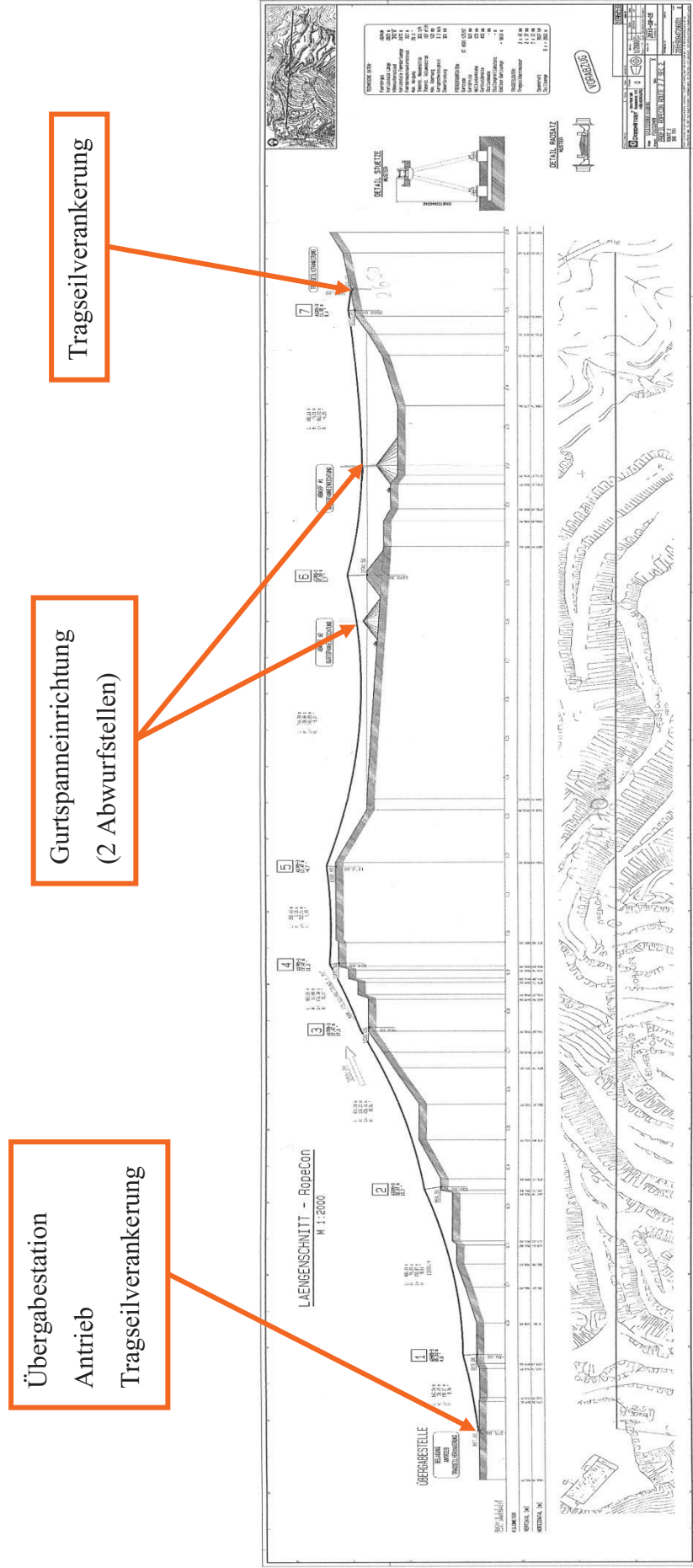


Abb. 10.13: Geländeschmittdarstellung der langen RopeCon- Anlage (2)







### 10.4.1. Kostenaufstellung

<b>Variante 2.4 RopeCon mit integrierter Zulieferung</b>		
Gesamtkosten über 30 Jahre		Gesamt:
RopeCon 1 2925 m		6.729.000 €
RopeCon 2 666 m		2.500.000 €
Gurtförderer 650 mm x 220 m		330.805 €
<u>Σ Investitionskosten</u>		<u>9.559.805 €</u>
Wartung des Gurtförderers (2% der Investitionskosten)		6.616 €
2 x Wechsel des Fördergurtes		27.000 €
Austausch der Tragrollen (alle 6 Jahre) (ein Wechsel kostet 14.500 €)	14.500 €	
→ 4 x Tragrollentausch erforderlich	x 4	58.000 €
Austausch der Antriebseinheit nach 15 Jahren		8.400 €
Trommelaustausch nach 15 Jahren		12.000 €
<u>Σ Instandhaltungskosten</u>		<u>112.016 €</u>
Energiekosten Gurtförderer 15 kW; bei 0,10 €/kW	36 €/Tag	270.000 €
<u>Σ Energiekosten</u>		<u>270.000 €</u>
RopeCon 1: 0,10933 Betriebsfaktor pro t (lt Doppelmayr) bei 54 Mio. t ges Fördermenge in 30 Jahren		<u>5.903.820 €</u>
RopeCon 2: 2/3 der Betriebskosten des RopeCon 1		<u>3.935.880 €</u>
<u>Σ Betriebskosten</u>		<u>10.221.716 €</u>
<u>Σ Gesamtkosten</u>		<u>19.781.521 €</u>

Tab. 10.7: Kostenaufstellung (integrierte Zulieferung) <sup>(2)</sup>

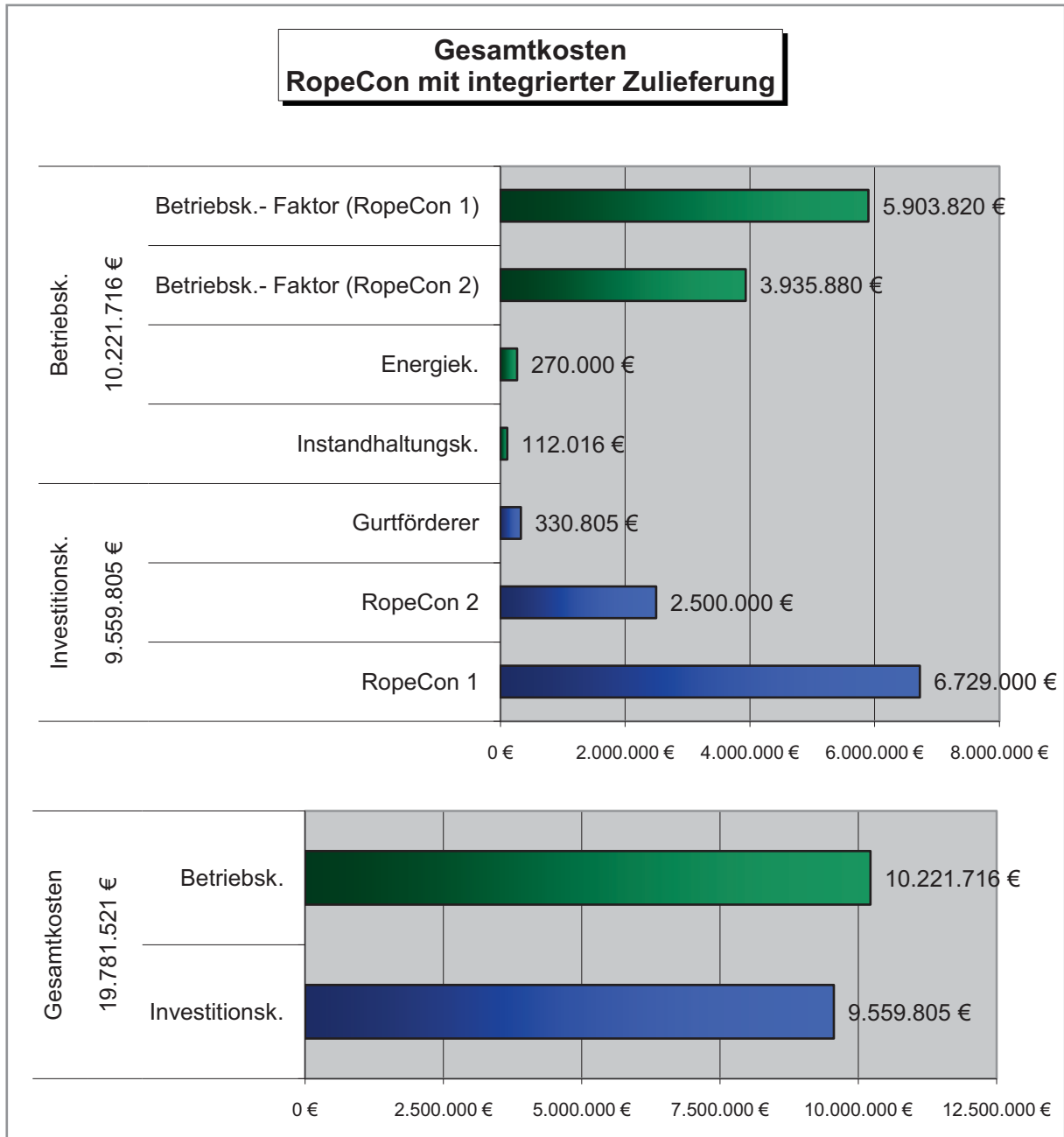


Abb. 10.15: Aufteilung der Gesamtkosten (RopeCon ohne Materialzulieferung)

## 10.5. Tunnel mit konventionellen Gurtförderer

Wie in Abb. 10.16 zu erkennen ist befindet sich die Aufgabestation des Gurtförderers in der Nähe des Erzbergsees. In Abb. 10.17 sieht man, dass das Absetzband 1 bis 8 verschiedene Abwurfstationen im Laufe der Jahre einnehmen kann. Abb. 10.18 zeigt einen Geländeschnitt des Erzberges, in welchem erkennbar ist wo der Tunnel endet und der Gurtförderer ans Tageslicht kommt. Die Höhendifferenz zwischen dem Startpunkt und der Abwurfstelle beträgt ca. 310 Meter.

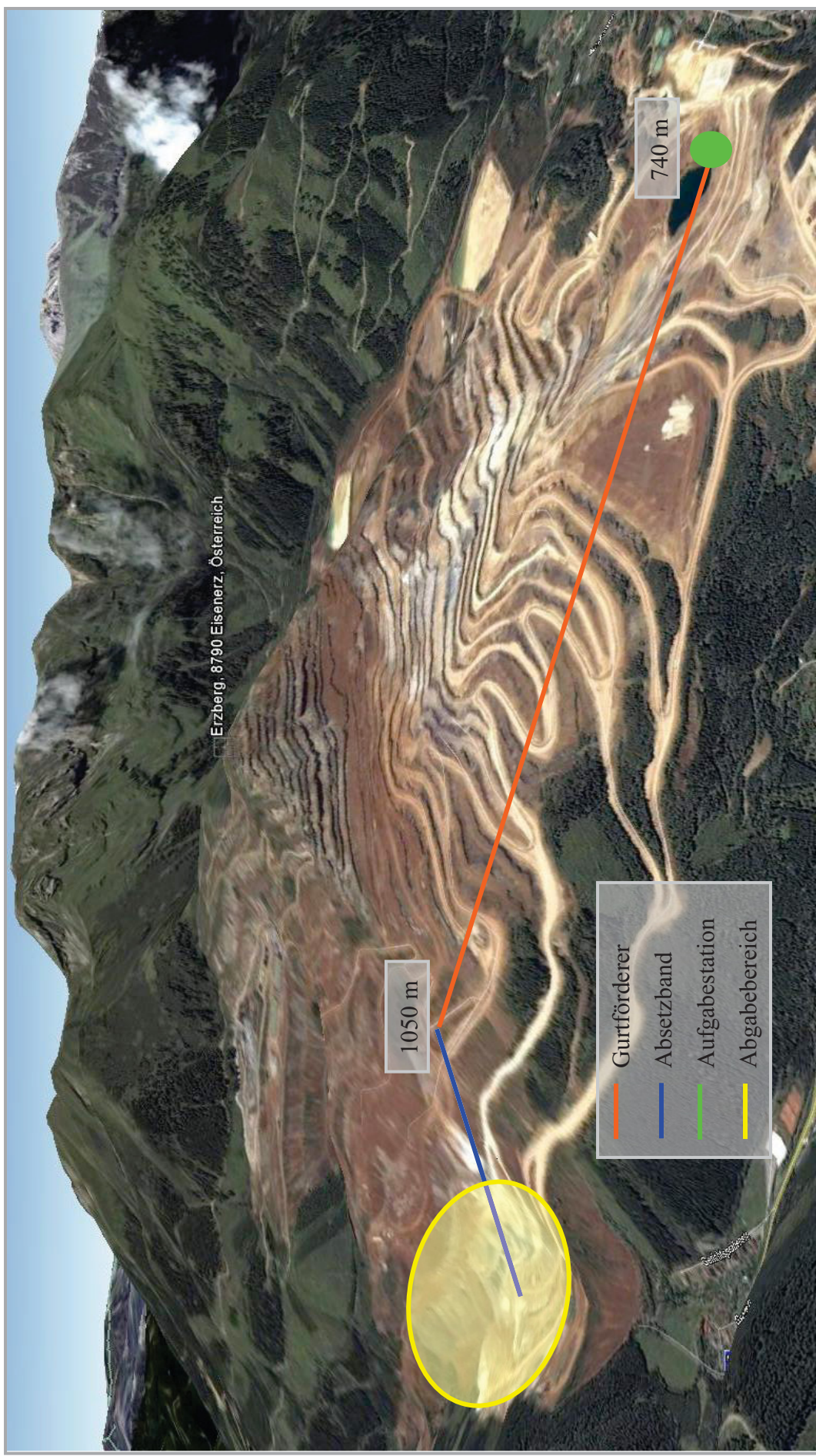


Abb. 10.16: Linienführung des Tunnels mit konventionellen Gurtförderer & Absetzband <sup>(31)</sup>

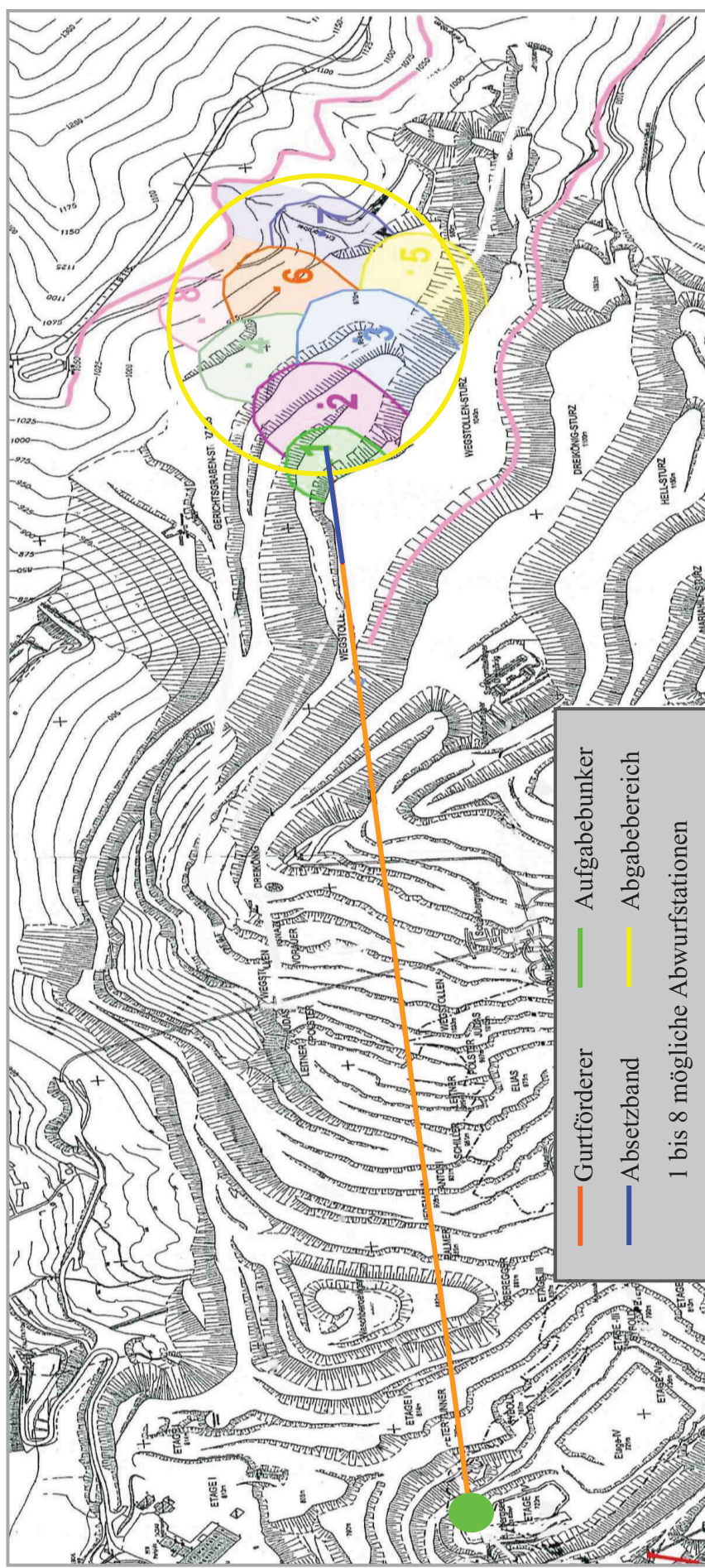


Abb. 10.17: Erzberg mit eingezeichneten Höhenlinien (Tunnel mit konventionellen Gurtförderer & Absetzband) <sup>(2)</sup>

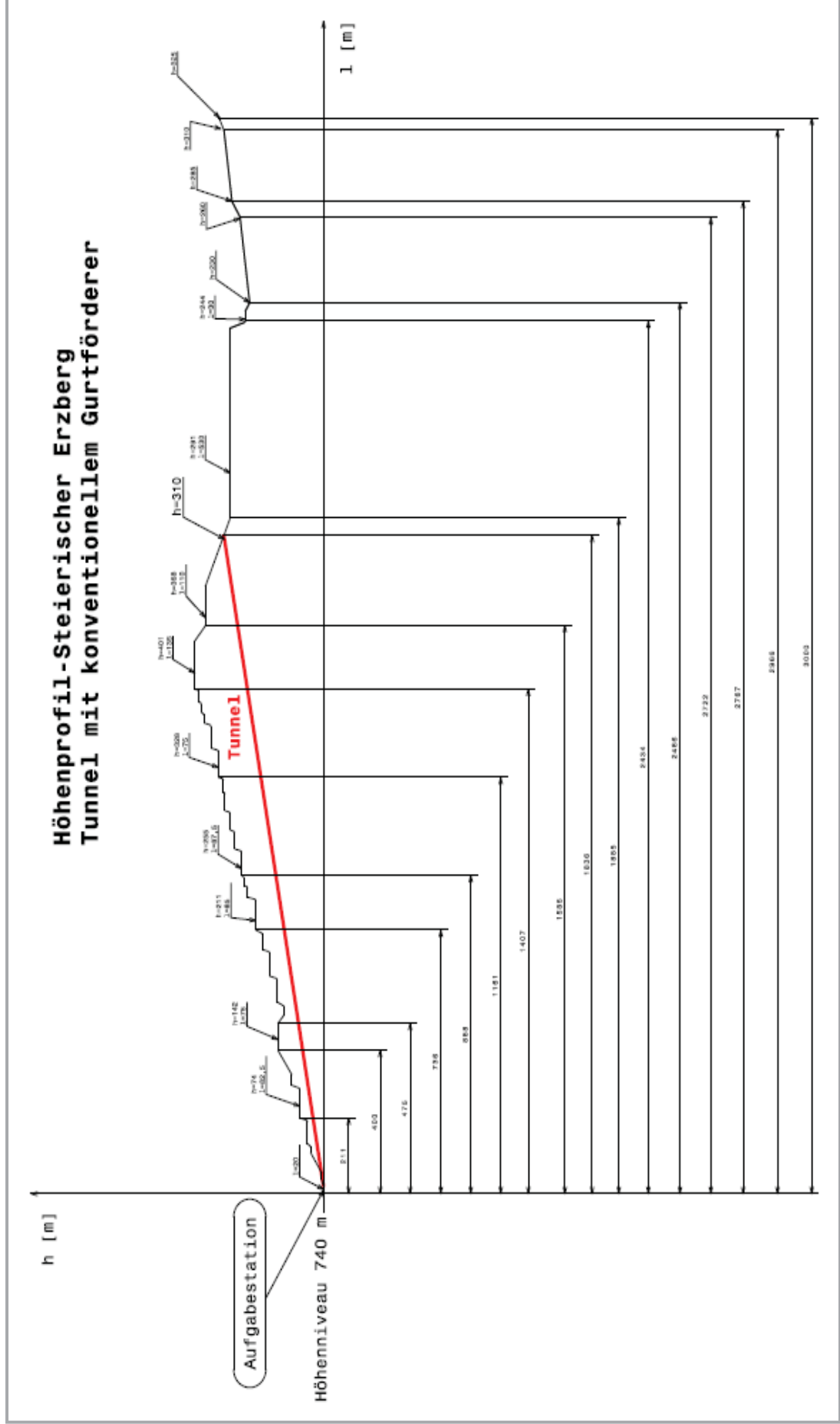


Abb. 10.18: Höhenprofil durch den Erzberg zur Darstellung des Tunnelverlaufs (2)



### 10.5.1. Kostenaufstellung

<b>Variante 3 Tunnel &amp; konventionelles Förderband</b>		
Gesamtkosten über 30 Jahre		Gesamt:
Stollen Länge 2000 m (1800 €/lfm)		3.600.000 €
Materialverkauf des Tunnel 4 x 4 x 2000 = 32.000 m <sup>3</sup> → 64.000 t (bei einer Dichte von 2 t/m <sup>3</sup> ) bei 3 €/t		- 192.000 €
Gurtförderer 800 mm x 2325 m		2.373.561 €
Absetzband 800 mm x 300 m		253.330 €
<hr/>		
<u>Σ Investitionskosten</u>		<b><u>6.034.891 €</u></b>
3 Bandwärter für Gurtförderanlage á 50.000 €/Jahr	150.000 €/Jahr	4.500.000 €
Wartung der Gurtförderer (2 % von Investitionskosten)		52.538 €
2 x Wechsel der Fördergurte		1.632.000 €
Austausch der Tragrollen (alle 6 Jahre) (ein Wechsel kostet 196.000 €) → 4 x Tragrollentausch erforderlich	196.000 € x 4	784.000 €
Austausch der Antriebseinheit nach 15 Jahren		143.000 €
Trommelaustausch nach 15 Jahren		572.000 €
<hr/>		
<u>Σ Instandhaltungskosten</u>		<b><u>7.683.538 €</u></b>
Energiekosten Gurtförderer 500 kW; bei 0,10 €/kW	1200 €/Tag	9.000.000 €
Energiekosten Absetzband 30 kW; bei 0,10 €/kW	72 €/Tag	540.000 €
<hr/>		
<u>Σ Energiekosten</u>		<b><u>9.540.000 €</u></b>
<hr/>		
<u>Σ Betriebskosten</u>		<b><u>17.223.538 €</u></b>
<hr/>		
<u>Σ Gesamtkosten</u>		<b><u>23.258.429 €</u></b>

Tab. 10.8: Kostenaufstellung (Tunnel - konventionelles Förderband) <sup>(2)</sup>

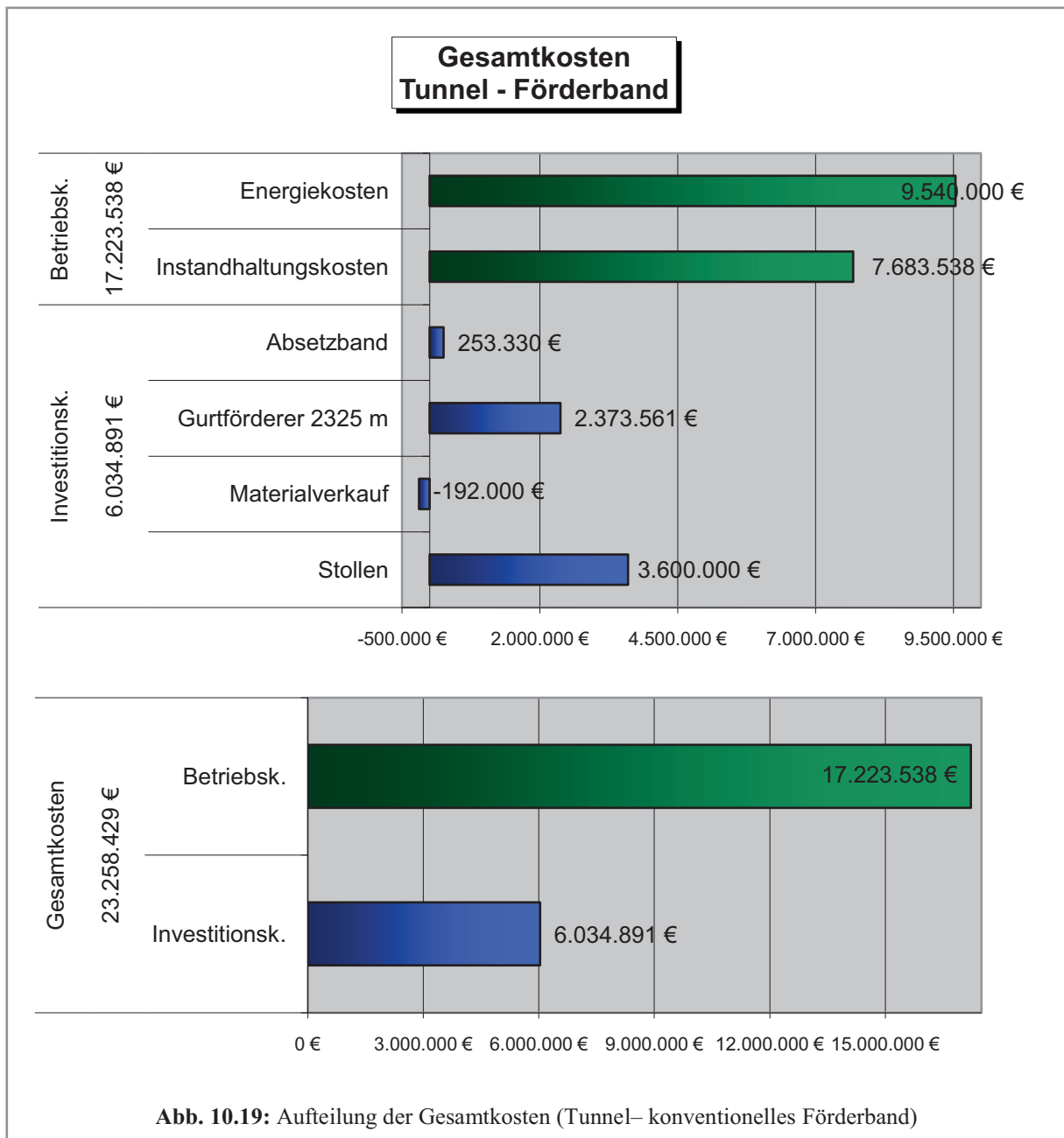


Abb. 10.19: Aufteilung der Gesamtkosten (Tunnel– konventionelles Förderband)



## 11. Kostenvergleich der einzelnen Fördervarianten

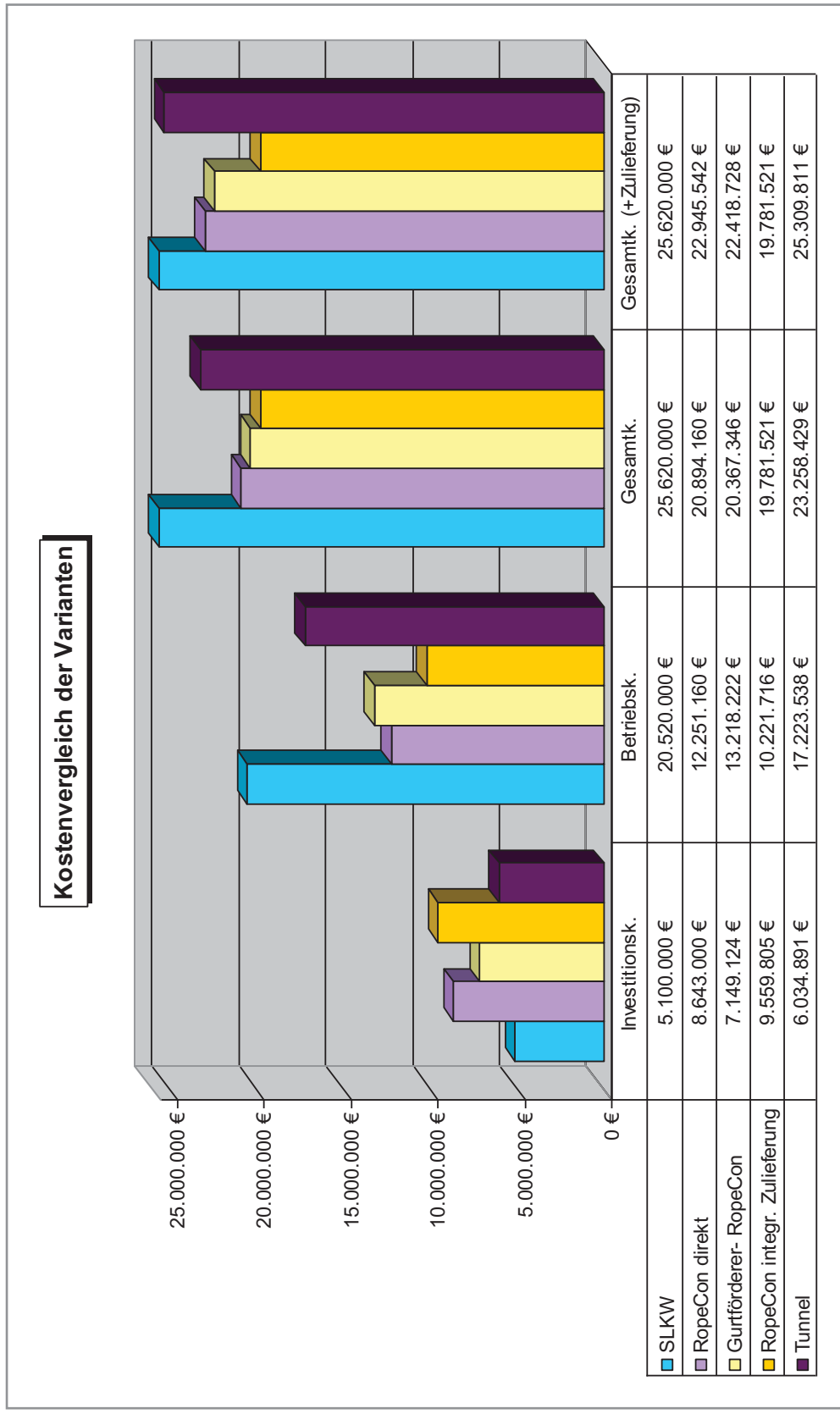


Abb. 11.1: Kostenvergleich der Fördervarianten inklusive Abraumzulieferung

## 12. Berechnungen nach DIN 22101 der gewählten Variante <sup>(32)</sup>

Aufgrund der Ergebnisse aus der technischen und wirtschaftlichen Betrachtung wird die Berechnung des optimalen Systems, der RopeCon- Anlage mit integrierter Zulieferung, durchgeführt. Das Berechnungsschema nach DIN 22101 ist grundsätzlich für einen konventionellen Gurtförderer ausgelegt, gleicht man jedoch die DIN 22101 an das RopeCon- System an, so ist man imstande eine grobe Aussage der Antriebsleistung zu liefern.

Zur Berechnung des RopeCon- Systems ohne Zwischenlagerung wird zuerst das RopeCon- System berechnet bei dem ein Massenstrom von 250 t/h aus der Aufbereitungsanlage mit den 50 t/h aus der Pelletieranlage direkt beladen wird. Darauf folgt die Berechnung des RopeCon- Systems, dass den gesamten Massenstrom von 300 t/h zur Abwurfstation befördert.

### 12.1. Vorbereitende Berechnungen

#### Volumenstrom $\dot{V}$

Für einen gegebenen Massenstrom  $\dot{m}$  und Schüttdichte  $\rho$  ergibt sich laut Glg. (12.1) ein Volumenstrom von:

$$\text{Glg. (12.1)} \quad \boxed{\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho}}$$

#### Förderquerschnitts A

Um ein Stocken des Fördergutstromes zu vermeiden, ergibt sich bei einer bestimmten Fördergeschwindigkeit  $v$  aus Glg. (12.2) ein Mindestförderquerschnitt A von:

$$\text{Glg. (12.2)} \quad \boxed{A = \frac{\dot{V}}{v}}$$

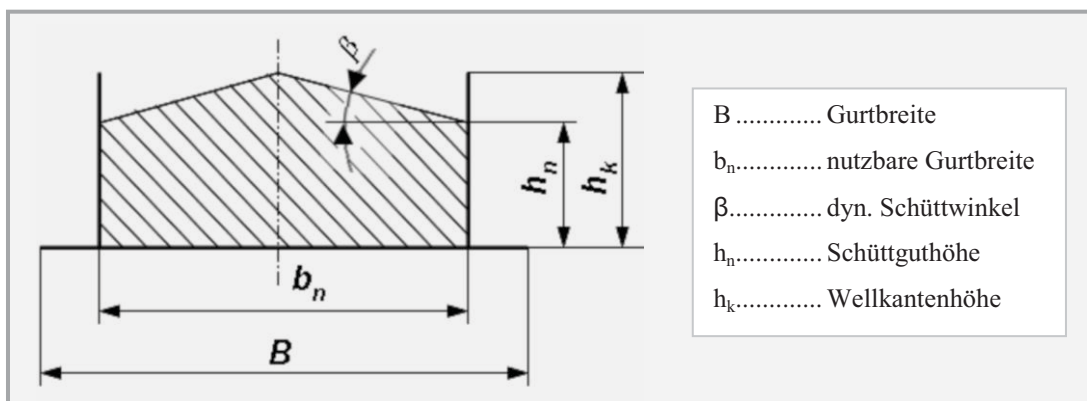


Abb. 12.1: Schematische Darstellung des Fördergurtquerschnittes <sup>(32)</sup>



### 12.1.1. Berechnung der Streckenlast infolge des Fördergutes $m_L$

Die Streckenlast infolge des Fördergutes berechnet sich aus dem geforderten Massenstrom  $\dot{m}$  und der maximalen Fördergeschwindigkeit  $v = 3,2 \text{ m/s}$ :

$$\text{Glg. (12.3)} \quad m_L = \frac{\dot{m}}{v}$$

Die Streckenlast infolge des Fördergutes fließt in weiterer Folge in die Hauptwiderstände, sowie in die Steigungswiderstände ein.

### 12.1.2. Berechnung der Gesamtstreckenlast $m_{Ges}$

Diese ergibt sich aus den Streckenlasten des Fördergutes  $m_L$  sowie den Streckenlasten des Fördergurtes  $m_G$ :

$$\text{Glg. (12.4)} \quad m_{Ges} = m_L + m_G$$

### 12.1.3. Fiktiver Reibungsbeiwert des RopeCon $f_{RopeCon}$

Der fiktive Reibungsbeiwert des RopeCon kann aufgrund der geringeren Rollreibung der Rollen auf den Tragseilen mit ca.  $\frac{1}{4}$  des Widerstandsbeiwertes eines konventionellen Gurtförderers ( $f_{konv} = 0,02$ ) angenommen werden:

$$\text{Glg. (12.5)} \quad f_{RopeCon} = \frac{1}{4} \cdot f_{konv} = \frac{1}{4} \cdot 0,02 = 0,005$$

## 12.2. Berechnung der erforderlichen Antriebsleistung

Hierbei ist darauf zu achten, dass diese Berechnung nur zur Abschätzung dient und daher eher einfach gehalten wird.

Wie bei einem konventionellen Gurtförderer setzt sich auch bei diesem System die Umfangskraft aus den Haupt-, Neben-, Steigungs- und Sonderwiderständen zusammen, siehe Glg. (12.6).

$$\text{Glg. (12.6)} \quad F = F_H + F_N + F_{St} + F_S$$

F .....	Gesamtwiderstand
$F_H$ .....	Hauptwiderstand
$F_N$ .....	Nebenwiderstand
$F_{St}$ .....	Steigungswiderstand
$F_S$ .....	Sonderwiderstand



### 12.2.1. Berechnung des Hauptwiderstandes $F_{H1}$ und $F_{H2}$

Der Hauptwiderstand ist aufgrund des niedrigen fiktiven Reibungsbeiwertes bei RopeCon-Systemen gering.

Glg. (12.7)

$$F_H = L \cdot g \cdot f_{RopeCon} \cdot (2 \cdot m_G + m_L) \cdot \cos \delta$$

L.....Gesamtlänge  
g .....Erdbeschleunigung  
 $\delta$ .....Steigungswinkel

### 12.2.2. Berechnung der Nebenwiderstände $F_{N1}$ und $F_{N2}$

Die Nebenwiderstände resultieren aus dem

- Trägheits- und Reibungswiderstand zwischen Fördergut & -gurt im Bereich der Aufgabestelle.
- Gurtbiegewiderstand beim Lauf über die Trommeln (dieser ist beim RopeCon aufgrund der aufvulkanisierten Wellkanten höher als bei einem herkömmlichen Gurtförderer) und dem Trommellagerwiderstand nicht angetriebener Trommeln (dieser ist durch den größeren Kraftbedarf bei der Biegung des Wellkantengurtes um die Trommeln im Vergleich zu konventionellen Gurtförderern höher).

Da der Betrag der erhaltenen Werte für die Hauptwiderstände der RopeCon- Anlagen eher gering ausfällt, würde die Berechnung der Nebenwiderstände über die allgemeine Formel (Glg. (12.8)) zu niedrigen Werten für  $F_N$  führen. Zur Berechnung des Nebenwiderstandes gibt es einen Beiwert C der aus Abb. 12.3 und Abb. 12.6 entnommen wird. Dieser Beiwert ist abhängig von der Förderlänge der RopeCon- Anlage.

Glg. (12.8)

$$F_N = (C - 1) \cdot F_{Hkonv}$$

#### 12.2.2.1. Berechnung der äquivalenten Hauptwiderstände $F_{Hkonv1}$ und $F_{Hkonv2}$

Glg. (12.9)

$$F_{Hkonv} = L \cdot g \cdot f_{konv} \cdot [(2 \cdot m_G + m_L) \cdot \cos \delta]$$

Die Berechnung des äquivalenten Hauptwiderstandes der RopeCon- Anlage bezieht sich auf den konventionellen Gurtförderer. Deshalb fließt der Widerstandsbeiwert für konventionelle Gurtförderer in die Berechnung ein.

### 12.2.3. Berechnung der Steigungswiderstände $F_{St1}$ und $F_{St2}$

Desto größer die Höhendifferenz  $\Delta H$ , desto größer ist der Betrag des Steigungswiderstandes. Bei Abwärtsförderung kann Energie im Generatorbetrieb zurückgewonnen werden.

Glg. (12.10)

$$F_{St} = m_L \cdot g \cdot \Delta H$$



#### 12.2.4. Berechnung der Sonderwiderstände $F_{S1}$ und $F_{S2}$

Da für die Berechnung von RopeCon- Anlagen wenig Informationen bzw. Daten zur Verfügung stehen, wird der Sonderwiderstand mit 60% des Hauptwiderstandes angenommen. Die Multiplikation mit dem Faktor  $n$  ergibt sich aufgrund der Anzahl der Gurtwendungen.

$$\text{Glg. (12.11)} \quad \boxed{F_S = n \cdot 0,6 \cdot F_H}$$

#### 12.2.5. Berechnung der Antriebsleistungen im stationären Betrieb $P_{st1}$ und $P_{st2}$

Aus dem negativen Wert der zu übertragene Umfangskraft  $F$  resultiert ebenfalls ein negativer Wert der stationären Antriebsleistung  $P_{st}$ . Das heißt, dass bei Gefälle die Anlage im Generatorbetrieb arbeiten wird. Der Wirkungsgrad  $\eta$  wird mit 0,9 angenommen.

$$\text{Glg. (12.12)} \quad \boxed{P_{st} = F \cdot v \cdot \eta}$$

Die beiden im stationären Betrieb benötigten Leistungen der einzelnen Sektionen können zu einer Antriebsleistung  $P$  addiert werden.

$$\text{Glg. (12.13)} \quad \boxed{P = P_{st1} + P_{st2}}$$

### 12.3. Berechnung der Abraumzulieferung

Die Abraumzulieferung von der Pelletier- und Aufbereitungsanlage erfolgt mit einem RopeCon- System. Die Angaben zur Abraumzulieferung können aus Tab. 12.1 entnommen werden. Dabei werden die geforderten Werte der Firma VAI Erzberg GmbH und die berechneten Werte der Firma Doppelmayr Transport Technology GmbH herangezogen. Das besondere bei diesem System ist, dass sich der Massenstrom entlang der Förderstrecke durch die Abraumzulieferung aus der Pelletieranlage ändert.

Bezeichnung	Kürzel	Wert	Einheit	Wert	Si-Einheit
Massenstrom Sektion 1	$\dot{m}_1$	250	t/h	69,44	kg/s
Massenstrom Sektion 2	$\dot{m}_2$	300	t/h	83,33	kg/s
Schüttdichte	$\rho$	1,8 - 2,0	t/m <sup>3</sup>	2000	kg/m <sup>3</sup>
maximale Korngröße		120	mm	0,12	m
Geschwindigkeit	$v$	3,2	m/s		
Gurtbreite	$B$	500	mm	0,5	m
nutzbare Gurtbreite	$b_n$	400	mm	0,4	m
Wellkantenhöhe	$h_k$	120	mm	0,12	m
Streckenlast infolge Fördergurt	$m_G$	40	kg/m		

**Tab. 12.1:** Angaben zur Abraumzulieferung



Eine Skizze der grundsätzlichen Darstellung des RopeCon- Systems 1 ist in Abb. 12.2 zu sehen.

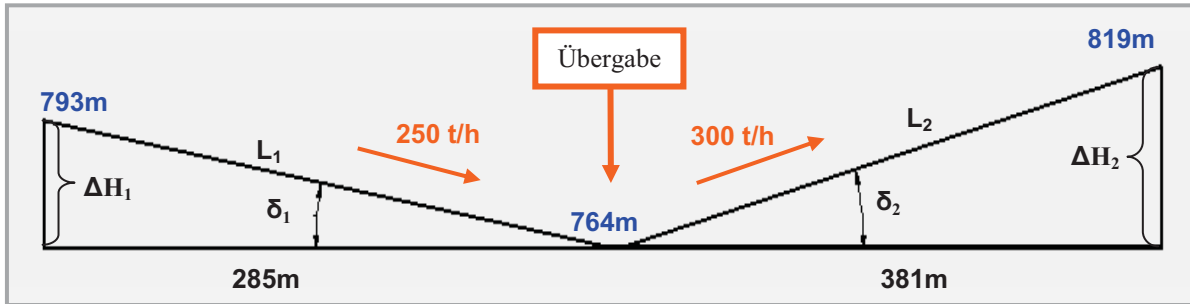


Abb. 12.2: Prinzipskizze des Systems 1

Bezeichnung	Kürzel	Wert	Einheit	Wert	Einheit
Höhendifferenz (250 t/h)	$\Delta H_1$	29	m		
Höhendifferenz (300 t/h)	$\Delta H_2$	55	m		
Seilwinkel	$\delta_1$	5,81	°	0,1014	rad
Seilwinkel	$\delta_2$	8,214	°	0,1434	rad
Förderlänge (250 t/h)	$L_1$	286,47	m		
Förderlänge (300 t/h)	$L_2$	384,95	m		

Tab. 12.2: Geometriedaten aus Abb. 12.2

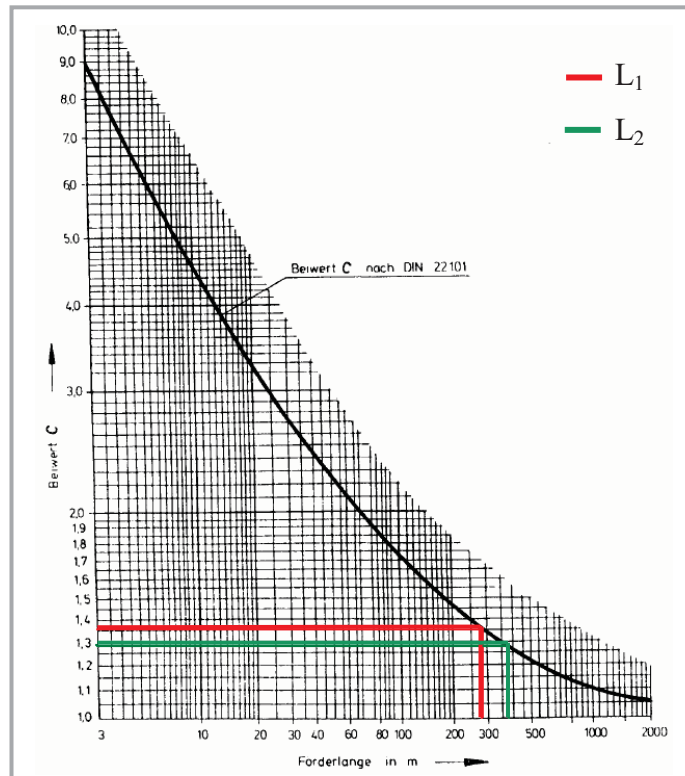


Abb. 12.3: Diagramm zur Bestimmung der Beiwerte  $C_1$  und  $C_2$



Förderlänge	Wert [m]	Beiwert	Wert
L <sub>1</sub>	286,47	C <sub>1</sub>	1,35
L <sub>2</sub>	384,95	C <sub>2</sub>	1,29

**Tab. 12.3:** Beiwert C<sub>i</sub> der Abraumförderung

Bezeichnung	Kürzel	Wert	Einheit	siehe Gleichung
Volumenstrom	$\dot{V}_1$	0,035	m <sup>3</sup> /s	Glg. (12.1)
	$\dot{V}_2$	0,042	m <sup>3</sup> /s	
Förderquerschnitt	A <sub>1</sub>	0,011	m <sup>2</sup>	Glg. (12.2)
	A <sub>2</sub>	0,013	m <sup>2</sup>	
Streckenlast infolge Fördergurtes	m <sub>L1</sub>	21,70	kg/m	Glg. (12.3)
	m <sub>L2</sub>	26,04	kg/m	
Gesamtstreckenlast	m <sub>Ges1</sub>	61,70	kg/m	Glg. (12.4)
	m <sub>Ges2</sub>	66,04	kg/m	
Hauptwiderstand	F <sub>H1</sub>	1422	N	Glg. (12.7)
	F <sub>H2</sub>	1982	N	
äquivalenter Hauptwiderstand	F <sub>Hkonv1</sub>	5929	N	Glg. (12.9)
	F <sub>Hkonv2</sub>	10592	N	
Beiwert	C <sub>1</sub>	1,35		Abb. 12.3
	C <sub>2</sub>	1,29		
Nebenwiderstand	F <sub>N1</sub>	2075	N	Glg. (12.8)
	F <sub>N2</sub>	3072	N	
Steigungswiderstand	F <sub>St1</sub>	-6173	N	Glg. (12.10)
	F <sub>St2</sub>	14050	N	
Sonderwiderstand	F <sub>S1</sub>	1706	N	Glg. (12.11)
	F <sub>S2</sub>	2378	N	
Gesamtwiderstand	F <sub>1</sub>	-970	N	Glg. (12.6)
	F <sub>2</sub>	20485	N	
stationäre Leistung	P <sub>st1</sub>	-3105	W	Glg. (12.12)
	P <sub>st2</sub>	65553	W	
Antriebsleistung	P	56,2	kW	Glg. (12.13)

**Tab. 12.4:** Berechnung der Antriebsleistung zur Abraumzulieferung

## 12.4. Berechnung Förderung zur Abwurfstelle

Von der Übergabestelle wird der Abraum von 300 t/h über ein RopeCon- System zu den Abwurfstellen befördert. Dabei gibt es ebenfalls zwei Sektionen a und b, die Bergauf- und Bergabwärtsförderung. Die Angaben der Förderung zu Abwurfstelle sind ähnlich zu den Angaben in Tab. 12.1.

Der Unterschied liegt lediglich darin, dass in diesem Fall keine unterschiedlichen Massenströme vorliegen und somit durchgehend ein Massenstrom von 300 t/h vorliegt.

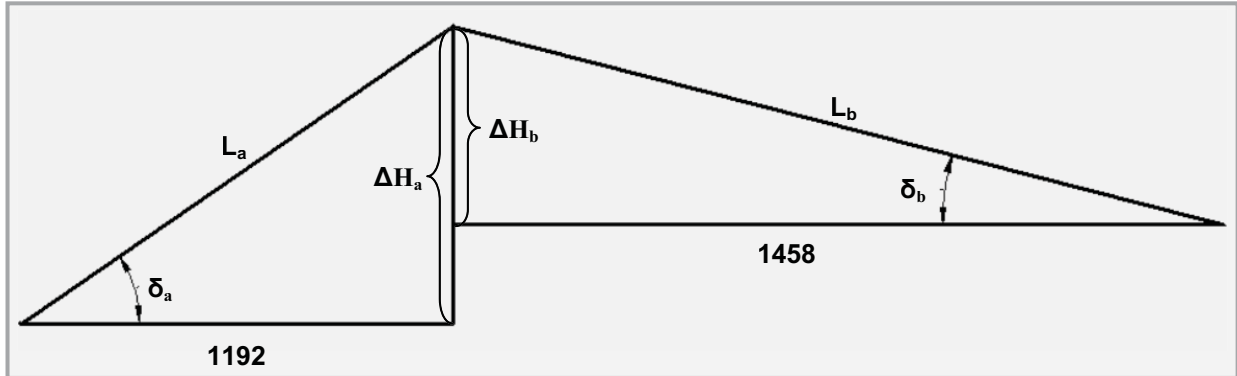


Abb. 12.4: Prinzipskizze des Systems 2

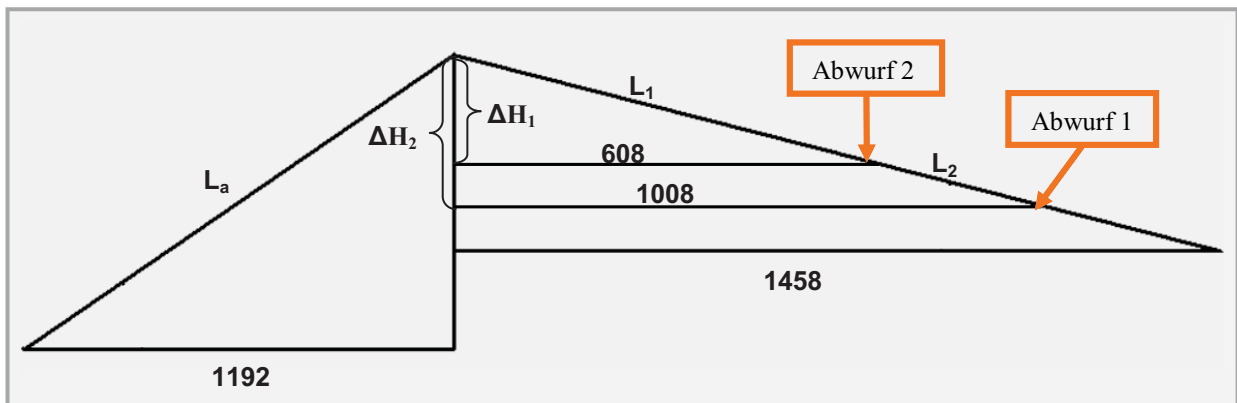


Abb. 12.5: Detail der Abwurfstellen

Bezeichnung	Kürzel	Wert	Einheit	Wert	Einheit
Höhendifferenz (250 t/h)	$\Delta H_a$	273,5	m		
Höhendifferenz (300 t/h)	$\Delta H_b$	30,5	m		
Höhendifferenz Abwurf 1	$\Delta H_1$	12,7	m		
Höhendifferenz Abwurf 2	$\Delta H_2$	21,1	m		
Winkel	$\delta_a$	12,9	°	0,2251	rad
Winkel	$\delta_b$	1,2	°	0,0209	rad
Förderlänge (250 t/h)	$L_a$	1222,86	m		
Förderlänge (300 t/h)	$L_b$	1458,3	m		
Förderlänge Abwurf 1	$L_1$	608,1	m		
Förderlänge Abwurf 2	$L_2$	1008,2	m		

Tab. 12.5: Geometriedaten aus Abb. 12.4 & Abb. 12.5



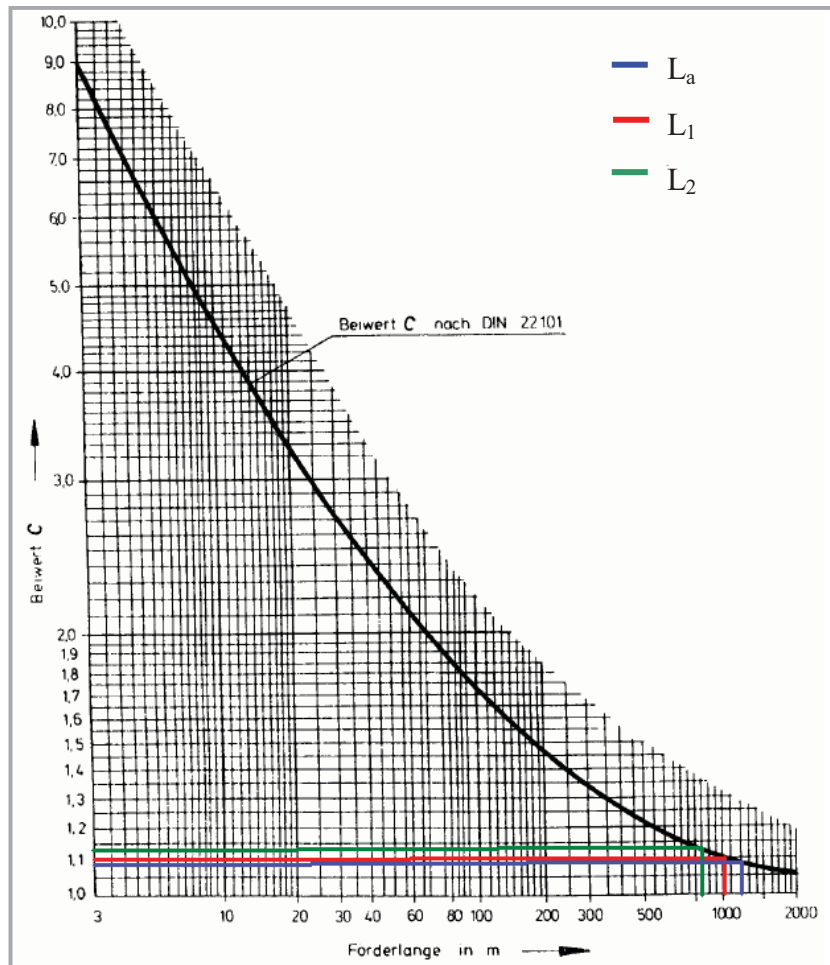


Abb. 12.6: Diagramm zur Bestimmung der Beiwerte  $C_a$ ,  $C_1$  und  $C_2$

Förderlänge	Wert [m]	Beiwert	Wert
$L_a$	1222,86	$C_a$	1,09
$L_1$	1008,22	$C_1$	1,1
$L_2$	608,13	$C_2$	1,14

Tab. 12.6: Beiwerte  $C_i$  der Förderung zur Abwurfstelle



Bezeichnung	Kürzel	Wert	Einheit	Gleichung
Volumenstrom	$\dot{V}$	0,042	m <sup>3</sup> /s	Glg. (12.1)
Förderquerschnitt	A	0,013	m <sup>2</sup>	Glg. (12.2)
Streckenlast infolge Fördergurtes	m <sub>L</sub>	26	kg/m	Glg. (12.3)
Gesamtstreckenlast	m <sub>Ges</sub>	66	kg/m	Glg. (12.4)
Hauptwiderstand	F <sub>Ha</sub>	6200	N	Glg. (12.7)
Abwurf 1	F <sub>H1</sub>	5243	N	
Abwurf 2	F <sub>H2</sub>	3162	N	
äquivalenter Hauptwiderstand	F <sub>Hkonva</sub>	24800	N	Glg. (12.9)
Abwurf 1	F <sub>Hkonv1</sub>	20972	N	
Abwurf 2	F <sub>Hkonv2</sub>	12649	N	
Beiwert	C <sub>a</sub>	1,09		Abb. 12.6
Abwurf 1	C <sub>1</sub>	1,1		
Abwurf 2	C <sub>2</sub>	1,14		
Nebenwiderstand	F <sub>Na</sub>	2232	N	Glg. (12.8)
Abwurf 1	F <sub>N1</sub>	2097	N	
Abwurf 2	F <sub>N2</sub>	1771	N	
Steigungswiderstand	F <sub>Sta</sub>	69868	N	Glg. (12.10)
Abwurf 1	F <sub>St1</sub>	-5393	N	
Abwurf 2	F <sub>St2</sub>	-8247	N	
Sonderwiderstand	F <sub>Sa</sub>	7440	N	Glg. (12.11)
Abwurf 1	F <sub>S1</sub>	6291	N	
Abwurf 2	F <sub>S2</sub>	3795	N	
Gesamtwiderstand	F <sub>a</sub>	85740	N	Glg. (13.3)
Abwurf 1	F <sub>1</sub>	8239	N	
Abwurf 2	F <sub>2</sub>	481	N	
stationäre Leistung	P <sub>sta</sub>	246930	W	Glg. (12.12)
Abwurf 1	P <sub>st1</sub>	23728	W	
Abwurf 2	P <sub>st2</sub>	1385	W	
Antriebsleistung Abwurf 1	P <sub>1</sub>	270,7	kW	Glg. (12.13)
Abwurf 2	P <sub>2</sub>	248,3	kW	

**Tab. 12.7:** Berechnung der Antriebsleistung in Anlehnung an DIN 22101



Die Ergebnisse der Firma Doppelmayr weichen von den berechneten Werten (Tab. 12.8) geringfügig ab. Der Grund ist, dass die Berechnung nur grob an das tatsächliche System angepasst wurde. Wie in Abb. 12.2, Abb. 12.4 und Abb. 12.5 zu sehen ist, beziehen sich die Berechnungen auf die grundsätzliche Geometrie der beiden Systeme. Beispielsweise sind die Stützen in der Berechnung nicht integriert, das führt dazu, dass sich die Winkel zwischen den Stützen von dem angenommenen Wert unterscheiden.

RopeCon	Doppelmayr	Berechnung	Abweichung
Abraumzulieferung	59	56,2	4,75 %
Förderung zur Abwurfstelle	301,0	270,7	10,07 %

Tab. 12.8: Gegenüberstellung der berechneten Werte mit jenen der Fa. Doppelmayr

### 13. Zusammenfassung

Zu Beginn der Diplomarbeit wurden die verschiedenen möglichen Fördervarianten des Abraumes am Steirischen Erzberg vorgestellt und auf die jeweilige Funktionsweise und deren Unterschiede zu anderen Fördermitteln eingegangen. Dabei wurde bereits bei der technischen Betrachtung das Fördermittel Seilbahn aufgrund der erhöhten Kosten in weiterer Folge ausgeschlossen, da die Konstruktion der Abwurfstelle zu aufwendig wäre. Im Zuge der Untersuchung der technischen und wirtschaftlichen Einflüsse fällt die Wahl auf das RopeCon-Fördersystem mit integrierter Zulieferung von der Pelletieranlage. Diese Variante weist in technischer Hinsicht im Vergleich zu den anderen Fördermitteln die besten Voraussetzungen auf und ist gleichzeitig die kostengünstigste Variante der Abraumförderung am Erzberg. Einer der Hauptgründe für die Wahl dieser Variante sind die Kosteneinsparungen durch das Wegfallen des gesamten externen Zulieferungssystems sowie des Silos (Abb. 11.1). Im Vergleich zu dem bisher verwendeten SLKW können in der Zeitspanne von 30 Jahren mit diesem Fördersystem Kosten von bis zu 22,8 % eingespart werden.

In weiterer Folge wurde die ausgewählte RopeCon-Anlage nach einer an das RopeCon-System angepassten Variante der DIN 22101 berechnet und mit den Werten der Fa. Doppelmayr verglichen.



## Formelzeichen

<b>Kürzel:</b>	<b>Bezeichnung:</b>
$\Delta H_i$	Höhendifferenz
$\Delta p$	Druckunterschied
$A_K$	Kolbenfläche
$b_n$	nutzbare Gurtbreite
$C_i$	Beiwert
$d$	Durchmesser
$F_{Hi}$	Hauptwiderstand
$F_{Hkonvi}$	konventioneller Hauptwiderstand
$F_i$	Gesamtwiderstand
$f_{konv}$	Widerstandsbeiwert des konventionellen Gurtes
$F_{Ni}$	Nebenwiderstand
$f_{RopeCon}$	fiktiver Reibungsbeiwert des RopeCon
$F_{Si}$	Sonderwiderstand
$F_{Sti}$	Steigungswiderstand
$F_Z$	Kraft des Zylinders
$g$	Erdbeschleunigung
$h_k$	Wellenkantenhöhe
$L_i$	Länge des Förderbandes
$\dot{m}$	Massenstrom
$m_G$	Streckenlast infolge Fördergurtes
$m_{Ges}$	Gesamtstreckenlast
$m_L$	Streckenlast infolge Förderguts
$n$	Anzahl der Gurtwendungen
$P$	Antriebsleistung
$P_{el}$	elektrische Leistung
$P_{mech}$	mechanische Leistung
$P_{sti}$	stationäre Antriebsleistung
$P_v$	Verlustleistung
$T_i$	Gurtzugkräfte
$U$	Umfang
$\dot{V}$	Volumenstrom
$v$	Fördergeschwindigkeit
$\delta_i$	Steigungswinkel
$\eta$	Wirkungsgrad
$\rho$	Schüttdichte



## Abkürzungen

<b>Kürzel:</b>	<b>Bezeichnung:</b>
VA	Voest Alpine
SLKW	Schwerlastkraftwagen
DLM	Double Loop Monocable
DMC	Double Loop Cable
2S	Zweiseil
3S	Dreiseil
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
VPS	Verbindungsprogrammierte Steuerung
RCX	Robotic Controller (E)Xplorer
Akku	Akkumulator
IP	International Protection



## Literaturverzeichnis

1. **Wikipedia**; Erzberg [Online] Aug. 2010: <http://de.wikipedia.org/wiki/Erzberg>
2. **Busic I.**; "Abraumförderung am steirischen Erzberg". Projektstudie am Lehrstuhl für Fördertechnik und Konstruktionslehre, Montanuniversität Leoben, 2010
3. **VA Erzberg**; Erzbergblick [Online] 2010: <http://www.vaerzberg.com/>
4. —; Hauly [Online] 2010: <http://www.abenteuer-erzberg.at/de/galerie/category/4-hauly.html>
5. —; Hauly- Beladung [Online] 2010: <http://www.vaerzberg.com/erzproduktion.html>
6. **Zöchling H.**; Materialeilbahn- Steinbruch Ramsau [Online] 2009: <http://www.zoehling-hainfeld.at/downloads/praesentationsteinbramsau.pdf>
7. **Kessler F.**; Neuentwicklung in der Fördertechnik [Online] 2005: <http://www.htl-kapfenberg.ac.at/zeitung/2005/neu5.html>
8. **Doppelmayr**; RopeCon [Online] April 2009: <http://www.ropecon.com/>
9. **Kessler F.**; "Abraumförderung am steirischen Erzberg - Technische/ wirtschaftliche Betrachtung der Fördervarianten". PowerPoint- Präsentation zur Projektstudie am Lehrstuhl für Fördertechnik und Konstruktionslehre, Montanuniversität Leoben, 2010
10. **ContiTech**; Bild RopeCon [Online] Aug. 2010:  
[http://www.contitech.de/pages/presse/messen-veranstaltungen/pr-messen/2010/100413\\_bauma\\_01/image\\_1\\_uv\\_dl.jpg](http://www.contitech.de/pages/presse/messen-veranstaltungen/pr-messen/2010/100413_bauma_01/image_1_uv_dl.jpg)
11. **Deutsche Norm**; "Stetigförderer - Gurtförderer für Schüttgüter - Grundlagen für die Berechnung und Auslegung". DIN 22101
12. **Wikipedia**; Euler- Eytelwein- Formel [Online] Juni 2010:  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Euler-Eytelwein-Formel>
13. **Günther W.**; Skript Seilbahntechnik [Online] April 2005:  
[http://www.ropecon.com/upload/prj1/pdf/skript\\_seilbahntechnik\\_fm1.pdf](http://www.ropecon.com/upload/prj1/pdf/skript_seilbahntechnik_fm1.pdf)
14. **cablecar.ch**; Seilbahnlexikon [Online] Aug. 2010:  
<http://www.cablecar.ch/html/seilbahnlexikon.html>
15. **Seilbahntechnik**; Lift-World.info [Online] Sept. 2010:  
<http://www.seilbahntechnik.net/technik/bautagebuch/1/seite1.php>
16. —; Lift-World.info [Online] 2002 - 2010:  
[http://www.seilbahntechnik.net/de/lifts/13302/photo\\_41,0,0.htm](http://www.seilbahntechnik.net/de/lifts/13302/photo_41,0,0.htm)
17. **Hoffmann K.**; "Födertechnik I" R. Oldenburg-Verlag, Wien, 2005, ISBN 3-7029-0791-2
18. **Allegheny**; Material Handling INC [Online] Nov. 2009:  
[http://www.alleghenymaterialhandling.net/buckets\\_and\\_hoppers.html](http://www.alleghenymaterialhandling.net/buckets_and_hoppers.html)



19. **Festo Didactic GmbH & Co**; Grundlagen der Pneumatik [Online] Febr.2000:  
[http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/095000\\_ausschnitt\\_web.pdf](http://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/095000_ausschnitt_web.pdf)
20. **FESTO**; Datenblatt - Normzylinder ESN [Online] [http://www.festo.com/pnf/de-at\\_at/products/catalog?action=search&Mode=portal&lang=de-at&country=AT&key=11653&submit=](http://www.festo.com/pnf/de-at_at/products/catalog?action=search&Mode=portal&lang=de-at&country=AT&key=11653&submit=)
21. —; Datenblatt - Vorsteuerventil [Online] [http://www.festo.com/cat/de-at\\_at/xDKI.asp?xS=JE094E9486E3144F78712911C1669F293&xR=DKI3WebDataSheetV1&PartNo=535615](http://www.festo.com/cat/de-at_at/xDKI.asp?xS=JE094E9486E3144F78712911C1669F293&xR=DKI3WebDataSheetV1&PartNo=535615)
22. —; Datenblatt - Druckluftspeicher [Online] [http://www.festo.com/cat/de-at\\_at/xDKI.asp?xS=P5EBA967E0FE14A2DBFA0C5A3180A8235&xR=DKI3WebDataSheetV1&PartNo=160233](http://www.festo.com/cat/de-at_at/xDKI.asp?xS=P5EBA967E0FE14A2DBFA0C5A3180A8235&xR=DKI3WebDataSheetV1&PartNo=160233)
23. **Wikipedia**; Druckluft [Online] Juli 2010: <http://de.wikipedia.org/wiki/Druckluft>
24. —; Wartungseinheit [Online] Nov. 2008: <http://de.wikipedia.org/wiki/Wartungseinheit>
25. **Haun M**; "*Handbuch Robotik - Programmieren und Einsatz intelligenter Roboter*". Springer- Verlag. Bd. XVIII, Berlin Heidelberg, 2007, ISBN 3-540-25508-7
26. **Wikipedia**; Elektrischer Generator [Online] Aug. 2010:  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrischer\\_Generator](http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrischer_Generator)
27. —; Akkumulator [Online] Aug. 2010: <http://de.wikipedia.org/wiki/Akkumulator>
28. —; Kondensator [Online] Aug. 2010: [http://de.wikipedia.org/wiki/Kondensator\\_%28Elektrotechnik%29#Kondensatoren\\_als\\_Sensoren](http://de.wikipedia.org/wiki/Kondensator_%28Elektrotechnik%29#Kondensatoren_als_Sensoren)
29. **ContiTech**; Geschlossenes Gurtfördersystem SICON [Online] März 2008:  
[http://www.contitech.de/pages/produkte/transportbaender/cbg-news/download/contitech\\_sicon\\_de.pdf](http://www.contitech.de/pages/produkte/transportbaender/cbg-news/download/contitech_sicon_de.pdf)
30. **VA Erzberg**; Lageplan der geplanten Pelletieranlage, Eisenerz
31. **Google earth**; Erzberg [Online] 2010: <http://earth.google.com/intl/de/>
32. **Wagner R.**; "*Konzeption eines Förderweges unter Berücksichtigung von technischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen*". Lehrstuhl für Fördertechnik und Konstruktionslehre, Montanuniversität Leoben, Juni 2008



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Blick auf den Steirischen Erzberg .....	1
Abb. 1.2: SLKW (Haulpak) als Touristenattraktion am Steirischen Erzberg .....	1
Abb. 3.1: Förderung des Schüttgutes mit SLKW .....	3
Abb. 3.2: Komponenten einer RopeCon- Anlage .....	4
Abb. 3.3: RopeCon- Anlage mit sehr langer Spannweite .....	5
Abb. 3.4: Tragseilabspannung des RopeCon mittels Betonfundament .....	5
Abb. 3.5: Hydraulische Abspannung des Fördergurtes .....	6
Abb. 3.6: Detailbild der Laufrollenbefestigung am Gurt .....	6
Abb. 3.7: Arten der Gurtwendeeinrichtungen .....	7
Abb. 3.8: Mehrere Tragseilstützen über eine lange Spannweite .....	7
Abb. 3.9: Abwurf des Schüttgutes im freien Fall .....	8
Abb. 3.10: Antriebskomponenten des RopeCon .....	9
Abb. 3.11: Schematischer Aufbau einer konventionellen Gurtförderanlage.....	10
Abb. 3.12: Gurtmuldung und Förderquerschnitt eines konventionellen Förderbandes .....	10
Abb. 3.13: Skizze zur Eytelwein'schen Gleichung.....	11
Abb. 3.14: Schema der verschiedenen Seilbahnarten und deren Einteilung.....	14
Abb. 3.15: Unterscheidung nach Betriebsweise, Anzahl der Seile, sowie deren Funktion.....	15
Abb. 3.16: Vor- und Nachteile beider Bau- und Betriebsarten .....	16
Abb. 3.17: Einseilumlaufbahnen kuppelbar .....	17
Abb. 3.18: Einseilgruppenumlaufbahn - nicht kuppelbar.....	18
Abb. 3.19: Beispiel einer Einseil-Pendelbahn mit einem Seil.....	18
Abb. 3.20: Bild einer Doppel- Einseilbahn .....	19
Abb. 3.21: Doppel- Einseilumlaufbahn – kuppelbar (Double Loop Monocable).....	19
Abb. 3.22: Doppel- Einseilumlaufbahn - kuppelbar (Double Monocable).....	20
Abb. 3.23: Zweiseilumlaufbahn – kuppelbar .....	21
Abb. 3.24: 2S- Bahn (1 Tragseil, 1 Zugseil) .....	21
Abb. 3.25: Zweiseilumlaufbahn mit 2 Tragseilen und einem Zugseil .....	22
Abb. 3.26: 3S- Bahn (2 Tragseile, 1 Zugseil); Rittner Seilbahn .....	22
Abb. 3.27: Zweiseil- Pendelbahn .....	23
Abb. 3.28: Einteilung der verschiedenen Seilarten nach DIN 3051 Blatt 2.....	24
Abb. 3.29: Darstellung der Spiral- und Litzenseile .....	25
Abb. 3.30: Aufbau eines Rundlitzenseiles.....	26





Abb. 3.31: Schlagarten des Litzenseiles .....	26
Abb. 3.32: Verseilarten bei Litzenseilen .....	27
Abb. 3.33: Varianten der Rollenbatterie.....	28
Abb. 3.34: Laufwerk einer Zweiseilumlaufbahn.....	28
Abb. 3.35: Feste Seilklemme.....	29
Abb. 3.36: Kuppelbare Seilklemmen mit Kniehebel und Tellerfederpaket .....	30
Abb. 3.37: Kuppelbare Seilklemmen mit Schrauben- oder Torsionsfeder.....	30
Abb. 4.1: Kippkübel .....	32
Abb. 4.2: Bodenentleergefäße .....	33
Abb. 4.3: Bodenentleergefäße der Firma Allegheny .....	33
Abb. 4.4: Klappkübel mit Gehänge .....	34
Abb. 5.1: Skizze der Abwurfstelle zwischen der Stützen .....	34
Abb. 5.2: Skizze des Bodenentleerungskübel mit den einzelnen Steuerelementen .....	35
Abb. 5.3: pneumatischer Steuerkreis direkt am Kübel befestigt .....	36
Abb. 5.4: Versorgungselemente an der Beladestation.....	36
Abb. 5.5: Komponenten der Wartungseinheit .....	36
Abb. 5.6: Einfachwirkender Pneumatikzylinder mit Federrückstellung .....	37
Abb. 5.7: 3/2 Wegeventil elektrisch betätigt mit Federrückstellung .....	37
Abb. 5.8: Druckluftspeicher .....	38
Abb. 5.9: Prinzipieller Aufbau eines Kondensators .....	41
Abb. 7.1: Umlenkung eines SICON- Gurtes mit Antrieb.....	42
Abb. 7.2: Komponenten eines SICON- Systems.....	43
Abb. 7.3: Beladung und Entleerung eines SICON- Gurtes .....	44
Abb. 8.1: Förderung zum Aufgabebunker Variante 1 .....	47
Abb. 8.2: Förderung zum Aufgabebunker Variante 2 .....	48
Abb. 8.3: Aufteilung der Gesamtkosten Variante 1 (3 Förderbänder) .....	50
Abb. 8.4: Aufteilung der Gesamtkosten Variante 2 (Förderband– SICON) .....	52
Abb. 8.5: Kostenvergleich der beiden Zuliefervarianten .....	53
Abb. 10.1: Aufteilung der Gesamtkosten (SLKW) .....	56
Abb. 10.2: Linienführung der RopeCon- Anlage mit zwei Sektionen .....	58
Abb. 10.3: Erzberg mit eingezeichneten Höhenlinien (3 Abwurfstellen) .....	59
Abb. 10.4: Geländeschnittdarstellung mit 2 Sektionen .....	60
Abb. 10.5: Erzberg mit eingezeichneten Höhenlinien (2 Abwurfstellen) .....	61
Abb. 10.6: Aufteilung der Gesamtkosten (RopeCon direkt vom Bunker) .....	63



Abb. 10.7: Linienführung des Gurtförderers und RopeCon.....	65
Abb. 10.8: Erzberg mit eingezeichneten Höhenlinien (Gurtförderer + RopeCon) .....	66
Abb. 10.9: Geländeschnittdarstellung des RopeCon mit Gurtförderer .....	67
Abb. 10.10: Aufteilung der Gesamtkosten (Gurtförderer - RopeCon).....	69
Abb. 10.11: Linienführung der RopeCon- Anlage (integrierte Zulieferung).....	71
Abb. 10.12: Erzberg mit eingezeichneten Höhenlinien (RopeCon & integrierte Zulieferung)	72
Abb. 10.13: Geländeschnittdarstellung der langen RopeCon- Anlage.....	73
Abb. 10.14: Geländeschnittdarstellung der kurzen RopeCon- Anlage .....	74
Abb. 10.15: Aufteilung der Gesamtkosten (RopeCon ohne Materialzulieferung).....	76
Abb. 10.16: Linienführung des Tunnels mit konventionellen Gurtförderer & Absetzband ....	77
Abb. 10.17: Erzberg mit eingezeichneten Höhenlinien (Tunnel mit konventionellen Gurtförderer & Absetzband) .....	78
Abb. 10.18: Höhenprofil durch den Erzberg zur Darstellung des Tunnelverlaufs.....	79
Abb. 10.19: Aufteilung der Gesamtkosten (Tunne – konventionelles Förderband) .....	81
Abb. 11.1: Kostenvergleich der Fördervarianten inklusive Abraumzulieferung .....	82
Abb. 12.1: Schematische Darstellung des Fördergurtquerschnittes .....	83
Abb. 12.2: Prinzipskizze des Systems 1 .....	87
Abb. 12.3: Diagramm zur Bestimmung der Beiwerte $C_1$ und $C_2$ .....	87
Abb. 12.4: Prinzipskizze des Systems 2 .....	89
Abb. 12.5: Detail der Abwurfstellen .....	89
Abb. 12.6: Diagramm zur Bestimmung der Beiwerte $C_a$ , $C_1$ und $C_2$ .....	90



## Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: Geforderte Betriebsdaten .....	2
Tab. 2.2: Varianten der Abraumförderung .....	2
Tab. 8.1: Kostenaufstellung (Förderbänder).....	49
Tab. 8.2: Kostenaufstellung (SICON) .....	51
Tab. 9.1: Auswahlkriterien der Fördermittel .....	54
Tab. 10.1: Kostenaufstellung (SLKW).....	55
Tab. 10.2: Technische Daten aus Abb. 10.4.....	57
Tab. 10.3: Kostenausstellung (RopeCon direkt vom Bunker) .....	62
Tab. 10.4: Technische Daten aus Abb. 10.9 .....	64
Tab. 10.5: Kostenaufstellung (Gurtförderer - RopeCon) .....	68
Tab. 10.6: Technische Daten aus Abb. 10.13 & Abb. 10.14.....	70
Tab. 10.7: Kostenaufstellung (integrierte Zulieferung).....	75
Tab. 10.8: Kostenaufstellung (Tunnel - konventionelles Förderband).....	80
Tab. 12.1: Angaben zur Abraumzulieferung.....	86
Tab. 12.2: Geometriedaten aus Abb. 12.2 .....	87
Tab. 12.3: Beiwert $C_i$ der Abraumförderung.....	88
Tab. 12.4: Berechnung der Antriebsleistung zur Abraumzulieferung.....	88
Tab. 12.5: Geometriedaten aus Abb. 12.4 & Abb. 12.5 .....	89
Tab. 12.6: Beiwerte $C_i$ der Förderung zur Abwurfstelle .....	90
Tab. 12.7: Berechnung der Antriebsleistung in Anlehnung an DIN 22101 .....	91
Tab. 12.8: Gegenüberstellung der berechneten Werte mit jenen der Fa. Doppelmayr .....	92