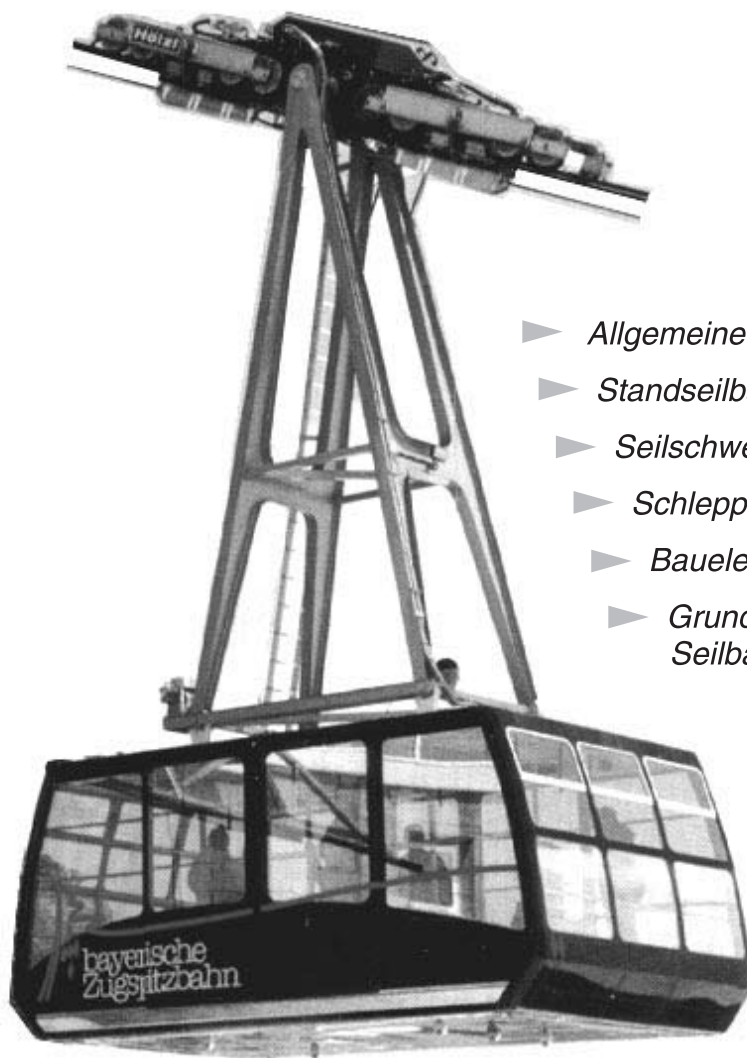


fml • Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluß Logistik • Technische Universität München  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Willibald A. Günthner

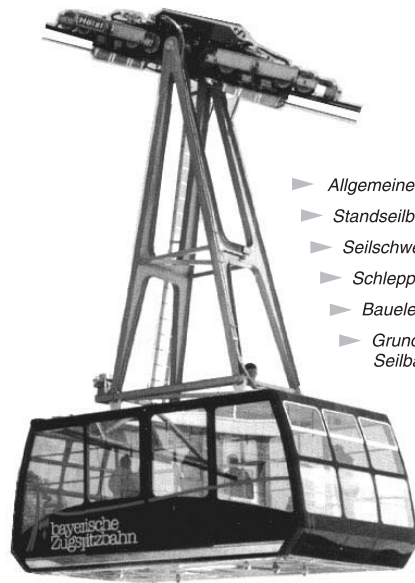
# ***Seilbahntechnik***



- ▶ *Allgemeine Einführung*
- ▶ *Standseilbahnen*
- ▶ *Seilschwebbahnen*
- ▶ *Schleppaufzüge (Schlepplifte)*
- ▶ *Bauelemente*
- ▶ *Grundlagen der Seilbahnberechnung*

Unterlagen zur Vorlesung Seilbahntechnik.  
Für den Gebrauch in den Vorlesungen und Übungen bestimmt.

# Seilbahntechnik



- ▶ Allgemeine Einführung
- ▶ Standseilbahnen
- ▶ Seilschwebebahnen
- ▶ Schleppaufzüge (Schlepplifte)
- ▶ Bauelemente
- ▶ Grundlagen der Seilbahnberechnung

Unterlagen zur Vorlesung Seilbahntechnik.  
 Für den Gebrauch in den Vorlesungen und Übungen bestimmt.

## Vorwort

Dieses Skript ist als begleitendes Arbeitsmittel zur Vorlesung Seilbahntechnik gedacht.

Es soll die Hörer von einer umfassenden Vorlesungsmitschrift entlasten und ein Nachvollziehen der Vorlesungen zu einem späteren Zeitpunkt ermöglichen.

Konstruktive Anregungen, die der weiteren Verbesserung des Skripts dienen, werden gerne angenommen.

Konzeption & Inhalt: Dipl.-Ing. Stephan Liedl  
 Layout & Realisierung: Dipl.-Ing. Andreas Keller  
 Dipl.-Ing. Mark Löhr  
 Auflage: April 1999

© Lehrstuhl fml  
 TU München

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Grundlagen, Einführung .....</b>	<b>1 - 1</b>
1.1 Unterteilung und Begriffsbestimmung .....	1 - 1
1.2 Historische Entwicklung .....	1 - 5
1.3 Derzeitiger Stand .....	1 - 7
1.4 Vorschriften und Normen .....	1 - 8
1.5 Literatur .....	1 - 9
<b>2 Standseilbahnen .....</b>	<b>2 - 1</b>
2.1 Besonderheiten .....	2 - 1
2.2 Betriebsarten .....	2 - 1
2.3 Bauelemente .....	2 - 2
<b>3 Seilhängebahnen (Hochschienenbahnen) .....</b>	<b>3 - 1</b>
<b>4 Seilschwebebahnen .....</b>	<b>4 - 1</b>
4.1 Besonderheiten und Unterschiede .....	4 - 1
4.2 Einseilbahnen .....	4 - 2
4.2.1 Betriebsarten von Bahnen mit einem Förderseil .....	4 - 2
4.2.1.1 Kontinuierlicher Umlaufbetrieb .....	4 - 2
4.2.1.2 Intermittierender Umlaufbetrieb .....	4 - 4
4.2.1.3 Pendelbetrieb .....	4 - 5
4.2.2 Betriebsarten von Doppel-Einseilbahnen .....	4 - 6
4.2.2.1 Kontinuierlicher Umlaufbetrieb .....	4 - 6
4.2.2.2 Pendelbetrieb .....	4 - 8
4.2.3 Seilklemmen .....	4 - 9
4.2.3.1 Betrieblich nicht lösbare Seilklemmen .....	4 - 9
4.2.3.2 Betrieblich lösbare Seilklemmen .....	4 - 10
4.2.4 Stationen .....	4 - 12
4.2.4.1 Stationsbauten .....	4 - 12
4.2.4.2 Stationsfördereinrichtungen .....	4 - 14
4.2.4.3 Überwachungseinrichtungen für den Kuppelvorgang .....	4 - 16
4.2.4.4 Fahrgastförderband .....	4 - 17

4.2.5	Universelle Bauelemente von Einseilbahnen .....	4 - 18
4.2.5.1	Stützen .....	4 - 18
4.2.5.2	Rollenbatterien .....	4 - 20
4.2.5.3	Sicherheitseinrichtungen in den Stationen .....	4 - 21
4.2.5.4	Sicherheitseinrichtungen an den Stützen .....	4 - 21
4.3	Zweiseilbahnen .....	4 - 22
4.3.1	Betriebsarten .....	4 - 23
4.3.1.1	Kontinuierlicher Umlaufbetrieb .....	4 - 22
4.3.1.2	Intermittierender Umlaufbetrieb .....	4 - 24
4.3.1.3	Pendelbetrieb .....	4 - 25
4.3.1.4	Windenbetrieb .....	4 - 26
4.3.2	Spezielle Bauelemente von Zweiseilumlaufbahnen .....	4 - 27
4.3.2.1	Fahrzeuge .....	4 - 27
4.3.2.2	Stützen .....	4 - 27
4.3.2.3	Stationsbauten .....	4 - 28
4.3.3	Spezielle Bauelemente von Zweiseilpendelbahnen .....	4 - 29
4.3.3.1	Fahrzeuge .....	4 - 29
4.3.3.2	Gehänge .....	4 - 30
4.3.3.3	Laufwerke .....	4 - 31
4.3.3.4	Stützen .....	4 - 31
4.3.3.5	Stationsbauten .....	4 - 32
4.3.3.6	Antriebseinheit .....	4 - 34
<b>5</b>	<b>Schleppaufzüge (Schlepplifte) .....</b>	<b>5 - 1</b>
5.1	Besonderheiten .....	5 - 1
5.2	Schleppaufzüge mit niederer Seilführung .....	5 - 2
5.3	Schleppaufzüge mit hoher Seilführung und festen Seilklemmen .....	5 - 3
5.3.1	Seilklemmen .....	5 - 4
5.3.2	Gehänge .....	5 - 4
5.3.3	Stützen .....	5 - 5
5.3.4	Antriebs- und Spannstationen .....	5 - 6
5.3.5	Kurvenstationen .....	5 - 7
5.3.6	Stationen und Stützen auf Gletschern .....	5 - 9
5.4	Schleppaufzüge mit hoher Seilführung und kuppelbaren Seilklemmen .....	5 - 11



<b>6 Seilbahnbau und -betrieb .....</b>	<b>6 - 1</b>
6.1 Leistungsdaten .....	6 - 1
6.2 Notfall-Bergung .....	6 - 2
6.3 Bau und Montage .....	6 - 4
<b>7 Bauelemente von Seilbahnen .....</b>	<b>7 - 1</b>
7.1 Antrieb .....	7 - 1
7.1.1 Motor .....	7 - 2
7.1.2 Motorsteuerung .....	7 - 3
a) Steuerung mittels Stromrichter .....	7 - 4
b) Steuerung über Umformer (Leonardumformer) .....	7 - 5
7.2 Anlagensteuerung .....	7 - 6
7.3 Bremsen .....	7 - 7
7.4 Getriebe .....	7 - 9
7.5 Seile .....	7 - 10
7.5.1 Einteilung der Drahtseile nach ihrem Verwendungszweck .....	7 - 10
7.5.2 Seilarten, Seilkonstruktionen .....	7 - 11
7.5.3 Vollverschlossene Spiralseile .....	7 - 13
7.5.3.1 Aufbau .....	7 - 13
7.5.3.2 Herstellung .....	7 - 13
7.5.4 Litzenseile .....	7 - 15
7.5.4.1 Aufbau von Litzen .....	7 - 15
7.5.4.2 Aufbau von Litzenseilen .....	7 - 19
7.5.5 Seilverbindungen .....	7 - 20
<b>8 Grundlagen der Seilbahnberechnung .....</b>	<b>8.1 - 1</b>
8.1 Statik der Seile .....	8.1 - 1
8.1.1 Einführung .....	8.1 - 1
8.1.2.1 Stehendes Seil unter Eigengewicht .....	8.1 - 3
8.1.2.2 Seilkraft .....	8.1 - 6
8.1.2.3 Näherungsgleichung zur Seilkurve .....	8.1 - 7
8.1.2.4 Seildurchhang .....	8.1 - 8
8.1.2.5 Seillänge .....	8.1 - 9
8.1.2.6 Stützentangenten .....	8.1 - 10

8.1.3	Stehendes Seil unter Eigengewicht und Einzellast .....	8.1 - 11
8.1.4	Seillinien .....	8.1 - 14
8.1.5	Leerseillinie .....	8.1 - 16
8.1.5.1	Seilkraft .....	8.1 - 16
8.1.5.2	Durchhang und Seillänge .....	8.1 - 18
8.1.6	Vollseillinie .....	8.1 - 19
8.2	Seil- und Antriebsauslegung .....	8.2 - 1
8.2.1	Einführung .....	8.2 - 1
8.2.2	Tragseile .....	8.2 - 2
8.2.2.1	Tragseilkräfte .....	8.2 - 2
8.2.2.2	Dimensionierung .....	8.2 - 3
8.2.3	Zug- und Förderseile .....	8.2 - 4
8.2.3.1	Zugseilkräfte .....	8.2 - 4
8.2.3.2	Dimensionierung .....	8.2 - 9
8.2.4	Treibfähigkeitsnachweis .....	8.2 - 10
8.2.4.1	Erforderliche Umfangskraft .....	8.2 - 10
8.2.4.2	Verfügbare Umfangskraft .....	8.2 - 11
8.2.4.3	Grundlagen der Kraftübertragung .....	8.2 - 12
8.2.4.4	Umfangskraftverlauf während einer Fahrt .....	8.2 - 13
8.2.4.5	Überprüfung der Treibsicherheit .....	8.2 - 15
8.2.5	Motordimensionierung .....	8.2 - 17
8.2.6	Dimensionierung der Seilauflager .....	8.2 - 19

## 1 Grundlagen, Einführung

Seilbahnen zählen zu den ältesten technischen Transportmitteln. Wie Skizzen aus dieser Zeit beweisen, benutzten die Chinesen bereits um 400 v. Chr. eine Zweiseilschwebbahn zum Transport von Steinen beim Bau einer Festung, sowie etwas später Seilfähren zur Überwindung von Flüssen und Schluchten. Die Triebfeder der Seilbahnentwicklung war bis Anfang des 20. Jahrhunderts hauptsächlich die Durchführung des Waren- und Personenverkehrs über unwegsames Gelände auf dem kürzesten Weg. Im Alpenkrieg 1914-1918 benutzten die Militärs Seilbahnen zum Stellungsbau,

sowie zur Sicherung des Nachschubs, und förderten so die technische Entwicklung. Erst danach wurde die touristische Erschließung der Gebirge zum Motor des Seilbahnbaus. Unter schwierigen geographischen Bedingungen stellen Seilbahnen meist heute noch die einzige regelmäßig verkehrende und leistungsfähige Transportmöglichkeit für Personen und Güter dar. Darüber hinaus zählen sie zu den sichersten Verkehrsmittel unserer Zeit. Heute sind weltweit ca. 30.000 Anlagen zur Personenbeförderung in Betrieb, davon ca. 1.400 in Deutschland.

Entsprechend ihrer Verkehrsfunktion dienen Seilbahnen heute zur:

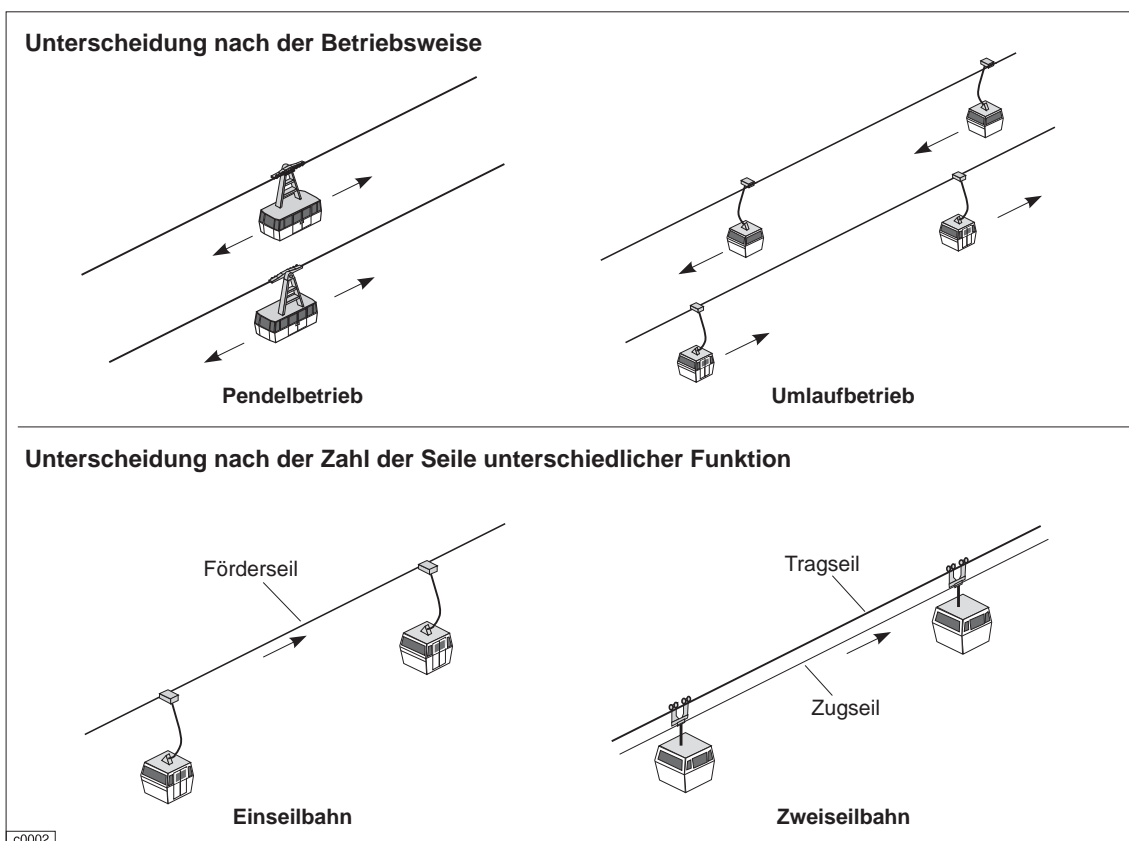
### Personenbeförderung:

- Sportbahn
- Zubringerbahn
- Nahverkehrsmittel
- Besichtigungsbahn (z.B. Vergnügungspark)

### Güterbeförderung:

- Materialbahn
- Versorgungsbahn
- Lawinensprengbahn

### 1.1 Unterteilung und Begriffsbestimmung





Begriffsbestimmungen der verschiedenen Seilbahn- und Schleppliftarten mit Auszügen aus den Empfehlungen des Europäischen Komitees für Normung (CEN):

- Seilbahn:** Anlage des Personenverkehrs, bei der die Fahrgäste entweder „in Fahrzeugen befördert oder mittels Schleppvorrichtungen gezogen werden, die durch ein oder mehrere Seile getragen und bewegt werden, und die keine Aufzüge sind“.
- Standseilbahn:** Bahn, bei der „die Fahrzeuge durch ein oder mehrere Seile auf einer auf dem Boden befindlichen Fahrbahn bewegt“ werden. In der Regel verkehrt ein Kabinenfahrzeug mit Rädern auf Schienen an einem Zugseil im Pendelbetrieb. Ein- und Ausstieg der Fahrgäste erfolgen bei stehendem Fahrzeug.
- Schrägaufzug:** Abgewandelte Form der Standseilbahn mit nur einem Fahrzeug und Winde oder Gegengewicht zur Beförderung von Personen oder Gütern über eine kurze geneigte Strecke. Auch mit überbreiter Spur und mehreren Zugseilen zum Transport schwerster Einzellasten.
- Seil-Hängebahnen:** (Hochschienenbahn, Schienenhängebahn) Mischform von Standseilbahn und Seilschwebbahn. Das Tragseil einer Zweiseil-Schwebbahn ist hier durch eine aufgeständerte Schiene ersetzt.
- Seilschwebbahn:** „Luftseilbahn, bei welcher die Fahrzeuge von einem oder mehreren Seilen getragen werden.“
- Einseilbahn:** Die Fahrzeuge werden von einem sogenannten Förderseil gleichzeitig getragen und bewegt.
- Doppel-Einseilbahn:** Die Fahrzeuge werden von zwei synchron laufenden, parallelen Förderseilschleifen (DMC - Double Monocable) oder einer Doppelschleife (DLM - Double Loop Monocable) gleichzeitig getragen und bewegt.
- Zweiseilbahn:** Die Fahrzeuge werden durch zwei getrennte Seile oder Seilgruppen, als Tragseile und Zugseile bezeichnet, getragen und bewegt.
- Pendelbahn:** „Die Fahrzeuge verkehren zwischen den Stationen im Pendelbetrieb.“ Ein- und Ausstieg der Fahrgäste erfolgen bei stehendem Fahrzeug. Bei Pendelbahnen handelt es sich im allgemeinen um Zweiseilbahnen mit getrennten Trag- und Zugseilen, bei denen zwei Kabinen zwischen Berg- und Talstation verkehren.
- Umlaufbahn:** „Seilschwebbahn, bei der die Fahrzeuge in gleichbleibender Fahrtrichtung verkehren.“ Die Fahrzeuge sind an einem oder mehreren Förderseilen befestigt, das mit kontinuierlicher oder intermittierender Geschwindigkeit umläuft. Ein- und Ausstieg der Fahrgäste erfolgen in den Stationen bei gleichbleibender oder verlangsamer Bewegung der Fahrzeuge. Als Fahrzeuge werden in der Regel eine größere Anzahl Kabinen oder Sessel verwendet. Die Kabinen bieten Platz für 2 bis 30 Personen. An Sesselbahnen kommen Einer- bis Achter-Sessel-Kombinationen zur Verwendung. Bei Umlaufbahnen wird grundsätzlich nach der Art der Seilklemmen unterschieden:

*Umlaufbahn mit festen Seilklemmen:*

Die Klemmen am Zug- bzw. Förderseil sind betriebsmäßig nicht lösbar, d.h. die Verbindung der Fahrzeuge mit dem Seil kann nur bei Wartungsarbeiten aufgehoben werden. Die Fahrzeuge durchfahren die Stationen mit Seilgeschwindigkeit.

*Umlaufbahn mit kuppelbaren Seilklemmen:*

Die Klemmen am Zug- bzw. Förderseil sind betriebsmäßig lösbar. Die Klemmen werden bei Stationseinfahrt geöffnet und die Fahrzeuge zum bequemen Ein- und Aussteigen der Fahrgäste auf eine geringe Stationsumlaufgeschwindigkeit abgebremst. Vor der Stationsausfahrt werden die Fahrzeuge wieder auf die konstante Seilgeschwindigkeit beschleunigt und durch Schließen der Klemmen an das Seil gebunden.

**Schleppaufzug:**

(Schlepplift) „Seilbahn, bei welcher die Benutzer auf Skiern oder anderen geeigneten Sportgeräten mittels einer Schleppvorrichtung auf einer Schleppspur befördert werden.“ Bei Schleppliften wird konstruktiv sowohl nach der Bauart der Seilklemmen als auch nach der Lage der Seilführung unterschieden:

*niedere Seilführung:*

„Schleppaufzug mit in Höhe der Benutzer geführtem Förderseil, an dem sich diese entweder direkt oder mittels kurzer Schleppvorrichtungen festhalten.“

*hohe Seilführung mit festen Seilklemmen:*

Bei hoher Seilführung sind T-förmige Bügel oder Bügel mit einem Teller über Trommeln mit aufgerollten Schleppseilen an einem umlaufenden Zugseil festgeklemmt. Der oder die Skifahrer lehnen sich gegen den Bügel und werden bergwärts geschleppt. Beim Loslassen des Bügels rollt eine Einziehvorrichtung das Schleppseil in den Trommeln auf.

*hohe Seilführung mit Kuppelklemmen:*

Die Bügel an langen Stangen werden über kuppelbare Seilklemmen an das Zugseil geklemmt.

## 1.2 Historische Entwicklung

Anfänglich in China, Japan und Indien, später auch in Europa existierten einfachste Seilbahnen mit Hanfseilen und Fahrzeugen aus Korbgeflecht oder Holz zur Überwindung von Flüssen und Schluchten. Als ältestes Seilbahnsystem des Industriezeitalters hatten die Standseilbahnen um die Jahrhundertwende ihre maximale Verbreitung und wurden danach durch den zunehmenden Bau von Seilschwebbahnen ins Abseits gedrängt. Im Jahr 1933 kamen die Schlepplifte als weiteres Seilbahnsystem hinzu. Bei den Seilschwebbahnen übernahmen in den vergangenen 20 Jahren die schweren Einseilumlaufbahnen die führende Rolle von den klassischen Zweiseilpendelbahnen, da das Hauptaugenmerk auf hoher Leistungsfähigkeit für den Wintersport lag. Wegen ihres günstigeren Preis-Leistungs-Verhältnisses bei der Anschaffung verdrängten sie zum Teil auch die Zweiseilumlaufbahnen. Eine weitere Erhöhung der Beförderungskapazität ermöglichen seit einigen Jahren die Doppel-Einseilumlaufbahnen. Zusätzlich zur Reduzierung der Erstellungs- und Betriebskosten spielt die Komfortverbesserung für die Fahrgäste bei Neubauten, sowie bei der Modernisierung älterer Bahnen eine wichtige Rolle.

Nachfolgend einige Meilensteine der Seilbahnentwicklung:

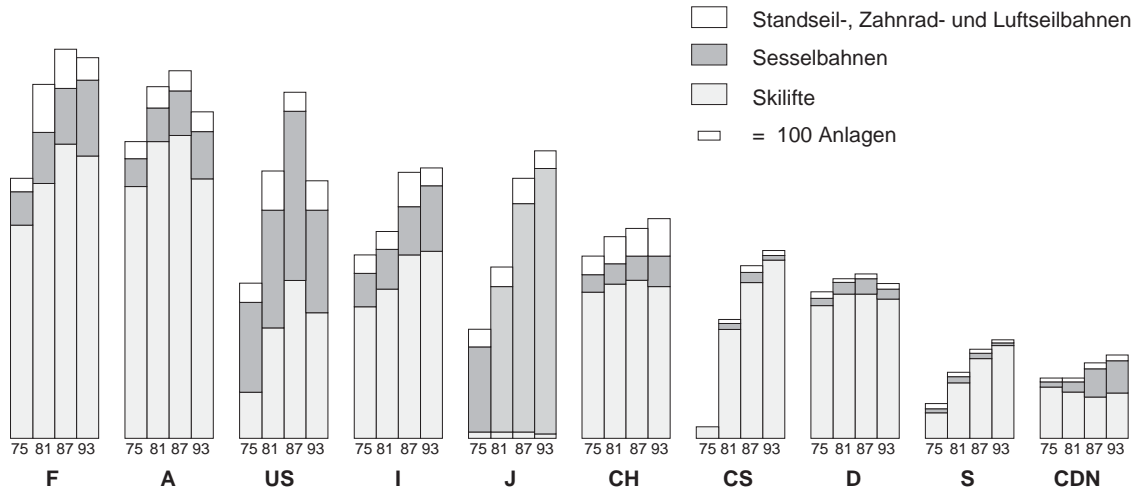
- 400 - 250 v. Chr. chin. Tuschezeichnungen von einfachsten Seilbahnen zur Überwindung von Flüssen und zum Materialtransport für den Bau einer Festung
- 1800 diverse Seilbahnen zum Festungsbau in Europa
- 1834 Oberberggrat Wilhelm Albert erfindet das Drahtseil in Clausthal/Harz
- 1837 Erfindung der Verseilmaschine durch den Wiener Mechaniker Wurm ermöglicht erstmals die fabrikmäßige Herstellung von Seilen
- 1866 nicht öffentliche Seilschwebbahn mit einer Kabine für 2 Personen und Handwinden-Antrieb am Rheinflall bei Schaffhausen
- 1873 Cable-Car in San Francisco
- 1908 Freigabe der ersten Pendelbahn für öffentlichen Personenverkehr Bozen - Kohlern  
Betriebsaufnahme des Wetterhorn-Aufzugs bei Grindelwald, Schweiz, mit bis zu 200% Steigung
- 1912 Eröffnung der Vigiljochbahn in Lana, Südtirol
- 1915 Österreichisch-italienischer Alpenkrieg mit am Ende etwa 1000 Militär-Seilbahnen  
Der Südtiroler Luis Zuegg entdeckt dabei die Voraussetzung moderner Seilspannungsgesetze: Je höher die Vorspannung eines Seils, desto größer ist sein Aufnahmevermögen für Biegebeanspruchung
- 1922 erste nach der „Bauart Bleichert-Zuegg“ errichtete Bahn Meran-Hafelekar (Hafling) mit straff gespannten Tragseilen  
Beginn der starken Verbreitung der Personenseilbahnen
- 1924 erste Seilschwebbahn Deutschlands: Fichtelbergbahn in Oberwiesenthal
- 1925 Kreuzeckbahn bei Garmisch-Partenkirchen, erste der insgesamt 7 „großen“ deutschen Personenseilbahnen von damals
- 1928 Predigtstuhlbahn bei Bad Reichenhall
- 1930 Schauinslandbahn bei Freiburg i. Breisgau (Großkabinen-Zweiseilumlaufbahn)

- 1933 erster Schlepplift moderner Bauart (Einziehbügel) in Davos, Schweiz
- 1935 erste Sesselbahn der Welt in Sun Valley, Idaho, USA
- 1945 kuppelbare Sesselbahn mit Doppelsessel quer zur Fahrtrichtung in Flims, Schweiz
- 1962 Eibsee-Seilbahn zum Zugspitzgipfel mit 2 Trag- und 2 Zugseilen (1950m Höhenunterschied)
- 1978 kuppelbare 3er- und 4er-Sesselbahn
- 1981 Einseilumlaufbahn mit 6er-Kabinen in Gaschurn, Österreich
- 1984 Doppel-Einseilumlaufbahn mit 20er-Kabinen und 2 getrennten Förderseilschleifen (DMC) in Serre-Chevalier, Frankreich
- 1988 Doppel-Einseilumlaufbahn mit 24er-Kabinen und einer doppelt gelegten Förderseilschleife (DLM) in Sölden, Österreich
- 1991 6er-Sesselbahn in Orgnal, Kanada  
Zweiseilumlaufbahn mit 30er-Kabinen an 1 Zug- und 2 Tragseilen in Saas-Fee, Schweiz  
Gletscherbahn Zugspitzblatt - Zugspitzgipfel
- 1994 Zweiseilpendelbahn mit doppelstöckigen Kabinen für 180 Personen in Samnaun, Schweiz
- 1998 kuppelbare 8er-Sesselbahn in Vradal, Norwegen



### 1.3 Derzeitiger Stand

Die 10 grössten Seilbahnländer der Welt



Quelle: Seilbahn Manual 1993

c0020

Die 30 größten Seilbahnländer der Welt

Frankreich	4.084	Slowenien	271
USA	3.801	Australien	139
Österreich	3.527	Grossbritannien	132
Japan	3.065	Argentinien	102
Italien	2.827	Andorra	95
Schweiz	2.183	Neuseeland	92
Deutschland	1.670	Chile	82
Slowakei	1.094	Griechenland	66
Kanada	1.056	Rumänien	65
Schweden	1.055	Südkorea	60
Tschechien	874	Ungarn	46
Norwegen	619	Island	45
Finnland	503	Türkei	45
Polen	445	Iran	35
Spanien	351		

Quelle: Seilbahn Manual, 1993

c0023

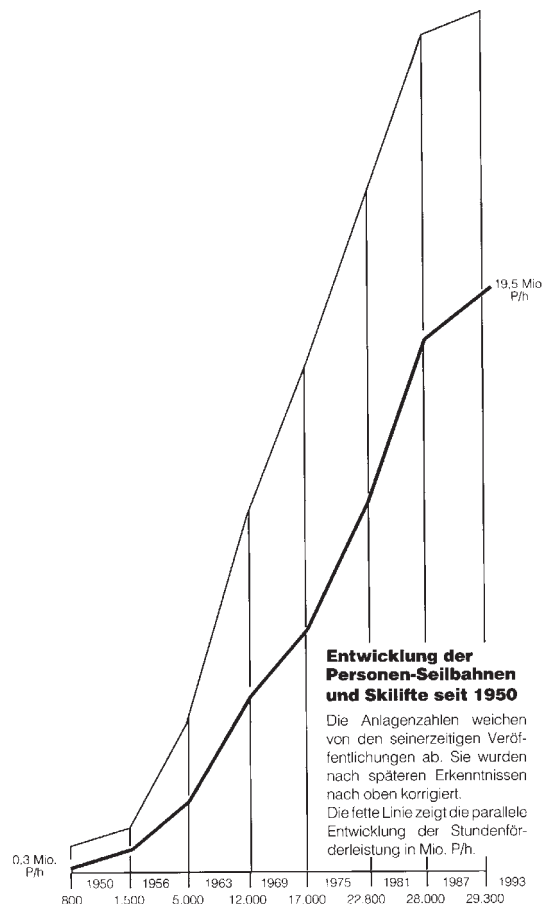
Anzahl der Seilbahnen, Schleplifte und Zahnradbahnen in Deutschland, Stand 1998

Bundesland	Seilbahnen	Zahnradbahnen	gesamt*	Anteil* %	Schleplifte
Bayern	99	2	101	63,5	814
Baden-Württemberg	15	1	16	10,5	366
Rheinland-Pfalz	8	–	8	5	28
Nordrhein-Westfalen	5	1	6	4	94
Hessen	7	–	7	4,5	10
Saarland	3	–	3	2	1
Niedersachsen	6	–	6	4	30
Sachsen	7	–	7	4,5	98
Thüringen	2	–	2	1	36
Sachsen-Anhalt	2	–	2	1	–
gesamt	154	4	158	100	1477

\* nur Seil- und Zahnradbahnen

Quelle: VDS - Zahlen, Daten, Fakten, 1998

c0022



Entwicklung der Personen-Seilbahnen und Skilifte seit 1950

Die Anlagenzahlen weichen von den seinerzeitigen Veröffentlichungen ab. Sie wurden nach späteren Erkenntnissen nach oben korrigiert. Die fette Linie zeigt die parallele Entwicklung der Stundenförderleistung in Mio. P/h.

Quelle: Seilbahn Manual 1993

c0021

## 1.4 Vorschriften und Normen

### Seilbahn-Vorschriften vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr:

- Vorschriften für den Bau und Betrieb von Seilbahnen (BOSeil), Stand Nov. 1990
- Ausführungsbestimmungen (AB) zu den Vorschriften für den Bau und Betrieb von Seilbahnen (BOSeil), Teil I: Seilschwebbahnen, Stand Nov. 1990
- Ausführungsbestimmungen (AB) zu den Vorschriften für den Bau und Betrieb von Seilbahnen (BOSeil), Teil II: Standseilbahnen, Stand Nov. 1990
- Vorschriften für den Bau und Betrieb von Schleppaufzügen (BOSchlepp), Stand Nov. 1990
- Ausführungsbestimmungen (AB) zu den Vorschriften für den Bau und Betrieb von Schleppaufzügen (BOSchlepp), Stand Nov. 1990
- Technische Lieferbedingungen für Drahtseile von Seilschwebbahnen und Standseilbahnen gemäß BOSeil (TL), Stand April 1984

### andere einschlägige Vorschriften in Bayern:

- Bayerisches Eisenbahn- und Bergbahngesetz (BayEBG)
- Bergbahnverordnung (BergbV)
- Bergbahnbekanntmachungen (BergbBek)
- Unfallverhütungsvorschrift „Seilschwebbahnen und Schlepplifte“

### Normen:

DIN EN 1709	Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen und Schleppaufzüge des Personenverkehrs - Erprobung, Instandhaltung und Betriebskontrollen
DIN EN 1907	Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen und Schleppaufzüge des Personenverkehrs - Begriffsbestimmungen
DIN EN 1908	Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen und Schleppaufzüge des Personenverkehrs - Spanneinrichtungen
DIN EN 1909	Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen und Schleppaufzüge des Personenverkehrs - Räumung und Bergung
DIN EN 12397	Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen und Schleppaufzüge des Personenverkehrs - Betrieb
DIN EN 12408	Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen und Schleppaufzüge des Personenverkehrs - Qualitätssicherung
DIN EN 12927	Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen und Schleppaufzüge des Personenverkehrs - Seile
DIN EN 12929	Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen und Schleppaufzüge des Personenverkehrs - Allgemeine Bestimmungen
DIN EN 12930	Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen und Schleppaufzüge des Personenverkehrs - Berechnungen
DIN EN 13107	Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen und Schleppaufzüge des Personenverkehrs - Bauwerke
DIN EN 13223	Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen und Schleppaufzüge des Personenverkehrs - Mechanische Einrichtungen
DIN EN 13243	Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen und Schleppaufzüge des Personenverkehrs - Elektrische Einrichtungen

### Begleitende Normen:

DIN	779		Formstahldrähte für verschlossene Drahtseile
DIN	1045		Beton und Stahlbeton; Bemessung und Ausführung
DIN	1054		Baugrund; Zulässige Belastung des Baugrunds
DIN	1055	Blatt 4	Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten, Windlast bei nicht schwingungsanfälligen Bauwerken
DIN	1076		Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen; Überwachung und Prüfung
DIN	2078		Stahldrähte für Drahtseile
DIN	3051	Teil 2	Drahtseile aus Stahldrähten; Grundlagen, Seilarten, Begriffe
DIN	3051	Teil 3	Drahtseile aus Stahldrähten; Grundlagen, Berechnung, Faktoren
DIN	3089	Teil 2	Drahtseile aus Stahldrähten; Spleiße, Langspleiß
DIN	3092	Teil 1	Drahtseil-Vergüsse in Seilhülsen; Metallische Vergüsse, Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung
DIN	18800	Teil 1	Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion
DIN	18800	Teil 2	Stahlbauten; Stabilitätsfälle, Knicken von Stäben und Stabwerken
DIN	18800	Teil 7	Stahlbauten; Herstellen, Eignungsnachweise zum Schweißen
DIN	18801		Stahlhochbau; Bemessung, Konstruktion, Herstellung
DIN	18808		Stahlbauten; Tragwerke aus Hohlprofilen unter vorwiegend ruhender Beanspruchung
DIN	50049		Bescheinigungen über Werkstoffprüfungen
DIN	51201		Prüfung von Drahtseilen
DIN	51210	Teil 1	Prüfung metallischer Werkstoffe; Zugversuch an Drähten
DIN	51211		Prüfung metallischer Werkstoffe; Hin- und Herbiegeversuch an Drähten
DIN	51212		Prüfung metallischer Werkstoffe; Verwindeversuch an Drähten
DIN	51213		Prüfung metallischer Überzüge auf Drähten; Überzüge aus Zinn oder Zink
DIN	VDE 0210		Bau von Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen über 1kV; Abschnitt 13: Kreuzungen, Näherungen und Unterkreuzungen
DIN	VDE 0551		Trenntransformatoren und Sicherheitstransformatoren
DIN	VDE 0660		Schaltgeräte

## 1.5 Literatur

### Bücher:

- Czitary, E.: Seilschwebebahnen; 2. Aufl. Wien; Springer-Verlag, 1962
- Hefti, W.: Schienenseilbahnen in aller Welt; Basel und Stuttgart; Birkhäuser Verlag, 1975
- Richter, T.: Schwingungsverhalten von Einseilumlaufbahnen beim Anfahren und Bremsen; Diss. ETH Zürich, 1989
- Winkler, G.: Rechenmodell zur Simulation der Statik und Dynamik von Tragseilen bei Großkabinen Seilschwebebahnen; VDI-Fortschrittsbericht, 1993
- Beha, R.: Bewegungsverhalten und Kraftwirkungen des Zugseils und der Fahrzeuge von Zweiseilbahnen zur Berechnung der Dynamik des Gesamtsystems; Diss. Uni Stuttgart, 1994
- Feyrer, K.: Drahtseile; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1994
- Doppelmayer, A.: Denkanstöße zur Funktionserfüllung von Einseilumlaufbahnen; Verlag WIR Public Relations, Dornbirn, 1998

### Zeitschriften:

- Internationale Seilbahn-Rundschau (ISR); Bohmann-Verlag, Wien
- Mountain Manager (MM); EuBuCo Verlag AG, Neuchâtel (CH)

## 2 Standseilbahnen

### 2.1 Besonderheiten

Standseilbahnen erreichen gegenüber den wesentlich häufiger gebauten Seilschwebebahnen auf Grund hoher Fahrgeschwindigkeiten (bis 12 m/s) sowie großem Fassungsvermögen der Fahrzeuge (bis 450 Personen je Wagen) in der Regel höhere Beförderungskapazitäten. Bei einer kurzen Strecke ist bereits ein Wert von 8000 Pers./h erreicht worden, der mit der Beförderungskapazität einer U-Bahn vergleichbar ist. Die feste Fahrbahn, oft sogar in einem Tunnel, macht eine Standseilbahn zu einem weitgehend wetterunabhängigen Verkehrsmittel. Für eine oberirdisch verlaufende Strecke ist eine gleichmäßige Hangneigung Voraussetzung. Standseilbahnen sind im Gegensatz zu Schwebebahnen kurvengängig. Der geländeabhängige Trassenbau erfordert in der Regel einen größeren Aufwand. Ein weiterer Nachteil, der aber auch bei

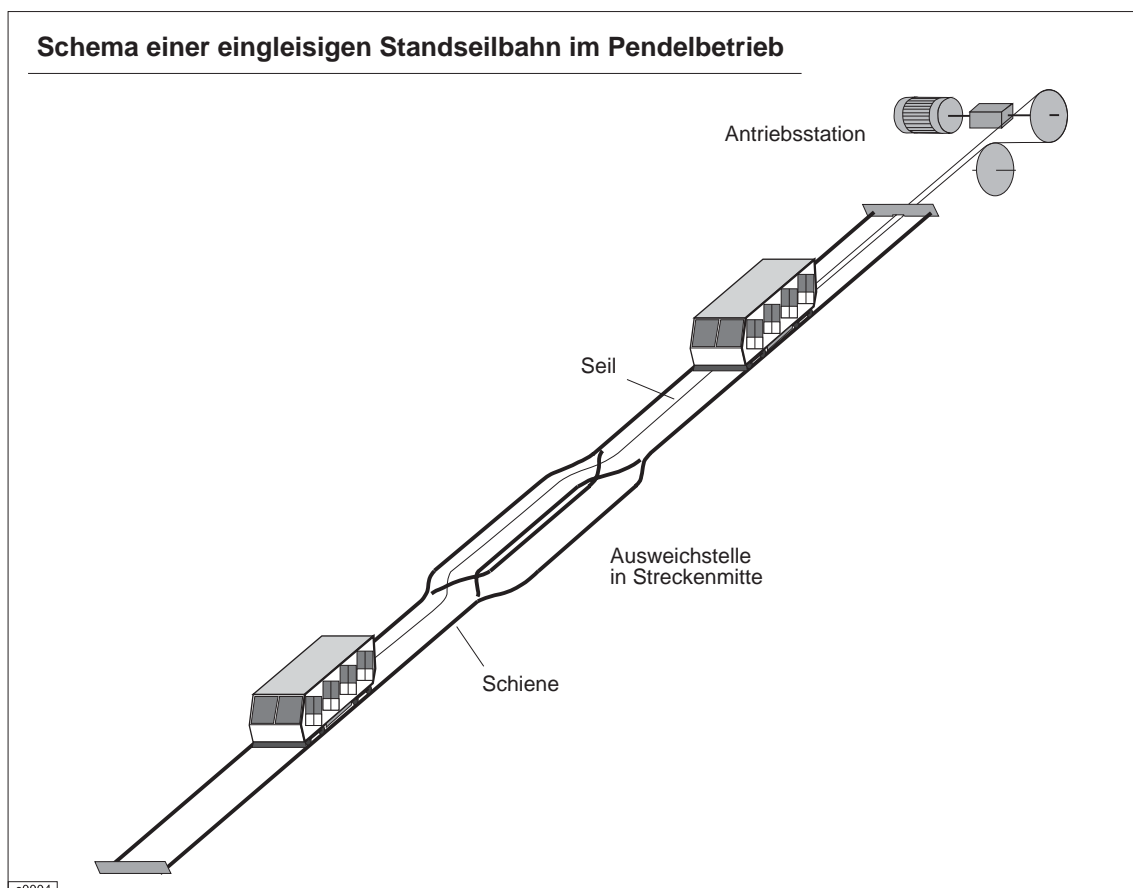
Großkabinen-Seilschwebebahnen auftritt, ist der aus dem üblichen Pendelbetrieb resultierende, schubweise Fahrgaststrom. Nach jeder Wagenankunft bewegt sich eine größere Menschenmenge durch die Stationen ins Freie, was zu Problemen bei der Leitung des Fahrgaststroms führen kann. Unter extremen geographischen Bedingungen, wie z.B. auf einem Gletscher, kann eine Standseilbahn die einzig mögliche Lösung des Beförderungsproblems sein.

Eine Sonderbauart der Standseilbahnen stellen Schrägaufzüge dar. Ein einzelner Wagen fährt auf einer eingleisigen, kurzen, steilen Strecke auf und ab. Das Zugseil wird über eine Winde oder eine Treibscheibe angetrieben. Im letzten Fall gleicht ein entlang der Strecke verfahrbares Gegengewicht die Fahrzeugmasse aus.

### 2.2 Betriebsarten

- Pendelbetrieb
- Umlaufbetrieb

Schema einer eingleisigen Standseilbahn im Pendelbetrieb





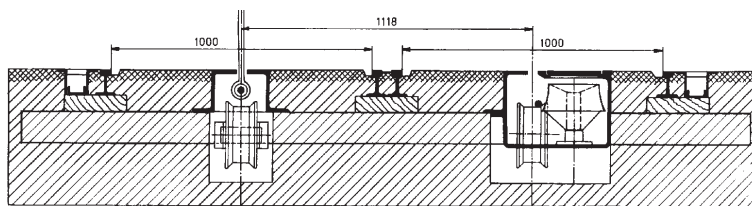
Eingleisige Standseilbahn

Quelle: WAAGNER-BIRÓ

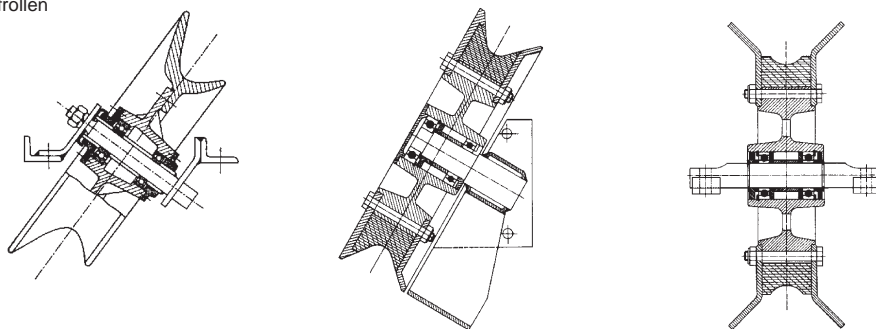
## 2.3 Bauelemente

### Bauelemente von Standseilbahnen

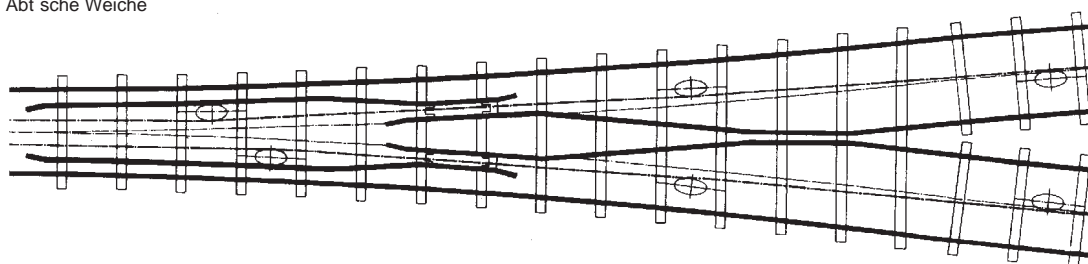
Gleisquerschnitt einer Standseilbahn mit gemeinsamer Trasse für Bahn und Kraftfahrzeuge



Seillaufrollen



Abt'sche Weiche



c0007

Quelle: Hefti, Schienenseilbahnen





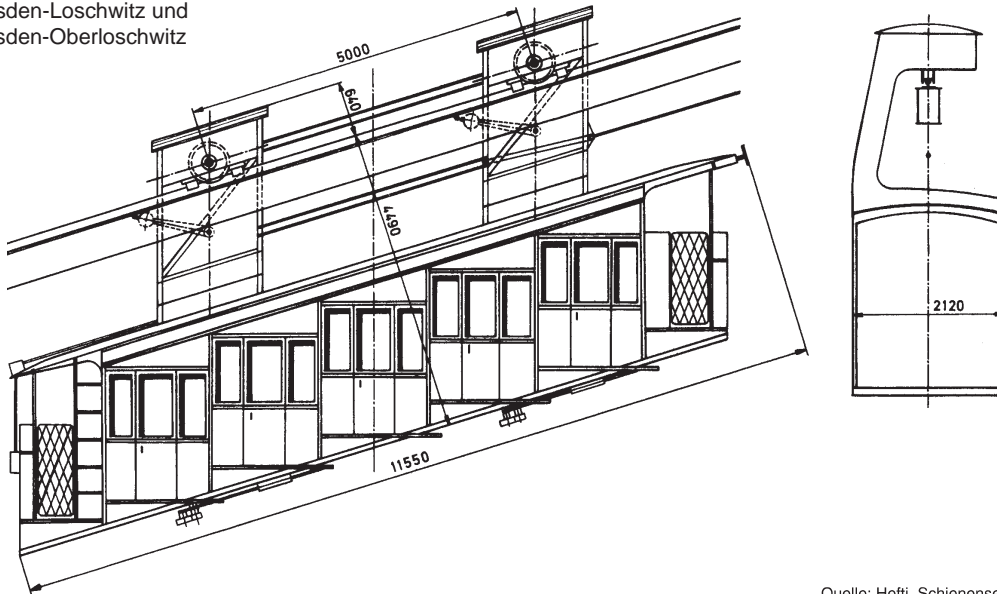
### 3 Seil-Hängebahnen

Seil-Hängebahnen, eine Untergruppe der Hochschienenbahnen stellen eine Mischform von Standseilbahn und Seilschwebbahn dar. Als Tragmittel dient eine aufgeständerte Schie-

ne, die viel kleinere Kurvenradien als eine Standseilbahn erlaubt. Die darauf verfahrenbaren Fahrzeuglaufwerke werden durch ein Zugseil bewegt.

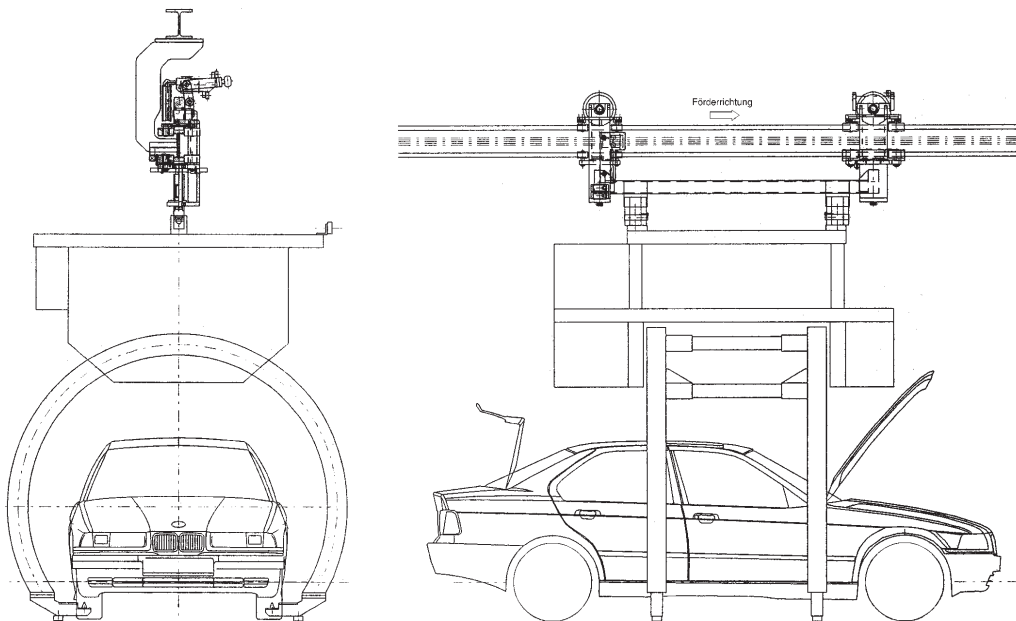
#### Seil-Hängebahn zum Personentransport

Seil-Hängebahn zwischen  
Dresden-Loschwitz und  
Dresden-Oberloschwitz



Quelle: Hefti, Schienenseilbahnen

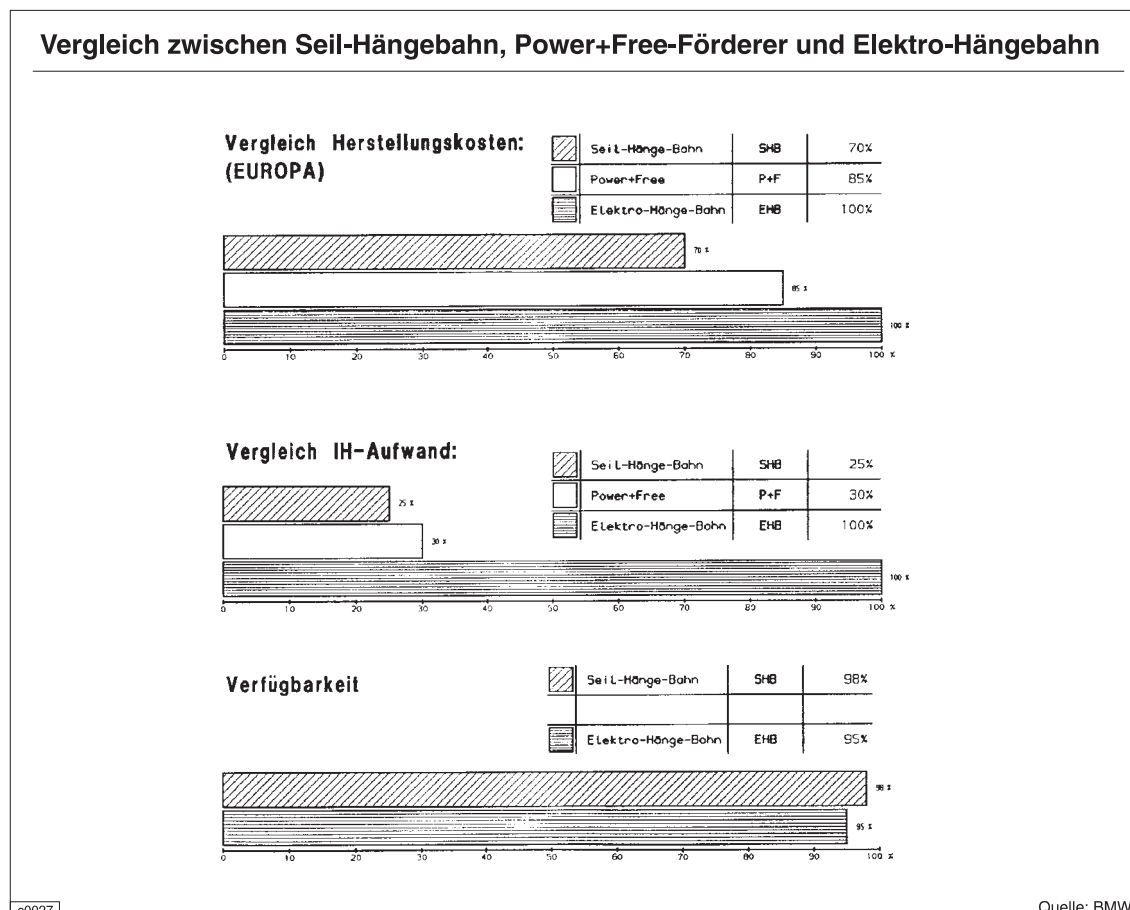
#### Seil-Hängebahn als Glied des innerbetrieblichen Materialflusses



Quelle: BMW



Seil-Hängebahn in einem Automobilwerk





## 4 Seilschwebbahnen

### 4.1 Besonderheiten und Unterschiede

Seilschwebbahnen benötigen eine geringe technische Infrastruktur und sind verhältnismäßig einfach zu erstellen, da die Trasse kaum Kunstbauten erfordert. Der aus gespannten Seilen bestehende Fahrweg macht sie weitgehend geländeunabhängig. Im Gegensatz zu bodengebundenen Anlagen entstehen auch keine Überschneidungen auf gleicher Ebene mit anderen Verkehrsmitteln. Eine hohe Betriebssicherheit ist somit gewährleistet.

Nach der Funktion der Seile werden die Seilschwebbahnen in Einseilbahnen und Zweiseilbahnen eingeteilt. Zur Steigerung der Beförderungskapazität eines Bahntyps werden primär die Durchmesser der verwendeten Seile

erhöht. Die größeren zulässigen Biegeradien, sowie das zunehmende Eigengewicht, begrenzen dieses Vorgehen. Beim Bau noch schwererer Bahnen kommen zwei oder mehr Seile mit derselben Funktion zur Anwendung. Die beiden Seilbahn-Grundbauarten werden je nach Anzahl der Förder- bzw. Trag- und Zugseile wieder untergliedert in reine Einseilbahnen und Doppel-Einseilbahnen bzw. in reine Zweiseilbahnen und Mehrseilbahnen. Sowohl Ein- als auch Zweiseilbahnen können im kontinuierlichen oder intermittierenden Umlaufbetrieb oder im Pendelbetrieb eingesetzt sein. Windenbahnen stellen einen Sonderfall der Zweiseilpendelbahnen dar.

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 Niederhaltestützen                             <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 Lawinestrichen 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

## 4.2 Einseilbahnen

### 4.2.1 Betriebsarten von Bahnen mit einem Förderseil

#### 4.2.1.1 Kontinuierlicher Umlaufbetrieb

Relativ geringe Anlagen- und Betriebskosten in Kombination mit sehr hohen Beförderungskapazitäten verschaffen der Einseilumlaufbahn das beste Preis-Leistungs-Verhältnis unter den Schwebbahntypen. Die aus Sicherheitsgründen begrenzte Seilhöhe schließt jedoch einen Einsatz im extremen Gelände aus.

Die am meisten verbreiteten Einseilumlaufbahnen, Sesselbahnen mit fest geklemmten Fahrzeugen, sind wegen der geringen Anzahl bewegter Teile auch robust gegen Störeinflüsse und benötigen nur einfache Stationsbauten. Der Ein- und Ausstiegsvorgang begrenzt wegen der konstanten Seilumlaufgeschwindigkeit die Förderleistung.

Die Beschränkung durch den Ein- und Ausstieg wird bei den kuppelbaren Bahnen durch die un-

terschiedliche Fahrgeschwindigkeit in den Stationen und auf freier Strecke aufgehoben. Bei Fahrtbeginn werden die auf Schienen laufenden Fahrzeuge durch entsprechende Vorrichtungen von der geringen Stationsumlaufgeschwindigkeit ( $< 0,5 \text{ m/s}$ ) auf die Förderseilgeschwindigkeit (bis  $6 \text{ m/s}$ ) beschleunigt und durch Schließen des Klemmapparats mit dem Seil verbunden. Bei Fahrtende findet der umgekehrte Vorgang statt. Die geringe Fahrzeuggeschwindigkeit bringt vor allem beim Einstieg eine erhebliche Komfortsteigerung für die Fahrgäste. Die notwendigen Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsstrecken erhöhen die Bau- und Instandhaltungskosten und bedingen längere Stationsbauten.



©0011

Quelle: Doppelmayr

Einseilumlaufbahn mit kuppelbaren 8er-Kabinen



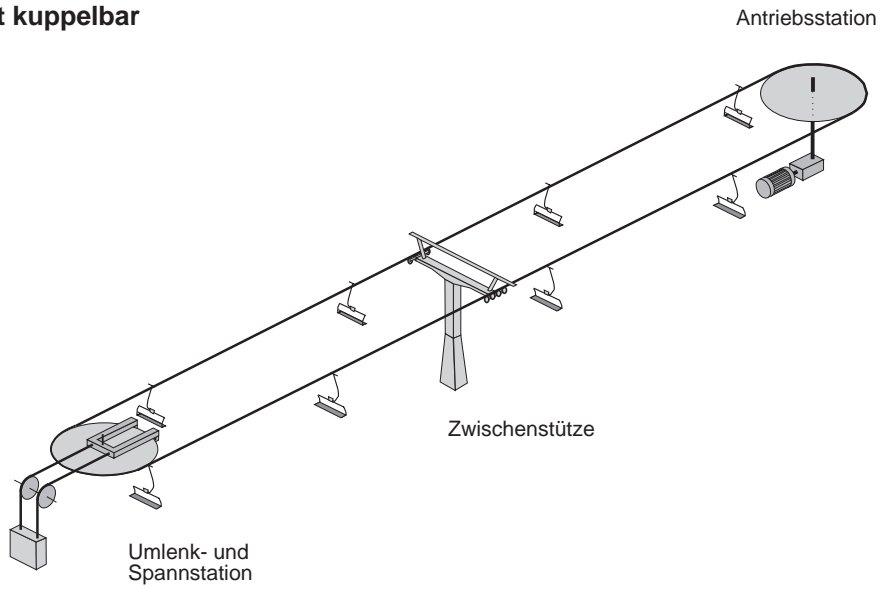
©0012

Quelle: Doppelmayr

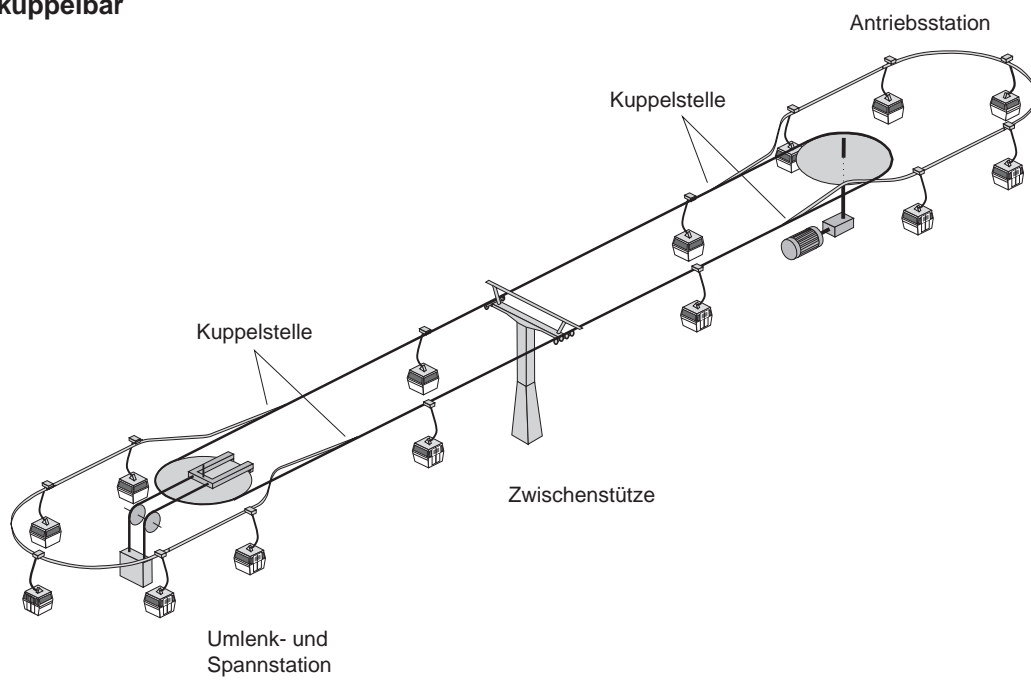
Einseilumlaufbahn mit kuppelbaren 4er-Sesseln

## Einseilumlaufbahnen

nicht kuppelbar



kuppelbar



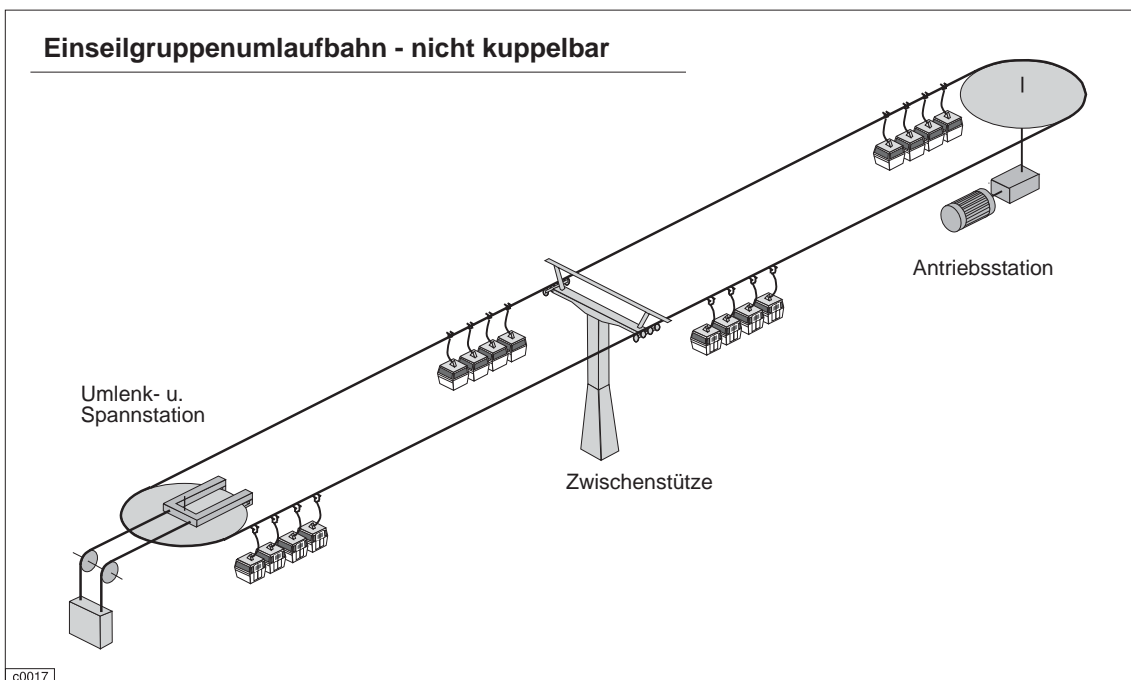
c0010

### 4.2.1.2 Intermittierender Umlaufbetrieb

Bei Umlaufbahnen mit intermittierendem Betrieb sind in der Regel 2 oder 4 Wagengruppen mit jeweils mehreren Fahrzeugen à 12...15 Personen in gleichen Abständen an das Förderseil fest geklemmt. Zwei im Förderseilring gegenüberliegende Wagengruppen erreichen immer gleichzeitig die Tal- bzw. Bergstation. Bei der Ankunft wird das Förderseil bis zum Stillstand abgebremst. Während die Fahrgäste komfortabel ein- und aussteigen können, stehen bei einer Bahn mit 4 Wagenzügen die

anderen beiden Gruppen in der Streckenmitte. Nach der auf den Zwischenhalt folgenden Weiterfahrt über die zweite Streckenhälfte erreichen diese die Stationen.

Intermittierende Einseilumlaufbahnen werden auf kürzeren Strecken meist als Zubringer- und Verbindungsbahnen in großen Skigebieten eingesetzt oder dienen als Sportbahn, wenn nur mäßige Förderleistung bei gutem Komfort gefragt ist.



Einseilgruppenumlaufbahn



### 4.2.1.3 Pendelbetrieb

Einseilpendelbahnen sind prinzipiell für ähnliche Anwendungsgebiete geeignet wie intermittierende Umlaufbahnen.

Selten wird dieses Bahnsystem für ausschließliche Personenbeförderung eingesetzt.



*Einseilpendelbahn*

## 4.2.2 Betriebsarten von Doppel-Einseilbahnen

### 4.2.2.1 Kontinuierlicher Umlaufbetrieb

Die zwei Förderseile der Doppel-Einseilbahnen sind parallel geführt und haben je nach Ausführung einen Abstand von unter 1 m bis über 3 m. Die Fahrzeuge werden durch zwei Klemmen je Strang mit den Seilen verbunden. Um ein Verdrehen der Kabinen zu verhindern, müssen beide Seile exakt gleich schnell umlaufen.

Beim französischen System, Double Mono-Cable „DMC“ genannt, sichert eine elektronische Synchronisierung der zugehörigen Antriebe den Gleichlauf der zwei getrennten Förderseilschleifen. Diese kompensiert auch einen eventuell ungleichen Seilrillenverschleiß an den Antriebscheiben.

Das etwas später entwickelte österreichische System, Double Loop Mono-Cable „DLM“ genannt, verwendet ein einziges Förderseil, das aber in einer doppelten Schleife „über die Streck-

ke gelegt“ ist. Nur ein Motor treibt die Doppelschleife über zwei fest miteinander verbundene Seilscheiben an. Der Gleichlauf wird bei diesem System dadurch gewährleistet, daß das Förderseil beide Seilscheiben umschlingt und diese dabei gleichmäßig verschleißt, also eine Art Eigensynchronisierung vorhanden ist.

Eine weitere Entwicklung stellt die Kombination beider Systeme dar: ein in einer Doppelschleife gelegtes Förderseil wird mit zwei synchronisierten Antrieben bewegt.

Doppel-Einseilumlaufbahnen sind die leistungsfähigsten Seilschwebebahnen. Eine Bahn mit Fahrzeugen für jeweils 30 Personen erreicht bereits eine Förderleistung von 3600 Pers/h, Bahnen mit bis zu 5000 Pers/h sind geplant.

Gletscherbus Hintertux



c0190

Quelle: ISR 6/96



c0191

Quelle: ISR 6/96

Gletscherbus Hintertux



c0015

Quelle: Doppelmayer

DLM Gaislachkogelbahn;  
 Doppel-Einseilumlaufbahn mit schmaler Spurführung

FUNITEL Verbier (CH)

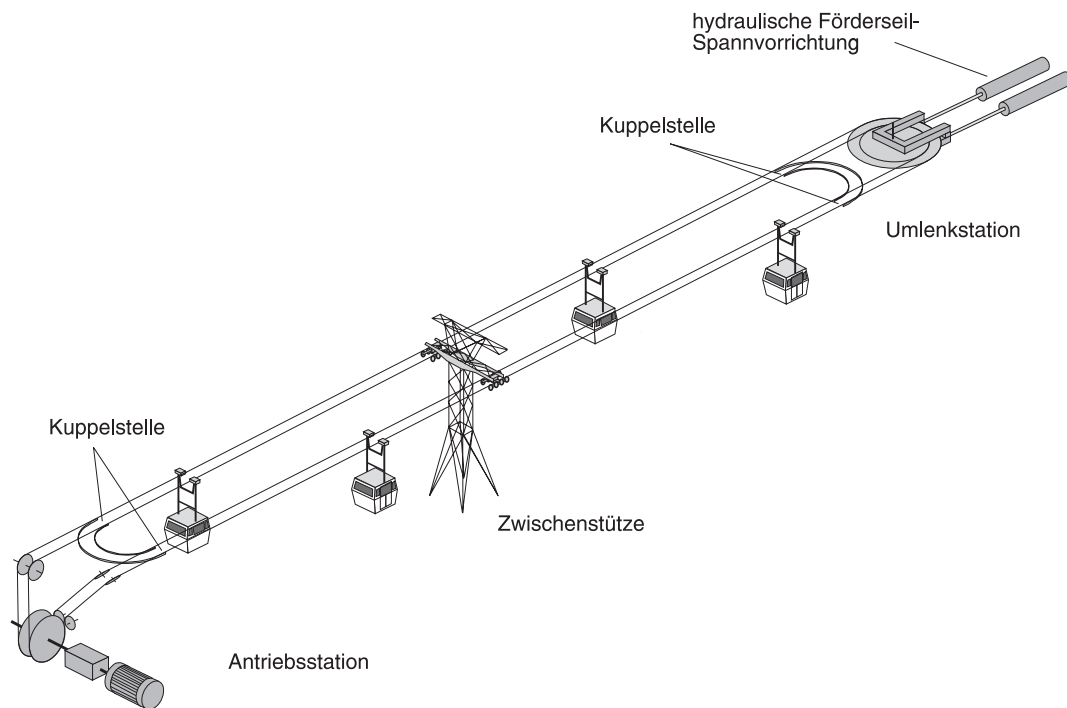


c0192

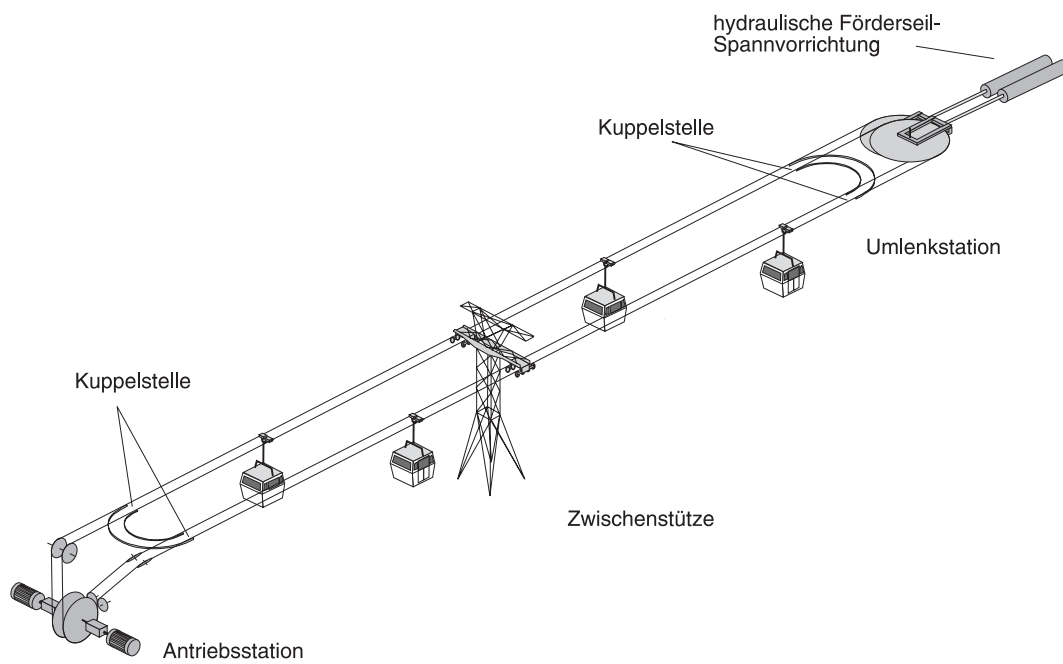
Quelle: Garaventa

## Doppel-Einseilumlaufbahnen - kuppelbar

### System DLM (Double Loop Monocable)



### System DMC (Double Monocable)



c0016



#### 4.2.2.2 Pendelbetrieb

Der Einsatz einer Doppel-Einseilbahn in der Pendelbahnversion bietet sich für Anlagen mit kurzer Streckenlänge, aber großer Seilhöhe an, wenn keine hohe Förderkapazität gefordert ist. Es bestehen nur ein paar Anlagen.



©0035

Quelle: Doppelmayr

*Doppel-Einseilpendelbahn mit Großkabine für  
40 Personen*

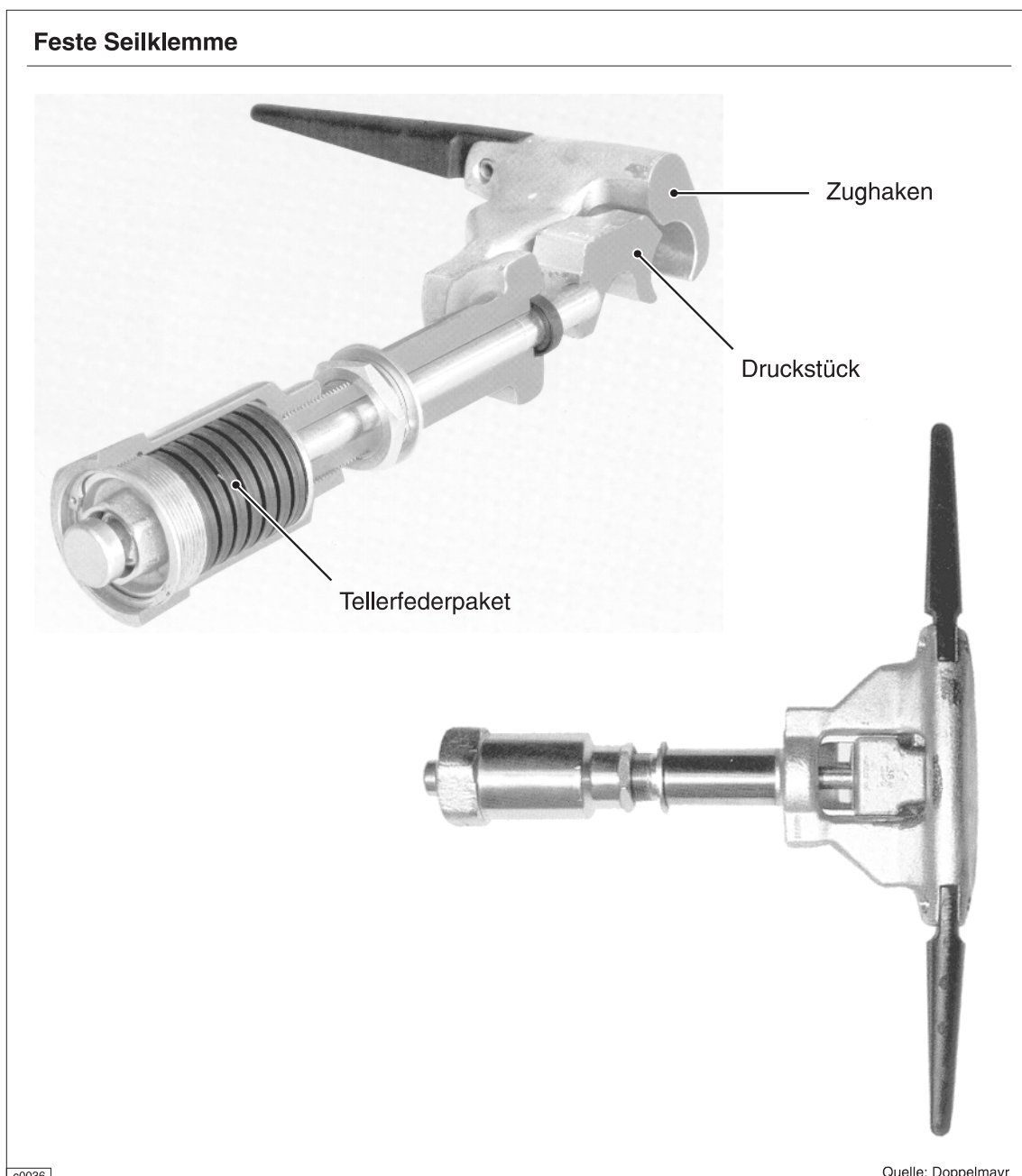


## 4.2.3 Seilklemmen

### 4.2.3.1 Betrieblich nicht lösbare Seilklemmen

Bei Bahnen mit fest geklemmten Fahrzeugen bleibt die Verbindung der Seilklemmen mit dem Förderseil zur Übertragung der Trag- und Zugfunktion des Förderseils während des normalen Betriebsablaufs bestehen. Ein Tellerfederpaket gewährleistet, daß das Seil mit einer konstanten Anpreßkraft zwischen Druck- und Zugstück der Klemme gehalten wird, auch bei mechanisch (Seilscheibenumlauf) oder ther-

misch (Witterung) bedingten Änderungen der Seil- bzw. Klemmenabmessungen. Beweglich gelagerte, keilförmige Auflaufzungen an beiden Enden des Klemmenkörpers mindern die Stöße bei der Passage von Niederhalte-Rollenbahnen. Um einen gleichmäßigen Seilverbrauch zu gewährleisten, werden die Klemmen in regelmäßigen Zeitabständen auf dem Förderseil versetzt.

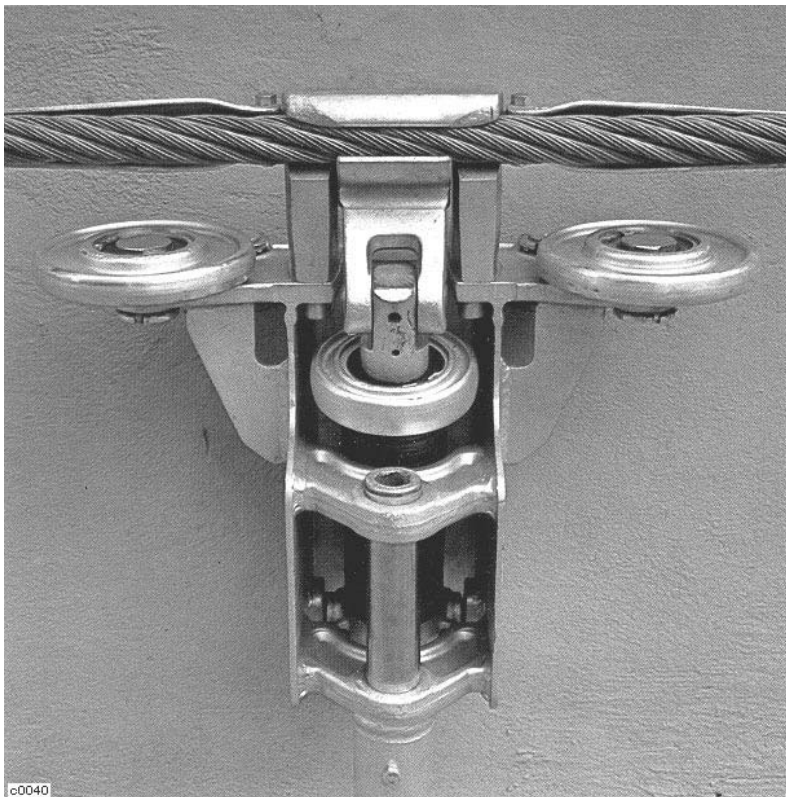
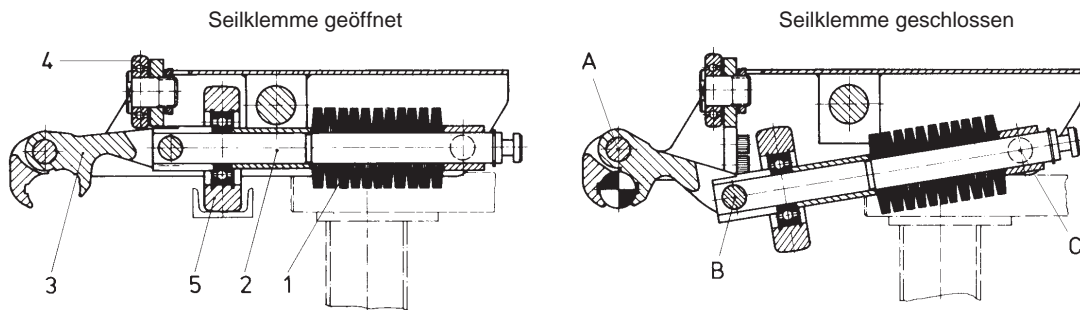


### 4.2.3.2 Betrieblich lösbare Seilklemmen

Seilklemmen von betrieblich lösbaren Fahrzeugen müssen bei Fahrtbeginn durch den Schließvorgang die Verbindung zum bewegten Seil herstellen, während der Fahrt die Verbindung sicher aufrechterhalten und bei Fahrtende wieder lösen. Früher wurde die Selbsthemmung eines Schraubengewindes (beim Schraubklemmapparat) oder das Fahrzeuggewicht über eine Schrägkulissenführung (Eigengewichtskuppler) die Klemmkraft am Seil auf, die damit abhängig von der Beladung war, so kommen heute Federklemmapparate

zur Anwendung. Diese gewährleisten eine definierte Klemmkraft, auch wenn die Seilgeometrie nicht immer exakt ist. Die Tellerfederpakete, Schraubenfedern oder Torsionsstäbe werden bei Durchfahrt der Kuppelbereiche in den Stationen vorgespannt, indem der Spannhelb an einer Schiene zwangsgeführt wird. Verläßt das Fahrzeug die Station, so erzeugt die freigewordene Federkraft über einen Kniehebel oder Exzenter die Schließbewegung des Klemmenmauls und bringt die erforderliche Anpreßkraft am Förderseil auf.

**Kuppelbare Seilklemme mit Kniehebel und Tellerfederpaket**



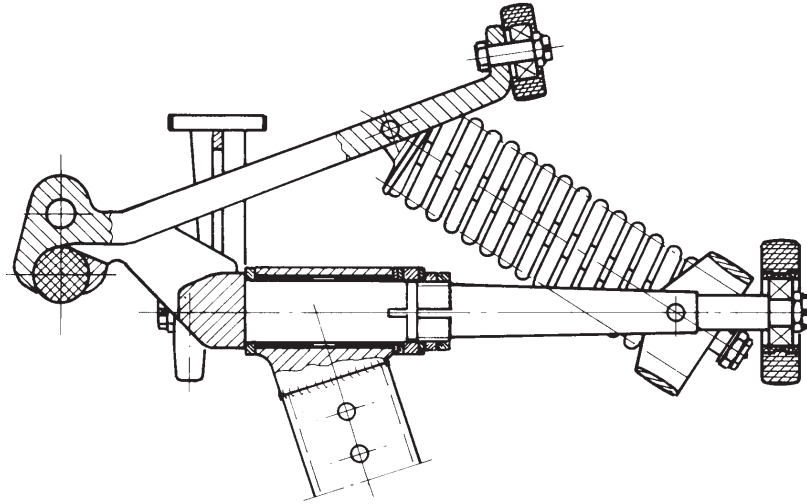
- 1 Tellerfedern
- 2 Federführung
- 3 Klemmbacke
- 4 Stützrollen
- 5 Schaltrolle
  
- A Achse für Klemmbacke
- B Achse für Federführung
- C Bolzen für Traverse

c0039

Quelle: Doppelmayr

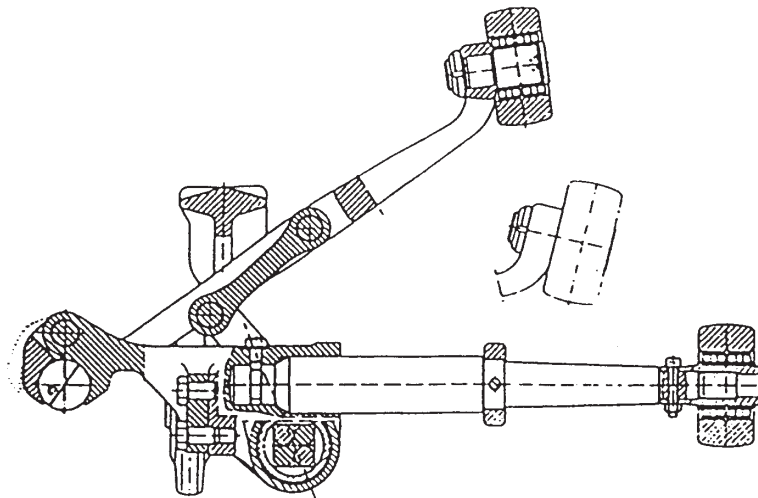
### Kuppelbare Seilklemmen

#### Kuppelklemme mit Schraubenfeder



Quelle: Leitner

#### Kuppelklemme mit Torsionsfeder

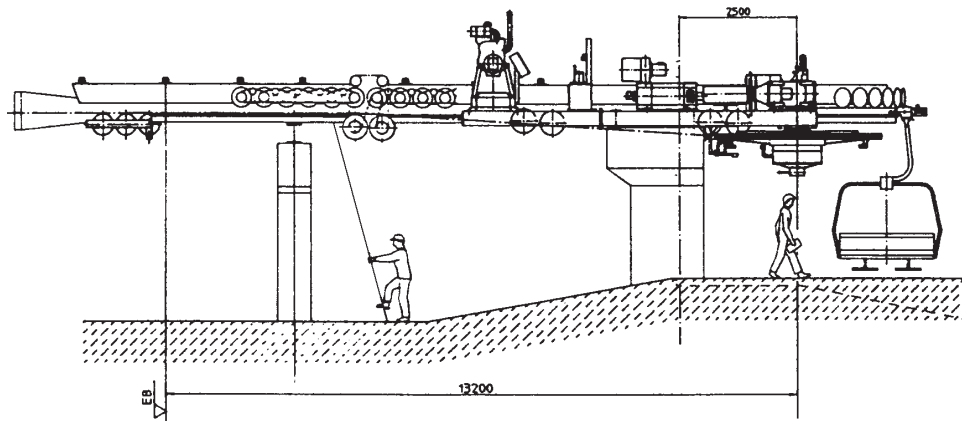


c0053

Quelle: Doppelmayer



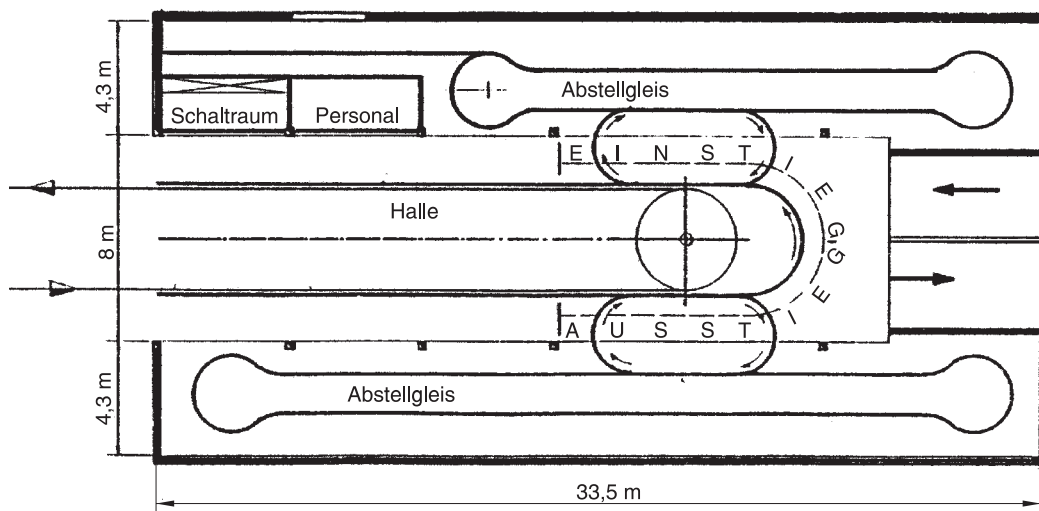
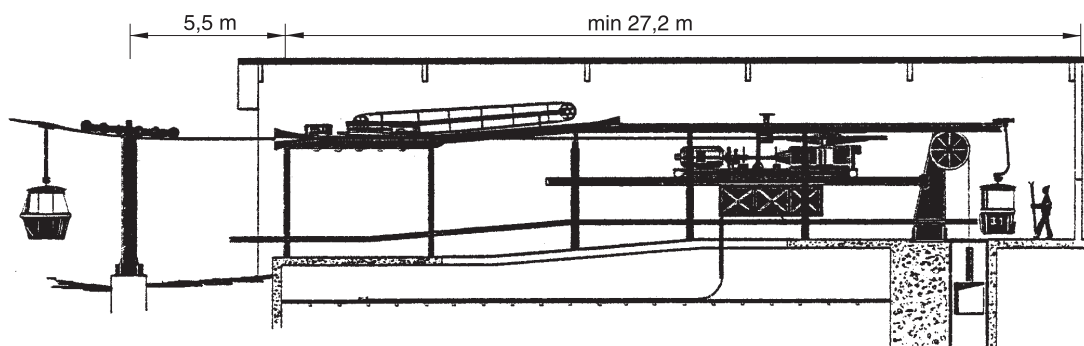
**Kompakte Antriebsstation einer kuppelbaren 4er-Sesselbahn**



c0041

Quelle: MIS 5/92

**Antriebs- und Spannstation einer kuppelbaren Einseilumlaufbahn**



c0042



#### 4.2.4.2 Stationsfördereinrichtungen

Bei den Stationsfördereinrichtungen von kupplbaren Umlaufbahnen unterscheidet man nach ihrer Aufgabe in zwei Grundtypen:

- **Stationsumlaufförderer**

Stationsumlaufförderer befördern die Fahrzeuge im entkuppelten Zustand mit geringer Geschwindigkeit auf einer Umlaufschiene durch die Station. Diese werden üblicherweise als Kettenförderer mit Mitnehmer oder als Reifenförderer ausgeführt.

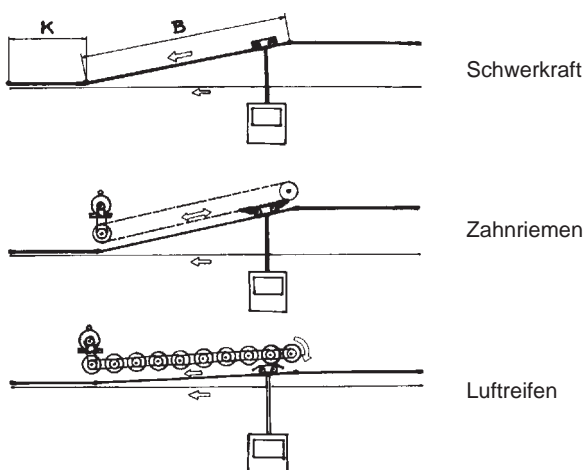
- **Beschleuniger / Verzögerer**

Verzögerer bremsen die mit Seilgeschwindigkeit (bis 6 m/s) in die Station einfahrenden Fahrzeuge auf die Stationsumlaufgeschwindigkeit (Kabine ca. 0,3 m/s; Sessel ca. 1 m/s) ab. Be-

schleuniger erfüllen an der Ausfahrt die umgekehrte Aufgabe.

Werden die Fahrzeuge in älteren Anlagen oft noch durch eine schiefe Ebene auf die Zielgeschwindigkeit gebracht, so kommen heute fast ausschließlich Reifenbeschleuniger zur Anwendung. Die in einer Linie hintereinander angeordneten Luftreifen sind so über der Umlaufschiene montiert, daß sie das an den Kupplklemmen befestigte Beschleunigerblech berühren. Durch Reibschluß übertragen sie ihre Umfangsgeschwindigkeit auf die durchfahrenden Seilklemmen. Die Reifen werden über Riemen oder Ketten angetrieben und laufen entweder mit konstanten, längs der Fahrtrichtung abgestuften Geschwindigkeiten oder werden gemeinsam bei jeder Fahrzeugdurchfahrt beschleunigt bzw. abgebremst.

#### Funktionsprinzipien von Beschleunigern



Luftreifenbeschleuniger

c0044  
c0043

Quelle: Doppelmayr



Quelle: Doppelmayr

Hängeschiene und Mitnehmerkette als Fördereinrichtung zum Abstellbahnhof im Keller der Station



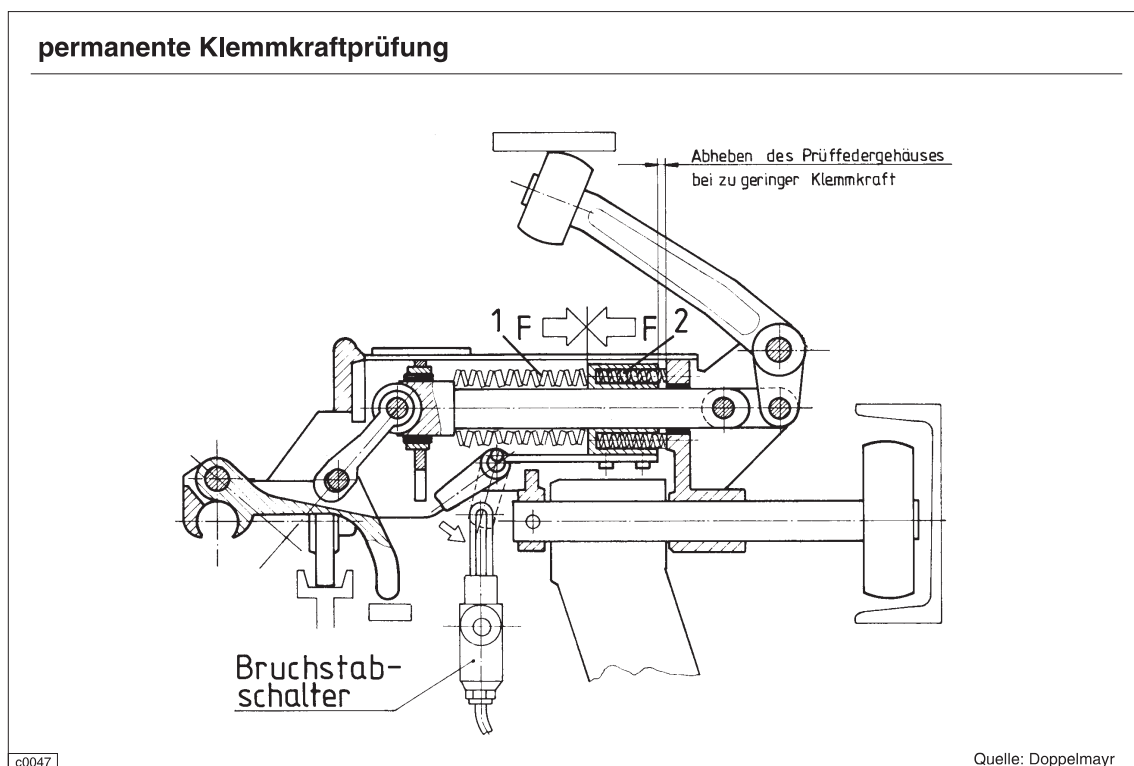
Quelle: Leitner

Abstellbahnhof

#### 4.2.4.3 Überwachungseinrichtungen für den Kuppelvorgang

Um die Stationsausfahrt fehlerhaft gekuppelter Fahrzeuge zu verhindern, sind bei jeder kuppelbaren Bahn Überwachungseinrichtungen im Bereich der Kuppelstrecke installiert. Diese können auf unterschiedlichen Prinzipien basieren:

- Kontrolle der Klemmgeometrie:  
Überwachung des Klemmenquerschnitts im gekuppelten Zustand mittels Durchfahrtblenden
- indirekte Klemmkraftprüfung:  
Messung der Federkraft durch Entlangfahren des Klemmen-Öffnungshebels an einem Prüfbalken
- direkte Klemmkraftmessung:  
Probekupplung der Klemme auf einem zweigeteilten Meßbolzen
- Abziehkraftprüfung am bewegten Seil:  
*Doppelklemme*  
Kontrolle, ob bei Aufbringen einer Spreizkraft zwischen den beiden Einzelklemmen eine Verschiebung der Klemmen auf dem Seil eintritt  
*Einfachklemme*  
Kontrolle, ob beim Überfahren der Klemme über einen federbelasteten Prüfbalken (mit keilförmiger Nocke) ein Rutschen der Seilklemme auftritt
- permanente Klemmkraftprüfung:  
Abtasten eines Schalthebels, der von einer im Klemmapparat eingebauten Prüffeder betätigt wird (Abbildung)





#### 4.2.4.4 Fahrgastförderband

Um den Einstiegscomfort bei fest geklemmten Sesselbahnen zu erhöhen, kann mittels eines zum Förderseil parallel verlaufenden Förderbandes die Relativgeschwindigkeit zwischen Sessel und Fahrgast verringert werden.

Durch die damit mögliche Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit kann außerdem eine Steigerung der Förderkapazität von fest geklemmten Anlagen erreicht werden.

Bei Sesselbahnen mit betrieblich lösbaren Seilklemmen kann ein Förderband auch zur besseren Fahrgaststeuerung im Einstiegsbereich eingesetzt werden. Dies ist insbesondere bei mehrsitzigen Fahrbetriebsmitteln (6er, 8er-Sessel) zur Vermeidung einer evt. „Einstiegshektik“ sehr hilfreich.

Fahrgastförderbänder finden ausschließlich bei der Beförderung von Wintersportlern Verwendung.

*Förderbandeinstieg einer kuppelbaren 6er-Sesselbahn*



c0201

*Förderbandeinstieg einer fest geklemmten 4er-Sesselbahn*



c0200

Quellen: Doppelmayr

## 4.2.5 Universelle Bauelemente von Einseilbahnen

### 4.2.5.1 Stützen

Stützen von Einseilbahnen setzen sich zusammen aus dem Stützenfuß, dem Mast oder Mittelteil sowie dem Querhaupt („Kopfräger“) mit den Rollenbatterien. Mittels eines Flansches am Fuß werden sie mit dem Betonfundament

verschraubt. Eine Ausnahme bilden hier „schwimmende“ Stützen auf Gletschern und Hänge-Stützen, die über Halteseile verankert werden.

Einteilung von Stützen	
<b>Funktion:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tragstütze</li> <li>• Niederhaltestütze</li> <li>• Wechsellaststütze</li> </ul>
<b>Mast-Bauart:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rundrohrstütze</li> <li>• Blechkastenstütze/ Vierkantrührstütze</li> <li>• Fachwerkstütze</li> <li>• Betonstütze</li> <li>• Sonderbauformen</li> </ul>
<b>Bauform:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfachstütze</li> <li>• Mehrfachstütze</li> <li>• Portalstütze</li> <li>• Kuppengerüst</li> </ul>



Fachwerkstütze



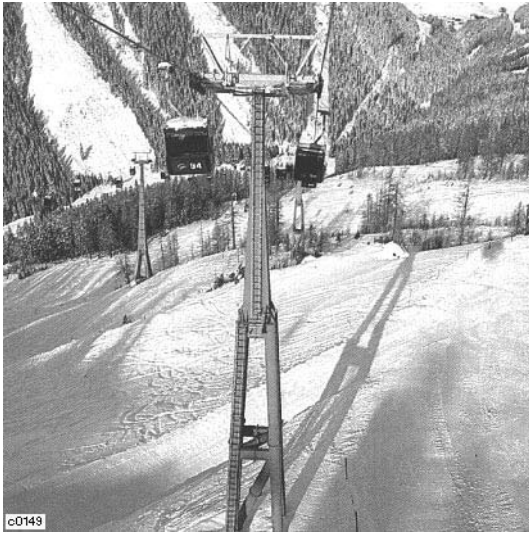
Rundrohrstütze



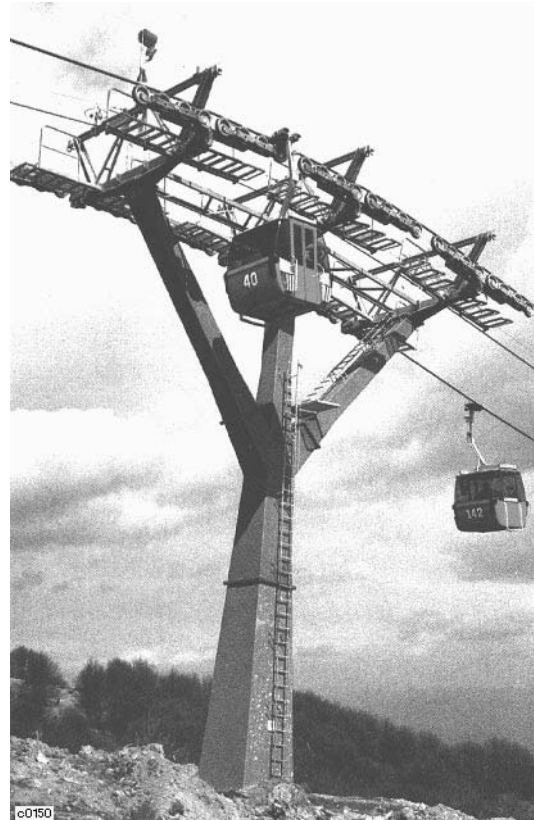
Blechkastenstütze

Quellen: Doppelmayer





*Kombinierte Blechkasten-Rundrohrstütze*



*Blechkastenstütze mit Dreifach-Oberbau*



*Dreifach-Betonstütze*

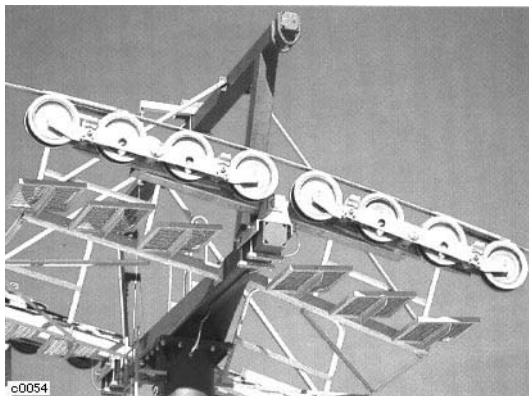


*Doppel-Blechkastenstütze in Y-Ausführung*

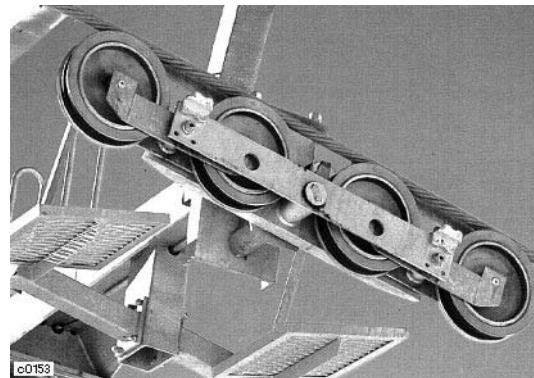
### 4.2.5.2 Rollenbatterien

Das Förderseil läuft in einer Rille mit Kunststoff- oder Gummifütterung, mit der jede Seilrolle versehen ist. Außer der vertikalen Führung des Seils müssen die Rollen auch dessen horizontale Lage sichern und ein Herauspringen aus der Seilrille unbedingt verhindern. Dazu dienen auch die seitlichen Bordscheiben, die die Fütterung in ihrer Lage halten.

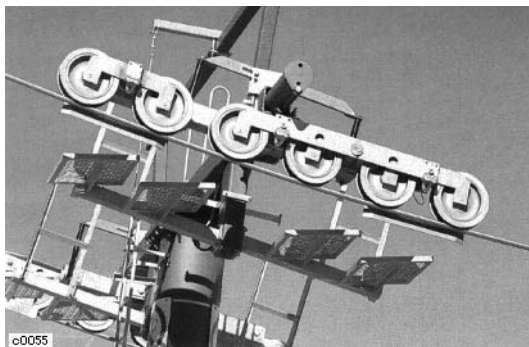
Eine Rollenwiege oder -wippe besteht aus einem Stahlrahmen, in dem zwei hintereinanderstehende Seilrollen gelagert sind. Zwei drehbar gelagerte Wiegen können wieder zu einer größeren Baugruppe zusammengefaßt sein. Den Wiegen-Gesamtverbund nennt man Rollenbatterie. Für die beiden Fahrbahnen ist je eine an jedem Ende des Stützen-Querhauptes um dessen Achse drehbar gelagert.



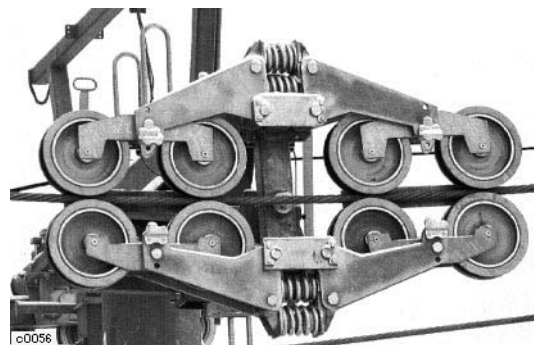
8er-Tragrollenbatterie



4er-Tragrollenbatterie



6er-Niederhalte-Rollenbatterie

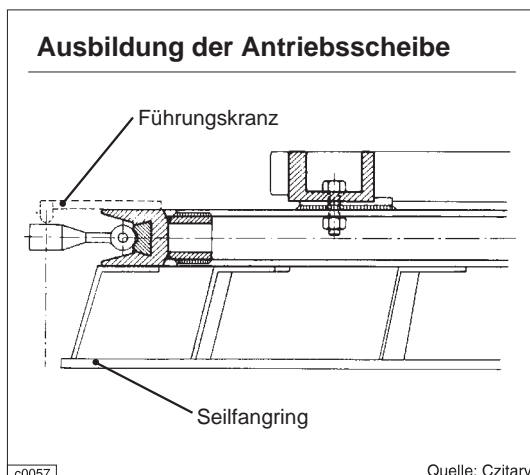


Wechsellast-Rollenbatterie

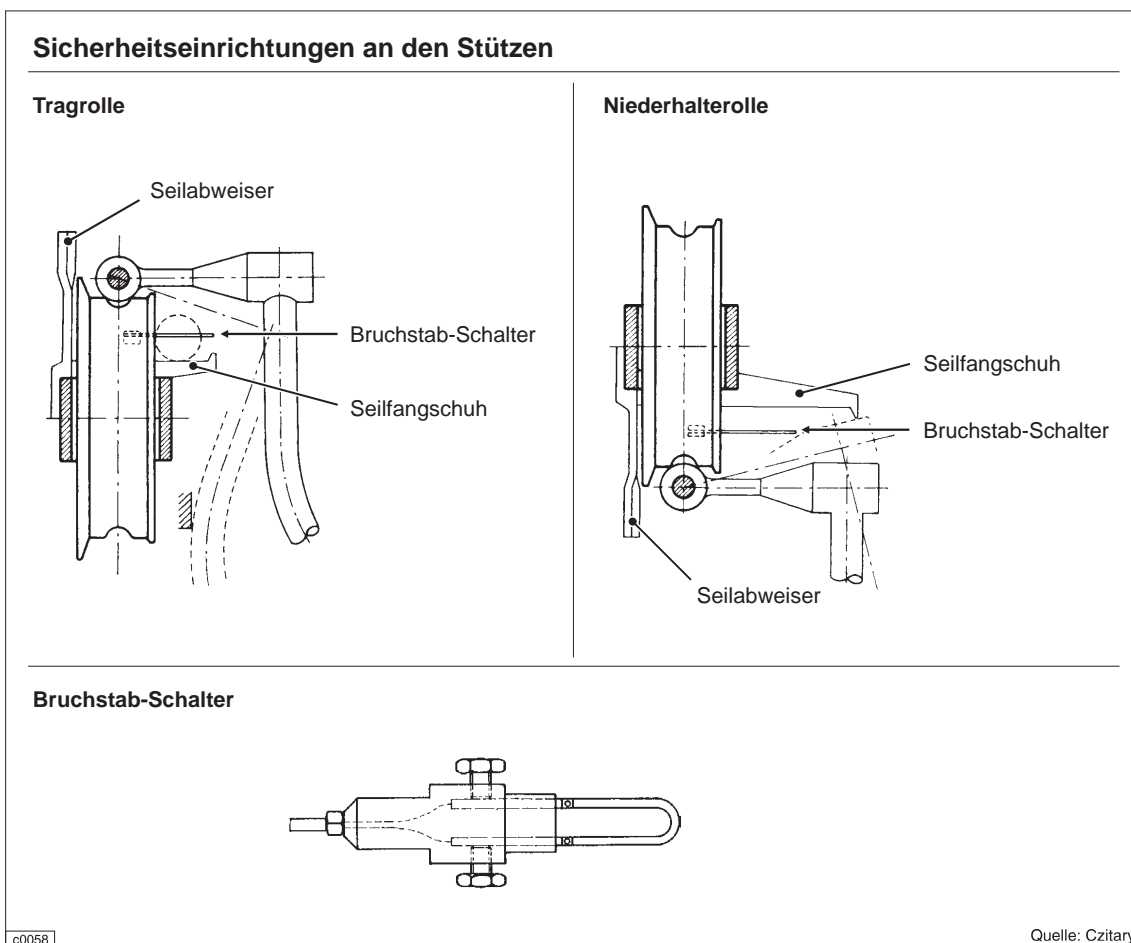
Quellen: Doppelmayr

### 4.2.5.3 Sicherheitseinrichtungen in den Stationen

- Seilfangring an der Antriebs- und Umlenkscheibe
- Grenztaster für Spannungswichtsposition
- manueller Not-Aus-Taster
- Notabschaltung des Antriebs bei:
  - großen Spannungsschwankungen
  - Überschreitung der Nenngeschwindigkeit um mehr als 10%



### 4.2.5.4 Sicherheitseinrichtungen an den Stützen



## 4.3 Zweiseilbahnen

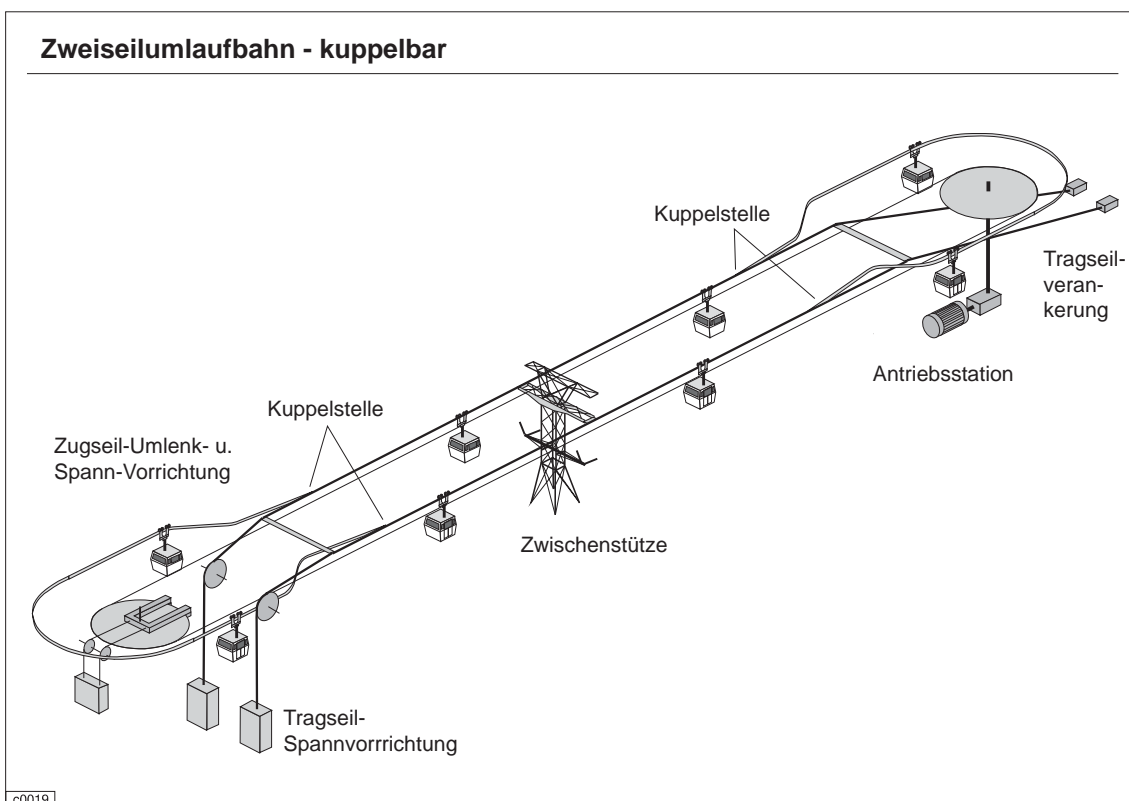
### 4.3.1 Betriebsarten

#### 4.3.1.1 Kontinuierlicher Umlaufbetrieb

Durch die Verwendung eines Tragseiles und eines, in der Regel darunter laufenden, Zugseiles sind bei gleicher Förderleistung sowohl die Fahrzeuggehänge als auch die Streckenbauwerke einer Zweiseilumlaufbahn aufwendiger als beim Konkurrenzsystem Einseilumlaufbahn. Dessen besseres Preis-Leistungs-Verhältnis hat den Ersteinsatz von Zweiseilumlaufbahnen auf Strecken mit großem Bodenabstand oder langen Spannfeldern beschränkt. Seit 1991 baut eine Schweizer Seilbahnfirma ein Umlaufbahnsystem mit 2 Tragseilen und 1 Zugseil, die sogenannte 3-S-Bahn („Dreiseilbahn“). Durch die Kombination von großer zulässiger Seilhöhe (Zweiseilbahn) mit hoher

Förderleistung (Kabinen für je 30 Personen), gepaart mit hoher Windstabilität (2 Tragseile) eignet sich die 3-S-Bahn besonders für die Verwendung in großen, hochalpinen Skigebieten.

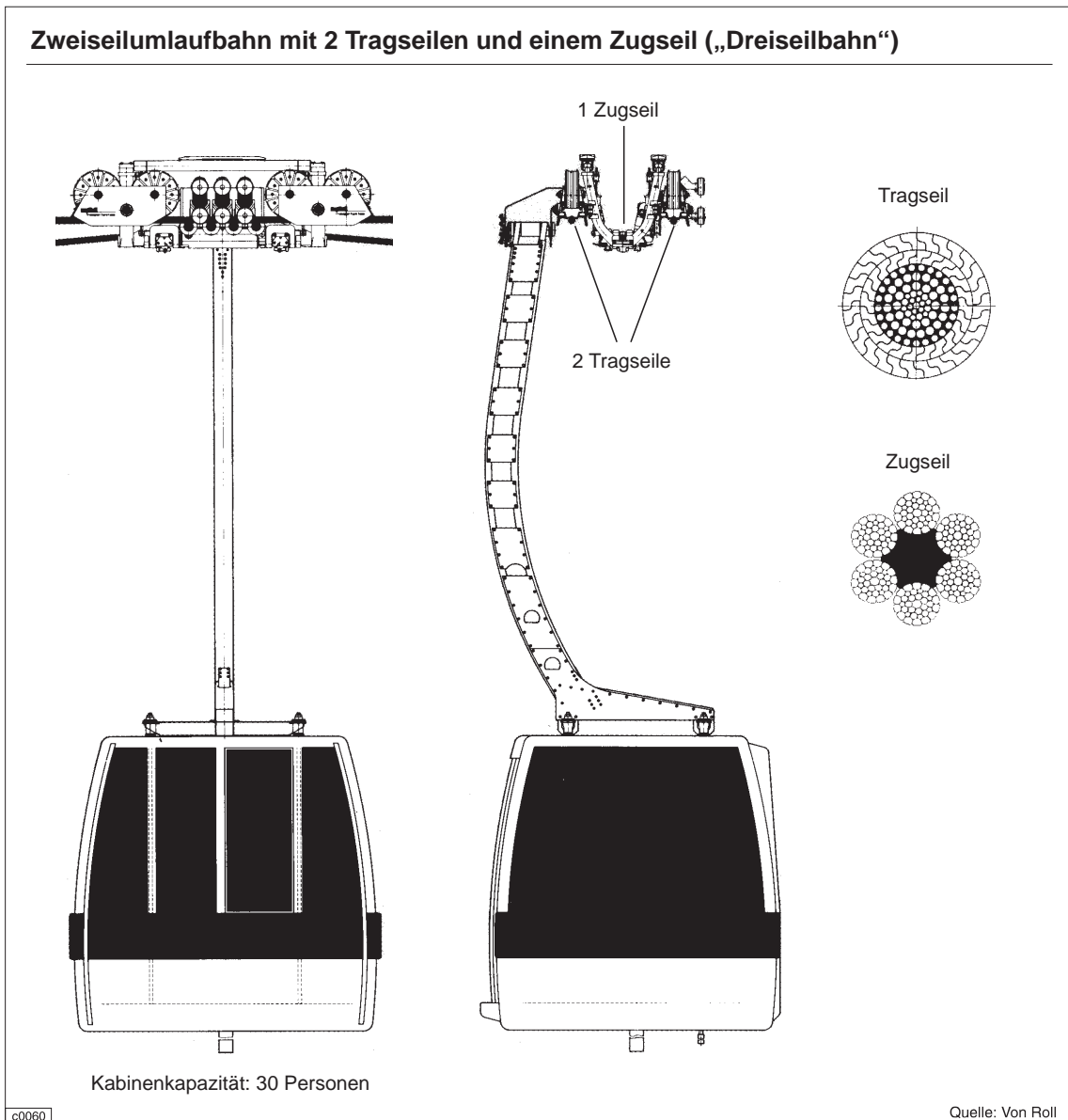
Reine Zweiseilumlaufbahnen werden heute meist als leistungsfähige Materialseilbahnen errichtet. Als Stetigförderer ermöglichen sie auch den Transport von Schüttgütern, z.B. Erzen, über stark untergliedertes Gelände. Automatische Be- und Entladeeinrichtungen gewährleisten dabei einen sicheren und kostengünstigen Betrieb.







Zweiseilumlaufbahn mit einem Tragseil  
 Fahrzeuge: 2er, 4er, 6er, 12er-Kabinen



### 4.3.1.2 Intermittierender Umlaufbetrieb

Intermittierende Zweiseilumlaufbahnen haben grundsätzlich dieselben Betriebsmerkmale wie die entsprechenden Einseilumlaufbahnen. Die Ausführung mit Trag- und Zugseil unterscheidet sich von letzteren aber durch den wesentlich größeren zulässigen Bodenabstand und die Tatsache, daß sie eine seltene Sonderbauart darstellt.



Zweiseilgruppenumlaufbahn: eine von 4 Wagengruppen zu mehreren Kabinen

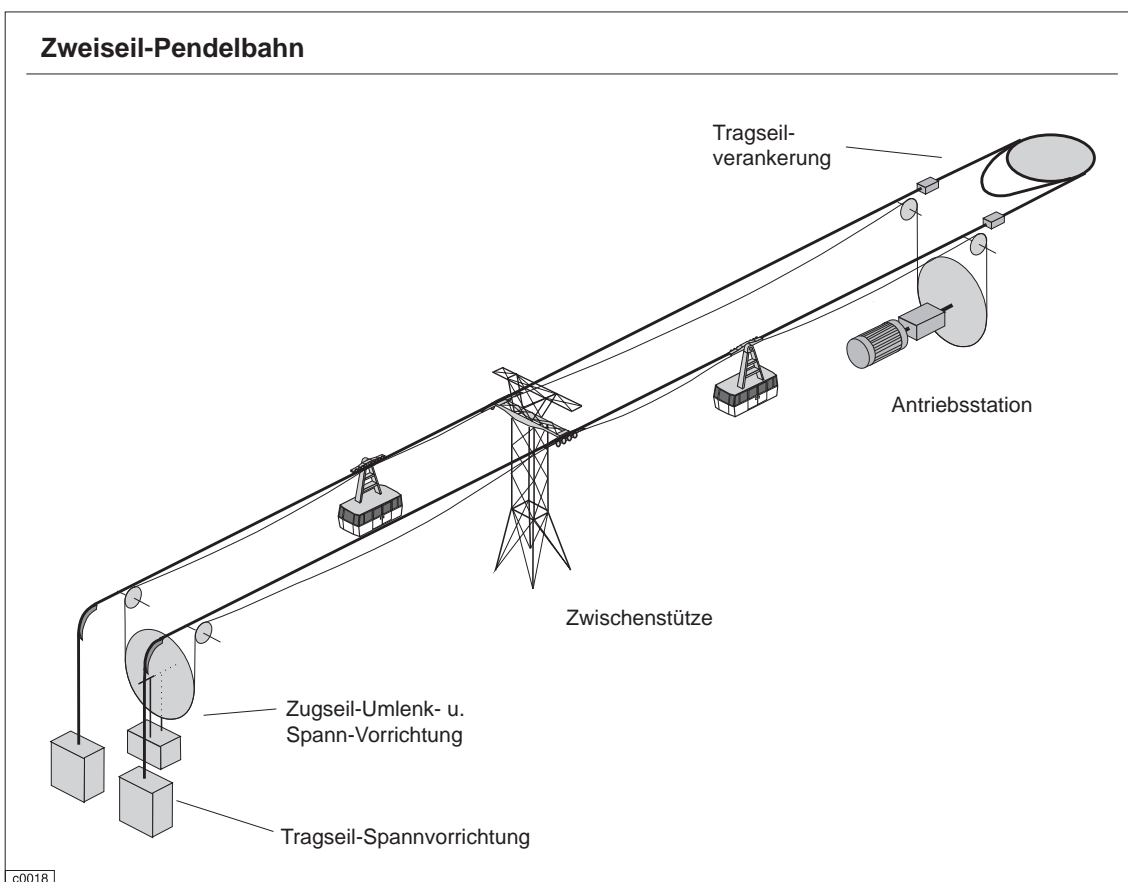


### 4.3.1.3 Pendelbetrieb

Abweichend von der strengen Begriffsdefinition fallen unter „Zweiseilpendelbahn“ heute alle Seilbahnen mit zwei pendelnd verkehrenden Fahrzeugen bzw. -gruppen sowie zwei funktionell getrennten Seilen oder Seilgruppen. Je nach Fahrbahnneigung und Förderleistung kommen die unterschiedlichsten Seil-Kombinationen mit 1...4 Tragseilen sowie 1...3 Zugseilen zur Anwendung. Auch bei den Fahrzeugen wurden die früheren „Großkabinen“ der klassischen Pendelbahn für ca. 20 Personen von weit größeren Ausführungen für bis zu 180 Personen (doppelstöckig) verdrängt.

In der Regel besteht das Zugseil aus einer oberen und einer unteren Zugseilschleife, deren Enden an den Fahrzeuglaufwerken befestigt sind. Die so entstehende geschlossene Zugseilschleife wird in der Tal- oder Bergstation mit fahrtweise geänderter Drehrichtung angetrieben und bewegt die eine Kabine berg- und die andere talwärts bzw. umgekehrt.

Wegen der guten Bergungsmöglichkeiten im Notfall erlaubt das Zweiseilpendelbahn-System, mit einer eigenen Rettungsbahn, weite Stützenabstände mit großer Seilhöhe, wie sie bei der Überbrückung von Taleinschnitten, Schluchten und Felswänden notwendig sind. Diese Tatsache, der in den Kabinen mitfahrende Fahrzeugbegleiter sowie die weitgehend witterungsunempfindliche, robuste Technik prädestinieren die Zweiseilpendelbahn für den Einsatz auf langen, ausgesetzten oder hochalpinen Strecken. Das große Fahrzeugfasungsvermögen und die für Schwebbahnen maximale Fahrgeschwindigkeit ermöglichen dabei eine beachtliche Förderleistung. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß diese etwa umgekehrt proportional zur Fahrbahnlänge ist.





Quelle: Waagner-Biro

Zweiseilpendelbahn zur Zugspitze (von österreichischer Seite aus) mit Großkabine für 100 Personen

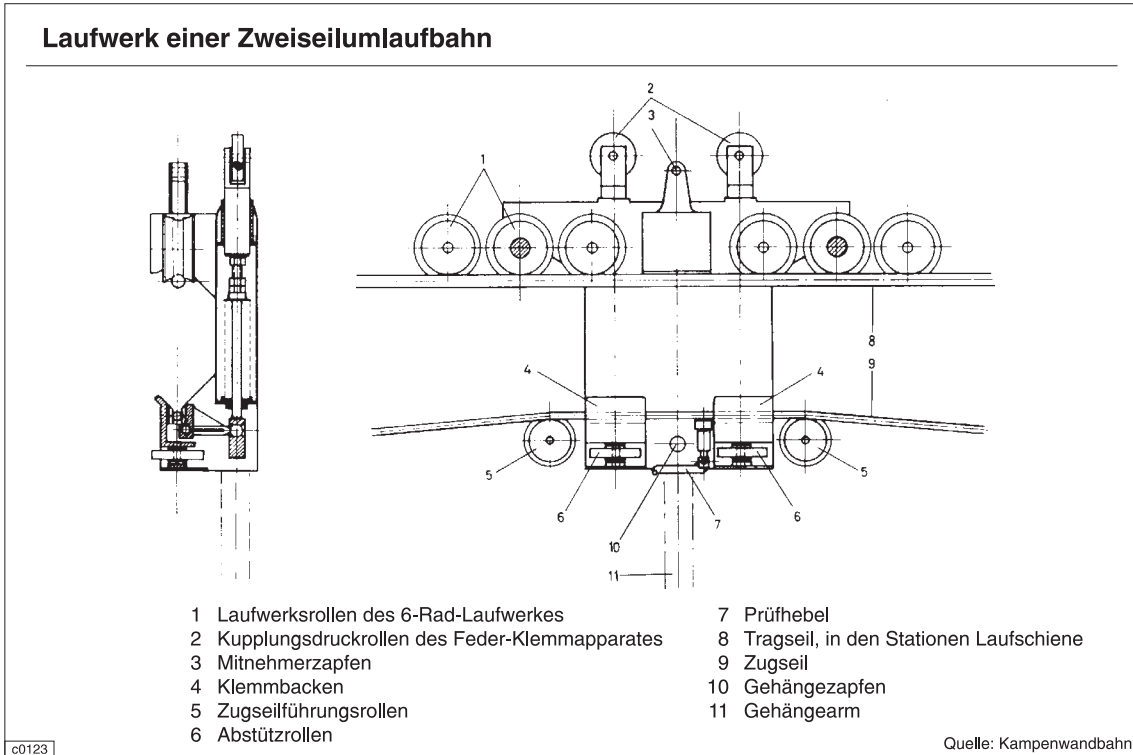
#### 4.3.1.4 Windenbetrieb

Eine der Zweiseilpendelbahn ähnliche Sonderbauart stellt die Windebahn dar. Ein auf einer großen Seilwinde aufgewickelter Zugseil bewegt ein einzelnes, an 1...2 Tragseilen hängendes, Fahrzeug auf der Strecke auf und ab. Dieser Seilbahntyp hat dieselben Eigenschaf-

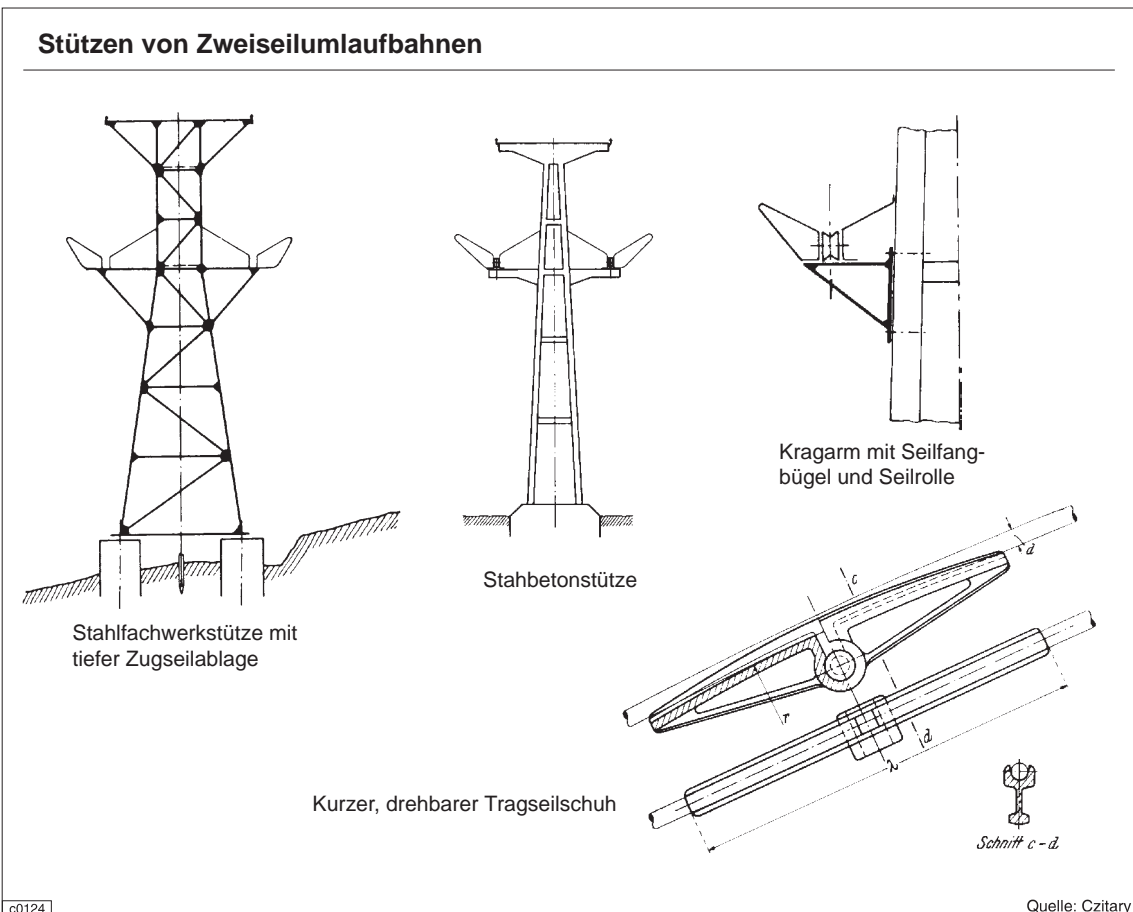
ten wie die Zweiseilpendelbahn, ist aber nur für sehr kurze Trassen geeignet. Vereinzelt auch im Personenverkehr eingesetzt, liegt der Hauptverwendungszweck beim Transport von schweren Gütern.

### 4.3.2 Spezielle Bauelemente von Zweiseilumlaufbahnen

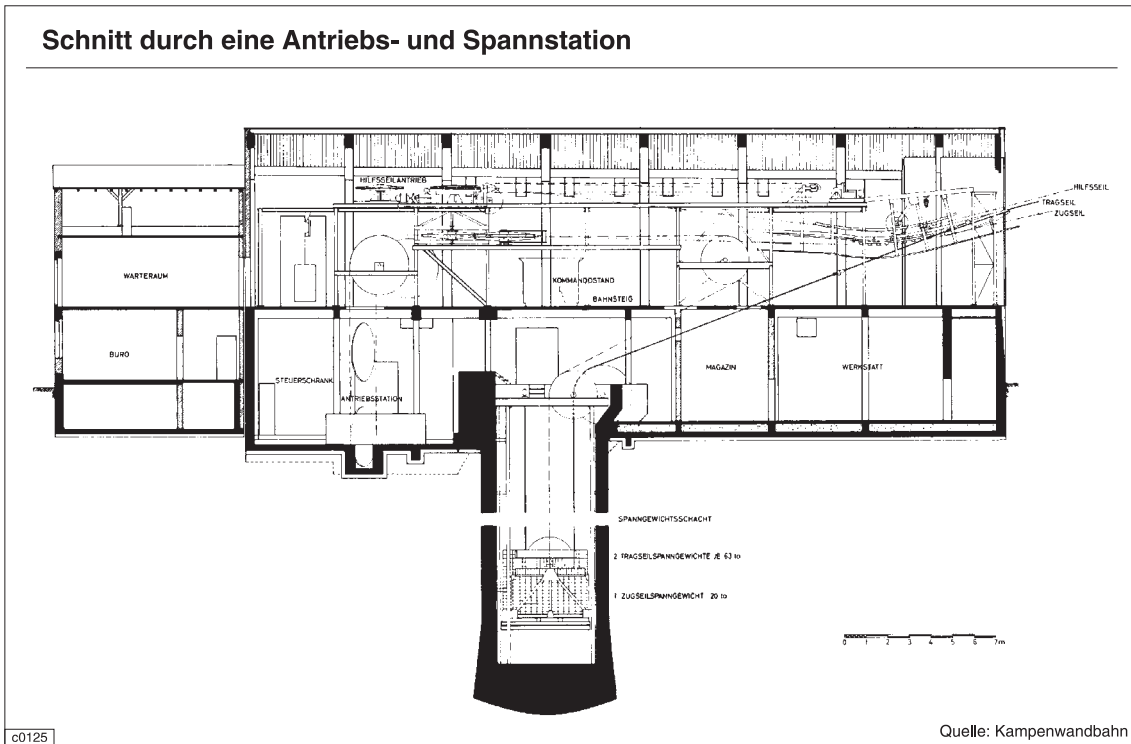
#### 4.3.2.1 Fahrzeuge



#### 4.3.2.2 Stützen

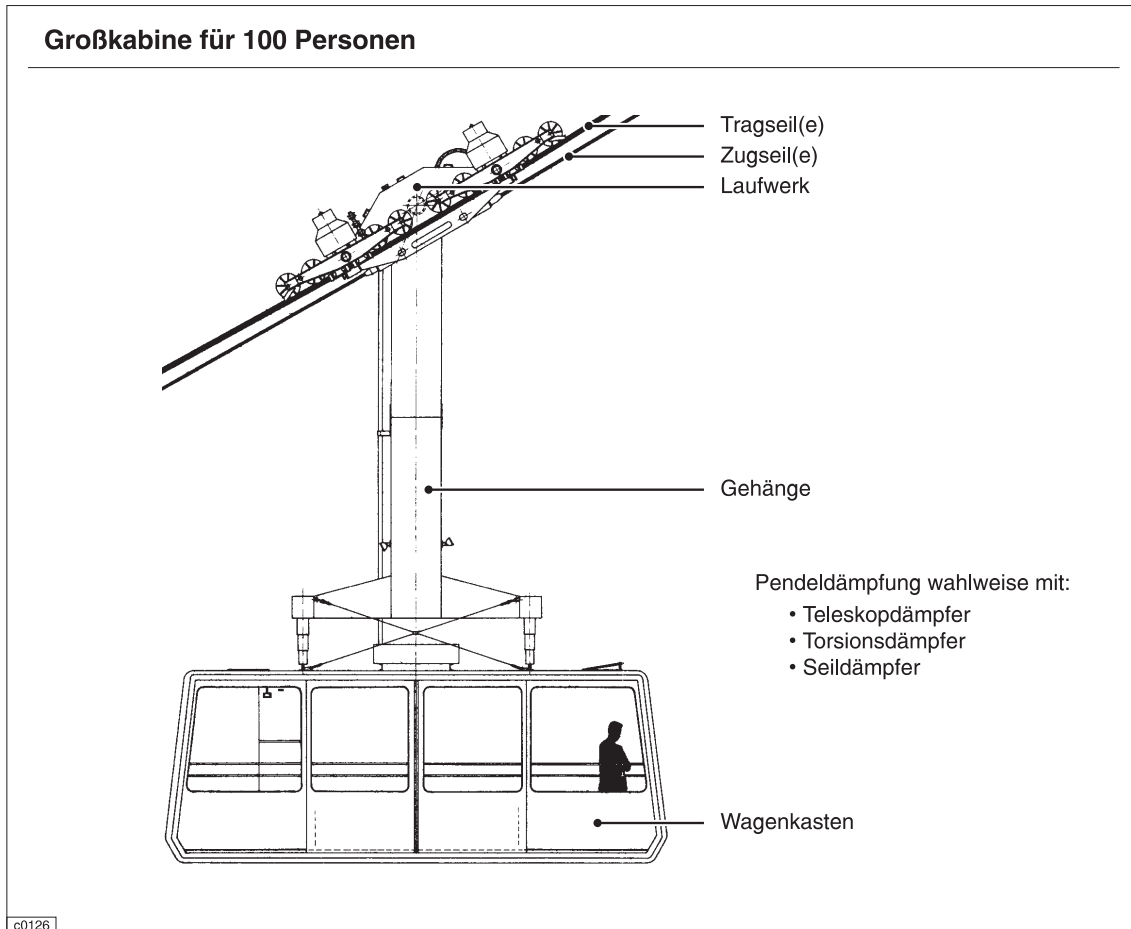


### 4.3.2.3 Stationsbauten



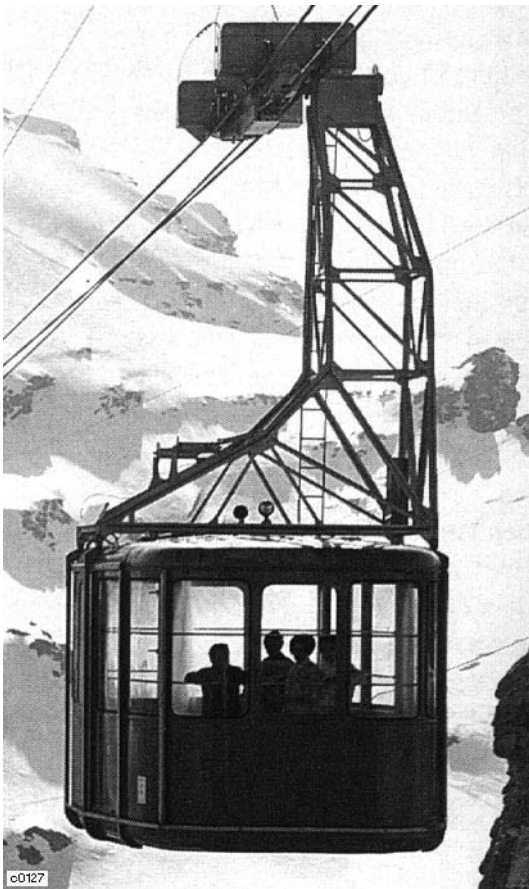
### 4.3.3 Spezielle Bauelemente von Zweiseilpendelbahnen

#### 4.3.3.1 Fahrzeuge





### 4.3.3.2 Gehänge



*Fachwerkausführung*



*Offene Stahlblechkonstruktion*



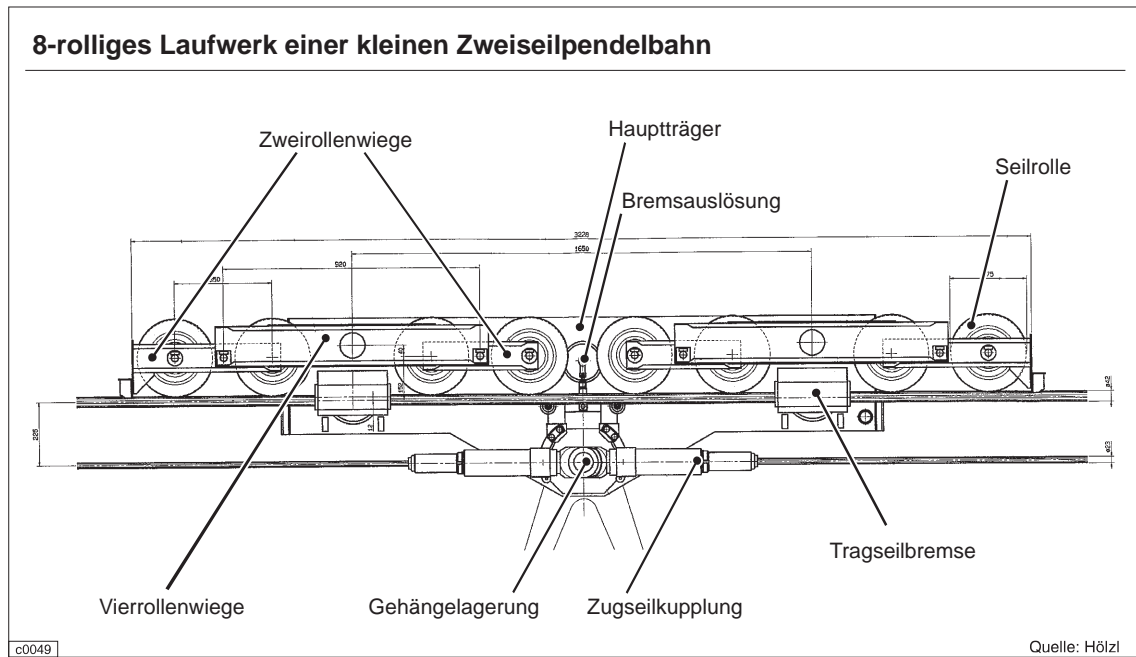
*Geschlossene Kastenkonstruktion*



*Ausführung für stützenfreie Trasse*



### 4.3.3.3 Laufwerke



### 4.3.3.4 Stützen



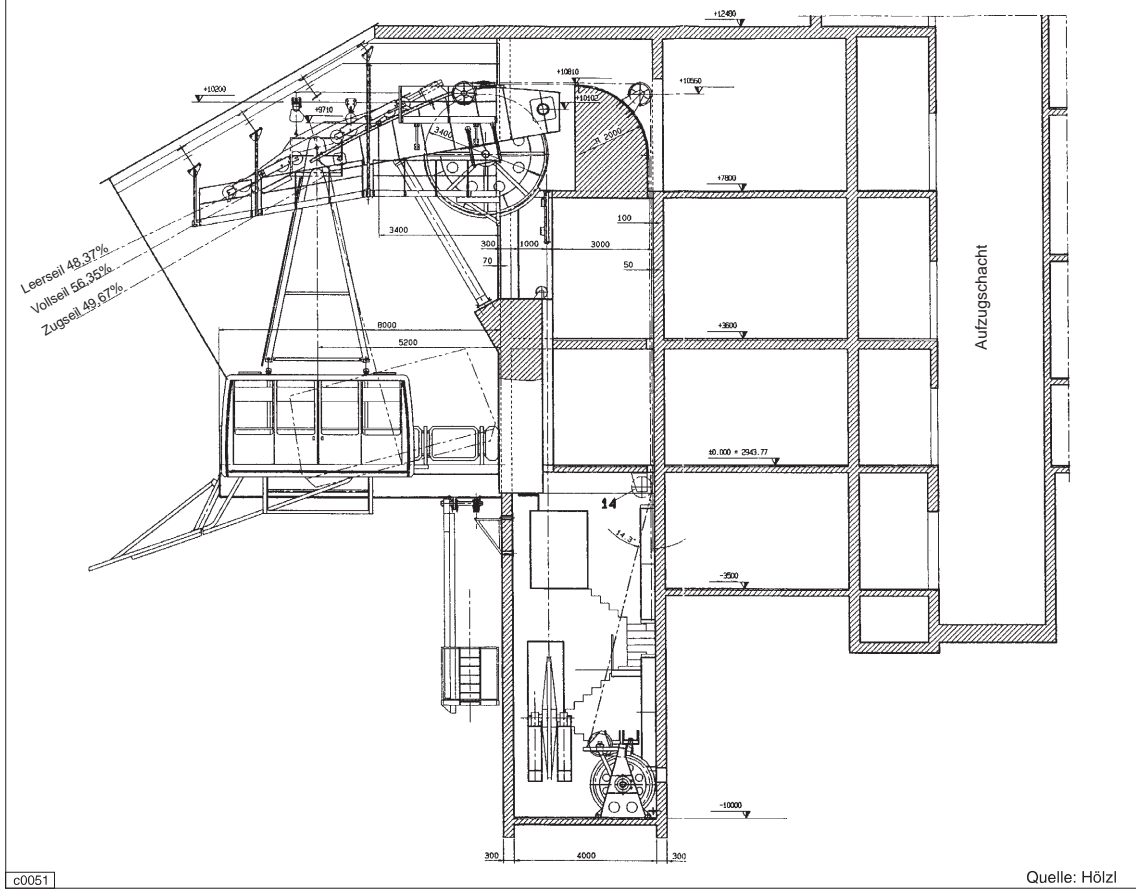
Fachwerkstütze einer Großkabinen-Pendelbahn  
 (100-Personen-Kabine, Rüfikopf, Lech am Arlberg)



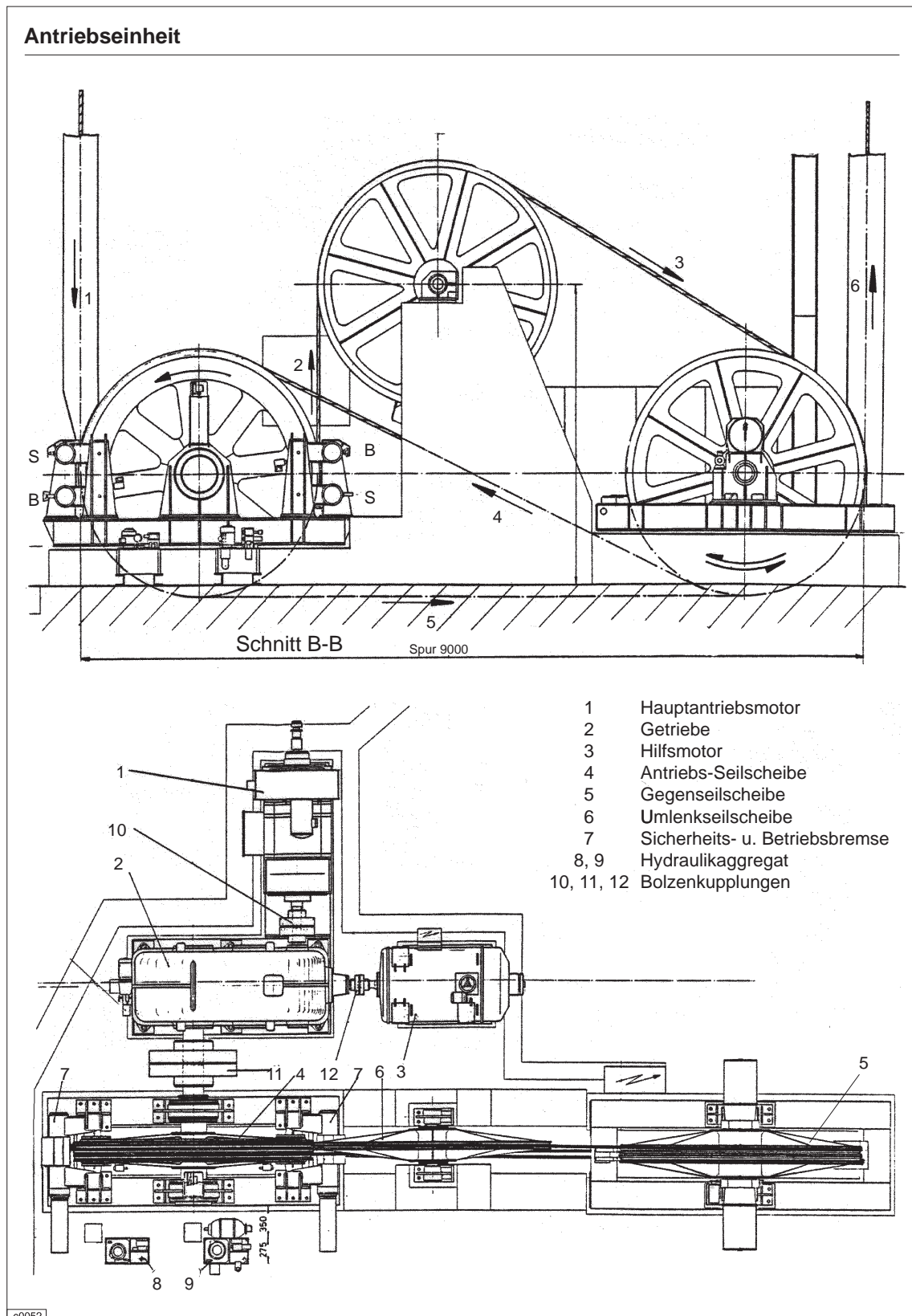
Höchste Seilbahnstütze der Welt  
 (113 m, Kitzsteinhorn, Zell am See)



### Bergstation mit Tragseilverankerung und Zugseilspanngewicht



### 4.3.3.6 Antriebseinheit



## 5 Schleppaufzüge (Schlepplifte)

### 5.1 Besonderheiten

Schleppaufzüge eignen sich ausschließlich zur Beförderung von Skifahrern. Hierfür ist es das weitaus günstigste Transportsystem, denn sie bieten eine sehr hohe Personen-Förderleistung bei geringem technischen Aufwand. Für einen sicheren Betrieb ist eine Strecke mit monoton steigendem Längsprofil ohne Seitenneigung notwendig. Sie kann vollständig natürlichen Ursprungs oder teilweise künstlich aufgeschüttet bzw. abgetragen sein. Die Schleppspur erfordert ständige Wartung sowie eine ausreichende Schneelage auf der gesamten Strecke. Bei der Querung einer Ski-

abfahrt wird diese von der Liftrasse durchschnitten. Da das Seil beim Schleppaufzug nur eine Zugfunktion hat, ist eine kurvenhaltige Linien- bzw. Seilführung mit relativ einfachen Mitteln zu realisieren. Einzelne Anlagen mit schlechter Infrastruktur werden anstelle des Elektromotors oft auch mit einem Dieselmotor angetrieben. Mit „schwimmenden“ Stützen ist der Liftbetrieb auch auf Gletschern möglich, deren große Eisdicke eine feste Fundamentierung im Grundgestein nicht zuläßt. Nachfolgend eine Aufstellung zur Verwendung der verschiedenen Bauarten:

Bauarten von Schleppaufzügen		
niedere Seilführung	hohe Seilführung	
	feste Seilklemmen	Kuppelklemmen
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ einfachster und billigster Seilbahntyp</li> <li>+ transportable Anlage (auch stationär)</li> <li>- nur für kurze Distanzen mit geringer Steigung</li> <li>- seilparalleles Streckenprofil notwendig</li> </ul>	<p>Schleppseil-Einziehvorrichtung ↓</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ variabler Abstand zwischen Zugseil und Boden (Eignung für stark unterschiedliche Schneehöhen)</li> <li>+ gute Dämpfung des Anfahrstoßes (hoher Fahrkomfort)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ besonders einfache Kurvenstationen</li> <li>+ Garagierung der abgekuppelten Gehänge in den Stationen möglich                         <ul style="list-style-type: none"> <li>➔ geringere Schäden durch die Witterung</li> </ul> </li> </ul>

c0131

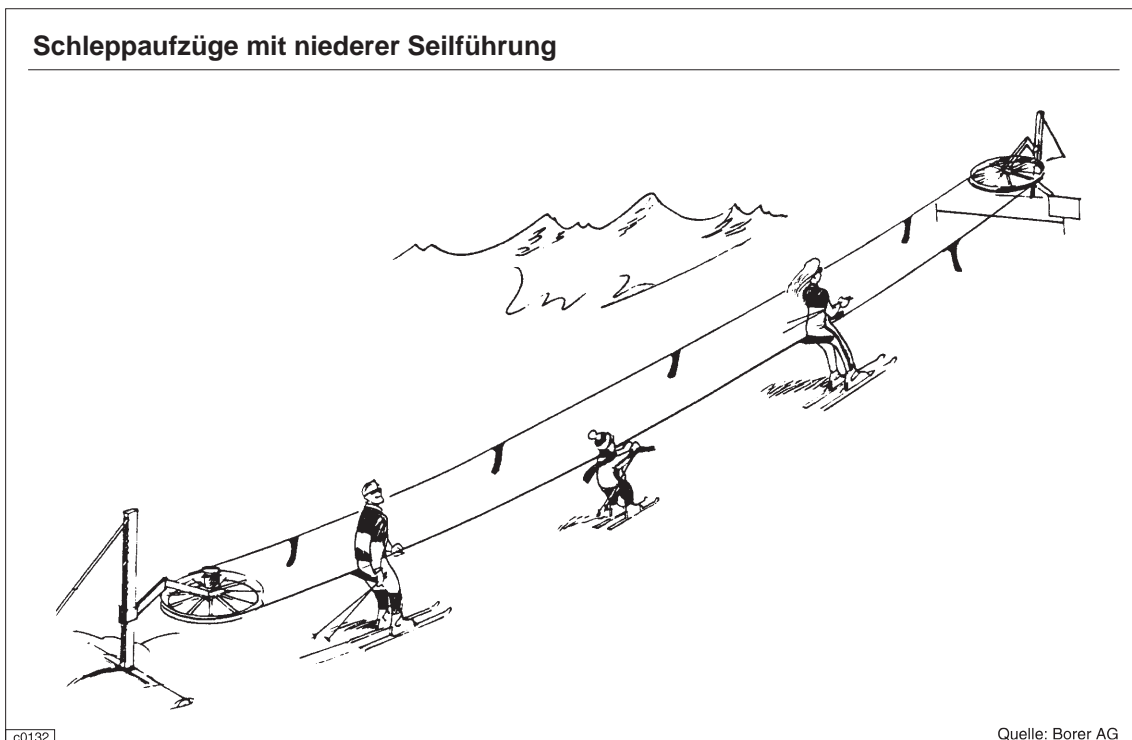
## 5.2 Schleppaufzüge mit niederer Seilführung

Schleppaufzüge mit niederer Seilführung, auch „Skikuli“ (Ski-Kurzlift) genannt, sind einfachst aufgebaut. Die Antriebsstation besteht nur aus einer Seilscheibe mit Direktantrieb. Da die Elastizität des Seils bei diesen kurzen flachen Anlagen in der Regel zur Spannung genügt, wird auf eine eigene Spannstation verzichtet. Um die in Hüfthöhe angeordneten Antriebs- und Umlenkscheiben läuft ein Stahl- oder Kunststoffseil. Die Fahrgäste halten sich entweder direkt am Seil fest oder lassen sich von kurzen Bügeln schieben. Zur Einhaltung der Seilhöhe bei unterschiedlicher Schneelage

muß die Schleppspur einer fest installierten Anlage aufgeschüttet oder freigegeben werden. Auf Kufen stehende mobile Anlagen können auf die Schneeoberfläche gezogen und mit Abspannseilen fixiert werden.

Schleppaufzüge mit niederer Seilführung kommen zu Einsatz als:

- Skischul- oder „Babylift“ für Skianfänger im Übungsgelände
- Verbindungs- oder Zubringerlift zur Überwindung kurzer Gegenanstiege auf Skiwegen





### 5.3 Schleppaufzüge mit hoher Seilführung und festen Seilklemmen

Schleppaufzüge mit hoher Seilführung und festen Seilklemmen sind bekannt unter den Begriffen Doppelschlepplift oder Tellerlift und befördern Skiläufer paarweise bzw. einzeln. Sie stellen nicht nur die im deutschsprachigen Alpenraum verbreitetste Schleppliftbauart dar,

sondern sind mit Abstand auch der weltweit meistgebaute Seilbahntyp überhaupt. Die Stationen und Stützen entsprechen weitgehend denen der festgeklemmten Sessellifte, wenn auch in einfacherer Ausführung.

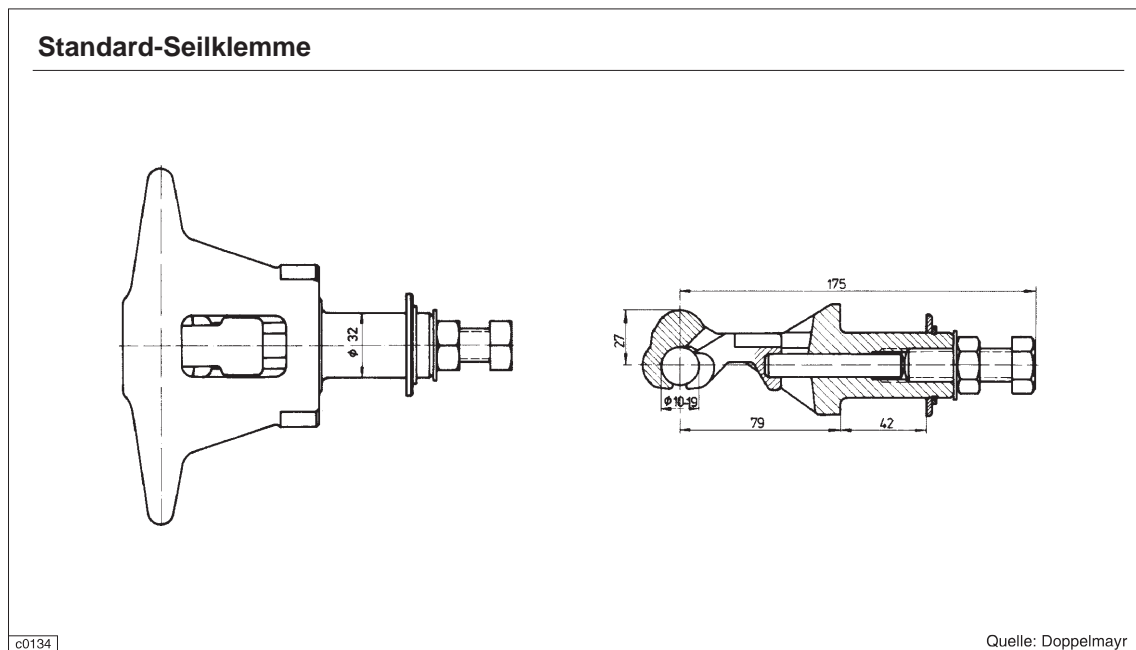


c0133

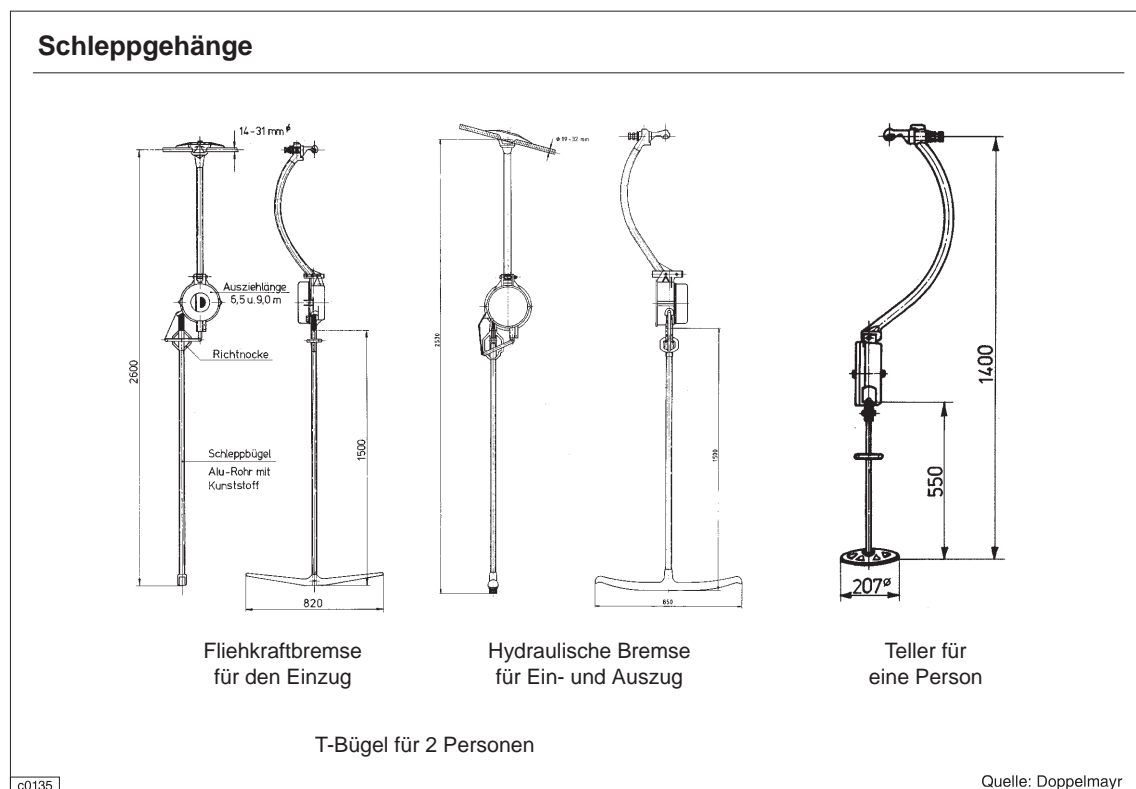
Quelle: Doppelmayr

*Einstieg eines Tellerliftes*

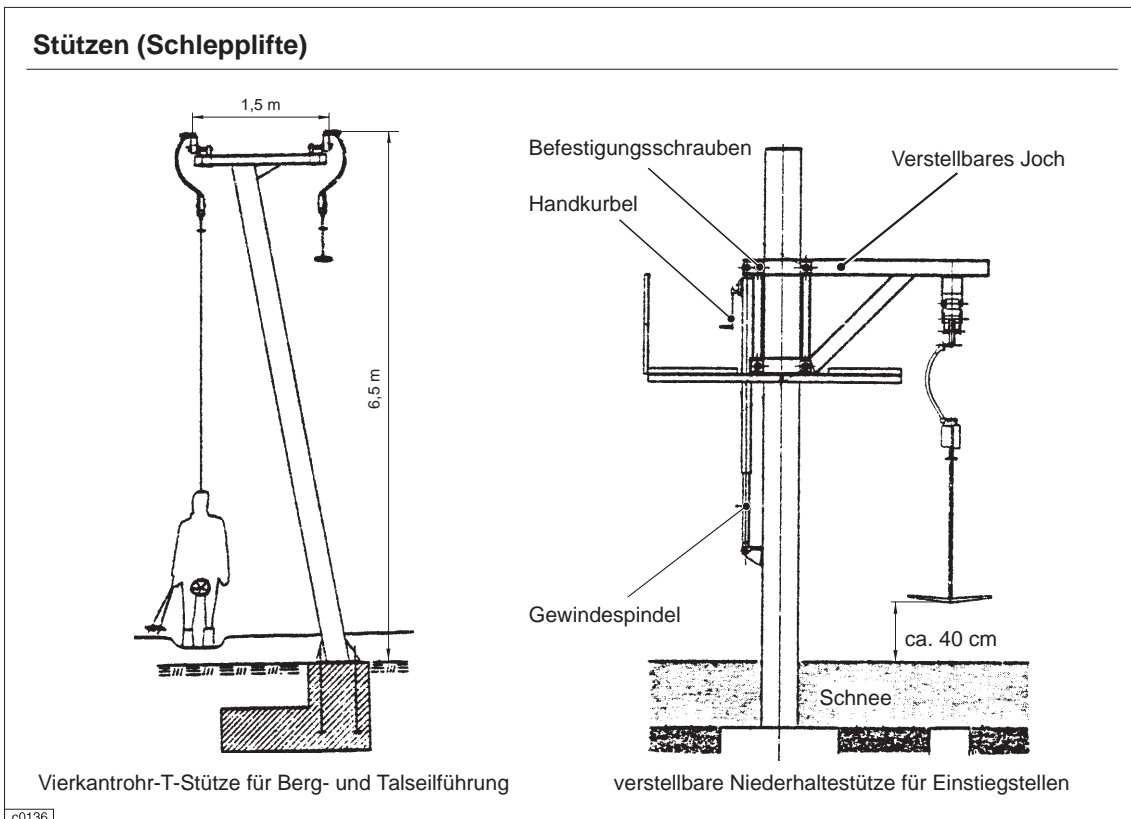
### 5.3.1 Seilklemmen



### 5.3.2 Gehänge



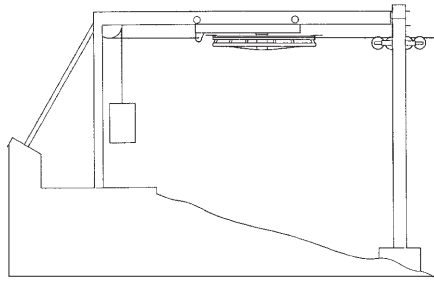
### 5.3.3 Stützen



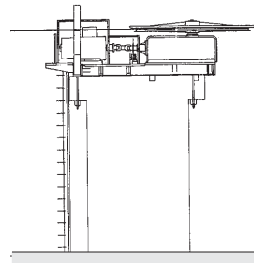
c0162 Quelle: Heuss  
 Doppel Portalstütze eines Gletscher-Schleppliftes  
 (Zugspitze)

### 5.3.4 Antriebs- und Spannstationen

#### Antriebs- und Spannstationen

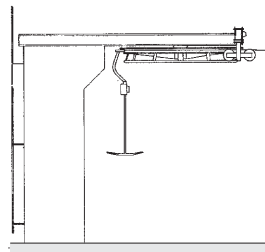


Umlenkstation als Spannstation

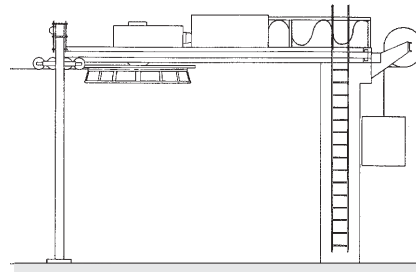


Antrieb fix auf Betonsockel

Quelle: Von Roll

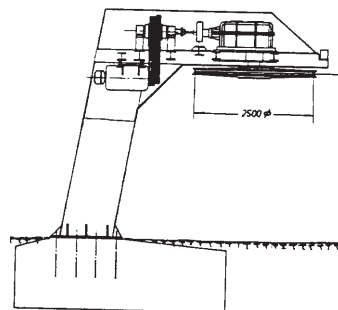


Umlenkstation fix auf Betonsockel



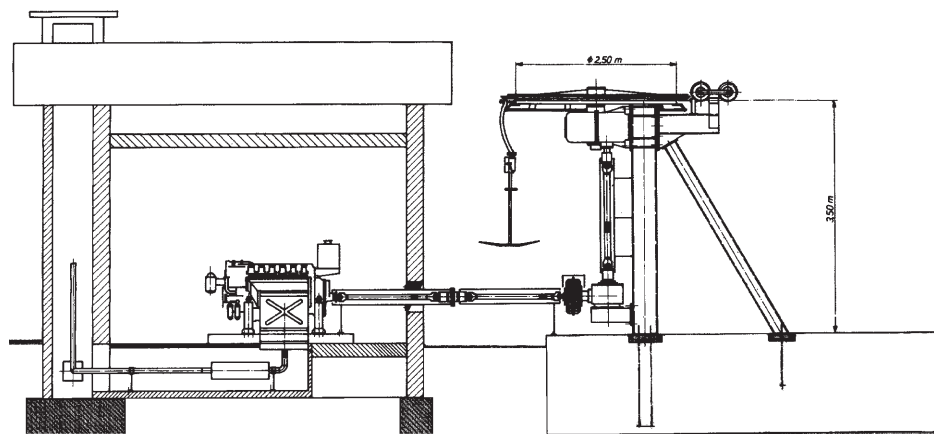
Kombinierte Antriebs- und Spannstation

Quelle: Von Roll



„Pilzantrieb“

Quelle: ISR 7/79



Antriebsstation mit externem Dieselantrieb

Quelle: Doppelmayr

c0137

### 5.3.5 Kurvenstationen

#### Kurvenstationen (1) - Polygonzug

Bergstation

Talstation

getrennte Berg- / Talseilführung

Seilklemme

c0138

Foto: Doppelmayr

#### Kurvenstationen (2) - Parallelkurve

Bergstation

Talstation

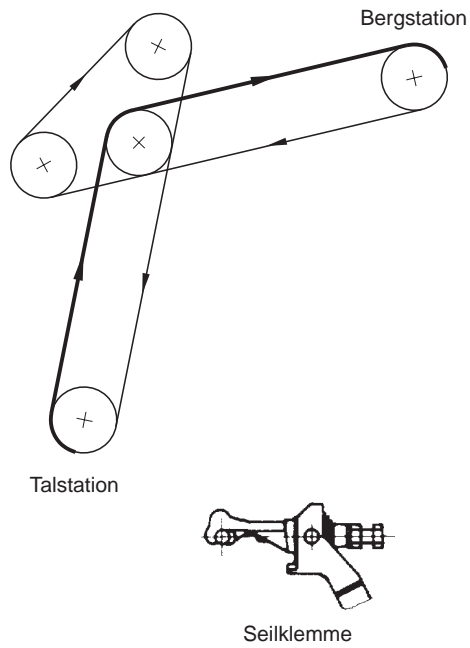
nur geringe Seilablenkung möglich !

Gehänge wird mittels Führung in Schräglage gebracht

c0139

Quelle: ISR SBB 75

### Kurvenstationen (3) - Zwirbelkurve

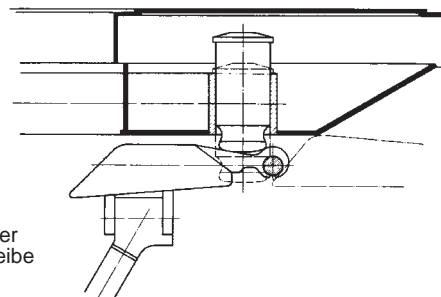
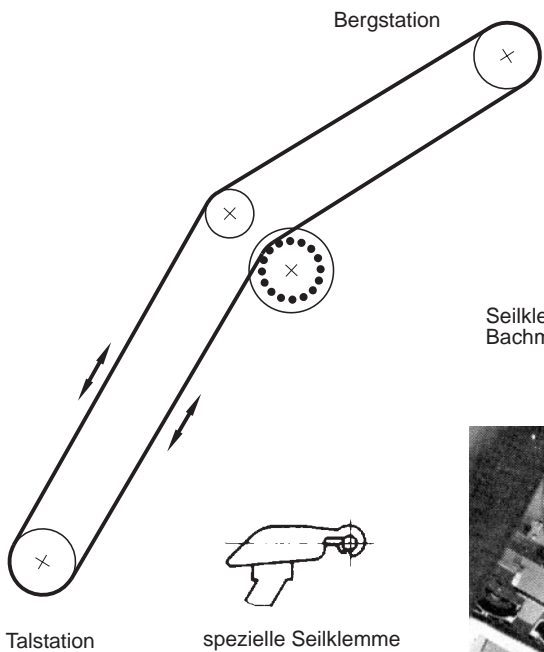


3-stöckige Station

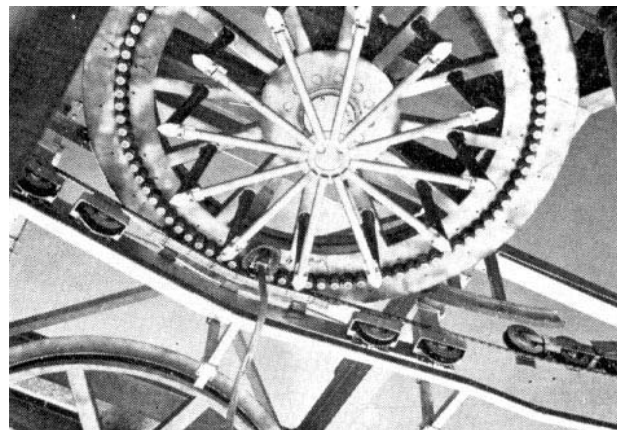
c0140

Foto: Doppelmayr

### Kurvenstationen (4) - Bachmann-Scheibe



Seilklemme in der Bachmann-Scheibe



Talstation

spezielle Seilklemme

- aufwendige Station
- Durchfahrung der Station mit beladenem Fahrzeug berg- und talwärts möglich

c0141

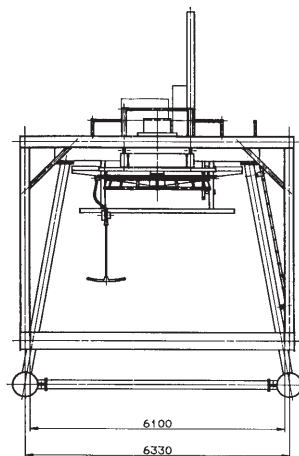
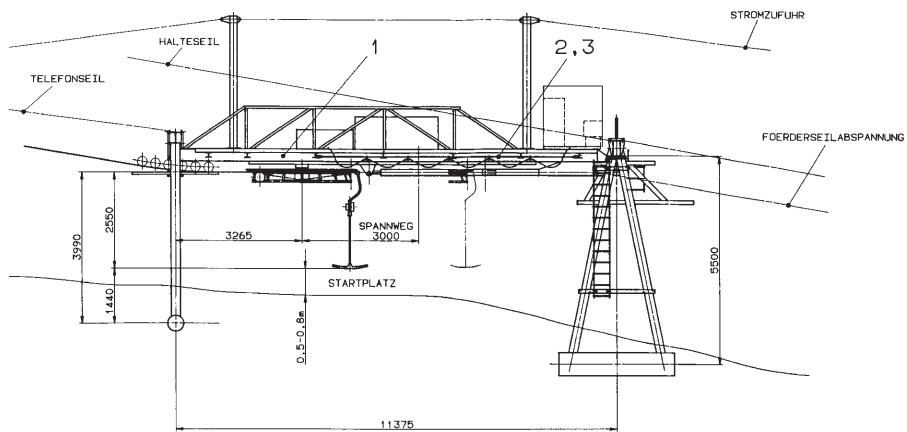
Quelle: ISR SBB 75; ISR 7/78



### 5.3.6 Stationen und Stützen auf Gletschern

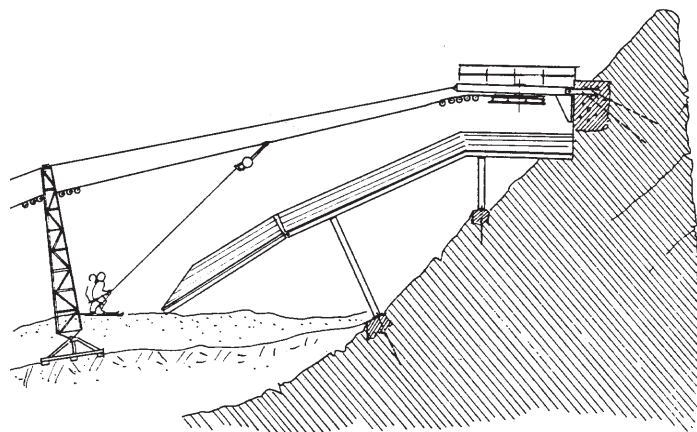
#### Stationen auf Gletschern

##### Schwimmende Antriebs-Spannstation



Quelle: Von Roll

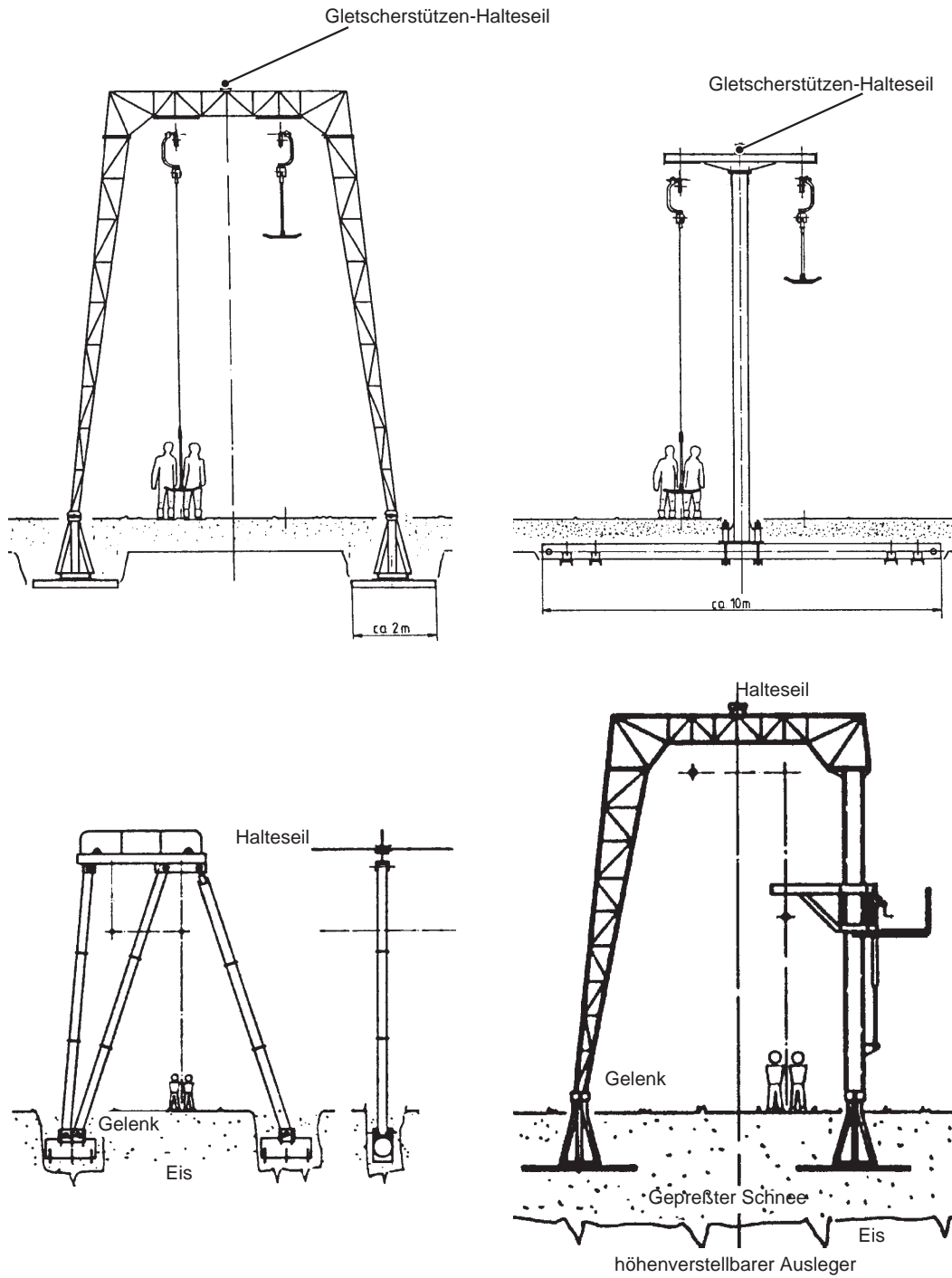
##### Im Fels verankerte Umlenkstation mit Bügelfangrinne



c0142

Quelle: ISR 1/80 - 24

### Stützen auf Gletschern



c0144

Quelle: Von Roll, Doppelmayr

## 5.4 Schleppaufzüge mit hoher Seilführung und kuppelbaren Seilklemmen

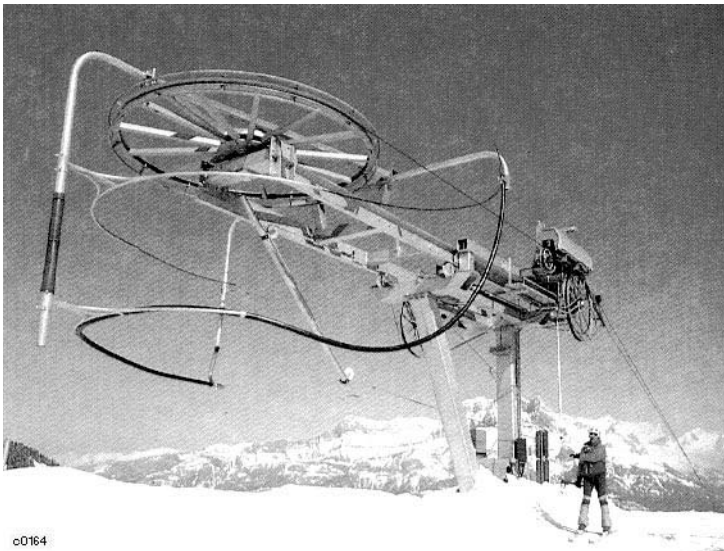
Von einer französischen Firma erfunden und vertrieben, haben die Schleppaufzüge mit hoher Seilführung und kuppelbaren Seilklemmen ihr Verbreitungsgebiet vor allem im französischen Sprachraum. Die aus einer federnd angelenkten Stange bestehenden Gehänge

werden in den Stationen mit einer simplen Selbsthemmungsklemmvorrichtung am Zugseil an- und abgekuppelt. Der am Ende der Stange angebrachte Teller erlaubt nur die Beförderung von Einzelpersonen.



c0163

Antriebsstation



c0164

Umlenkstation mit hydraulischer Spanneinrichtung

Quellen: MIS 4/88

## 6 Seilbahnbau und -betrieb

### 6.1 Leistungsdaten

Leistungsdaten moderner Seilbahnen (weltweit)					
	Fahrzeug- fassungs- vermögen [Pers.]	zulässige Neigung der Seillinie [%]	zulässiger <sup>1)</sup> Boden- abstand [m]	zulässige <sup>1)</sup> Fahrge- schwindigkeit [m/s]	erreichte Förder- leistung [Pers./h]
Standseilbahn	450	100 (83)	-	12	4000 (8000)
Sesselbahn, fest geklemmt	2	100	15 (bis 25) <sup>2)</sup>	2,5 (2,8) <sup>3)</sup>	1440
	4	"	"	2,3 (2,6) <sup>3)</sup>	2400
Sesselbahn, kuppelbar	2	"	"	5,0	1440
	4	"	"	"	2800
	6	"	"	"	3200
Kabinen- Einseilumlaufbahn	4	"	30 (bis 60) <sup>2)</sup>	6,0	1600
	8	"	"	"	2800
	12	"	"	"	3000
Gruppen- Einseilumlaufbahn	5 x 16	"	"	7,0	1000
Doppel- Einseilumlaufbahn	20-33	"	"	7,0	3600 (5000)
Zweiseilumlaufbahn	4	"	"	6,0 (7,0 bei 2 Tragseilen)	1440
	6	"	"	"	2400
	30	"	"	"	2000 (5000)
Zweiseil- pendelbahn	180	"	unbegrenzt	12,0 (10,0 über Stütze)	1450 (1950)
Schleppaufzug mit niedriger Seilführung	1	40	-	2,0	720
Schleppaufzug mit hoher Seilführung	1/2	50/60	-	4,0	1055/1440

1) Richtwerte nach DIN EN 12929 Teil1: teilweise existieren nationale Abweichungen bzw. Soderbestimmungen  
 2) kurzfristig möglicher Bodenabstand zur Überbrückung von Geländeeinschnitten 3) bei Förderbandeinstieg

cd100

## 6.2 Notfall-Bergung

Das erste Ziel aller Maßnahmen bei einem Störfall einer Personenseilbahn ist es, die auf der Strecke befindlichen Fahrgäste entweder direkt in die Talstation zurückzuführen oder zuerst in die Bergstation und von dort auf anderem Wege ins Tal zu bringen. Nur bei einer bodengebundenen Anlage, wie Schleppaufzug oder Standseilbahn, besteht für die Fahrgäste die Möglichkeit, aus eigener Kraft dorthin zu kommen. Nach einer unvorgesehenen Abschaltung einer Seilschwebbahn, egal ob automatisch oder von Hand, versucht das

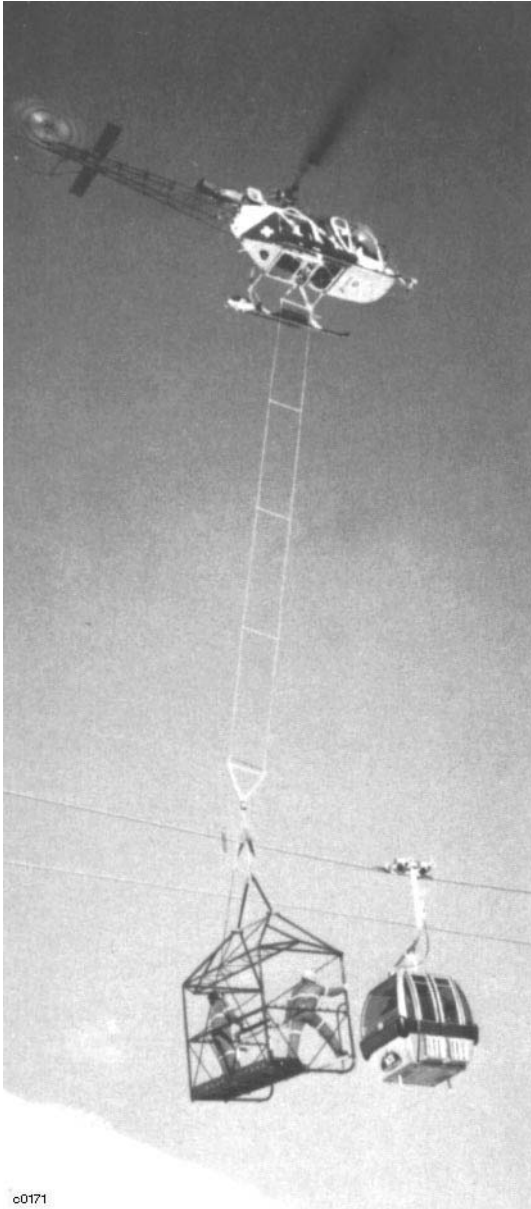
Personal primär, die Störungsursache zu beheben und den normalen Betrieb wieder aufzunehmen. Ist das nicht möglich, kann bei einem elektrischen Defekt meist mit dem Hilfsantrieb bzw. bei einem Schaden am Antrieb mit dem Notantrieb die Bahn mit geringer Geschwindigkeit „leergefahren“ werden. Erst wenn alle drei Maßnahmen versagen, wird die Bergung der Fahrgäste eingeleitet. Abhängig vom Bahntyp stehen mehrere Bergungsmöglichkeiten zur Verfügung:

Notfall-Bergung				
	Bergungsbahn	Hebebühne auf Pistenfahrzeug (selten)	Abseilen	Hubschrauber (Wind, Sicht ?)
Sesselbahn		(●)	●	
reine Einseil- oder Zweiseil-Kabinenumlaufbahn	(●) selten	(●)	●	(●) zu geringe Höhe !
Doppel-Einseil- oder 3-S-Umlaufbahn	● oft		(●) Höhe !	(●)
Zweiseil-Pendelbahn	●		(●) Höhe !	(●)

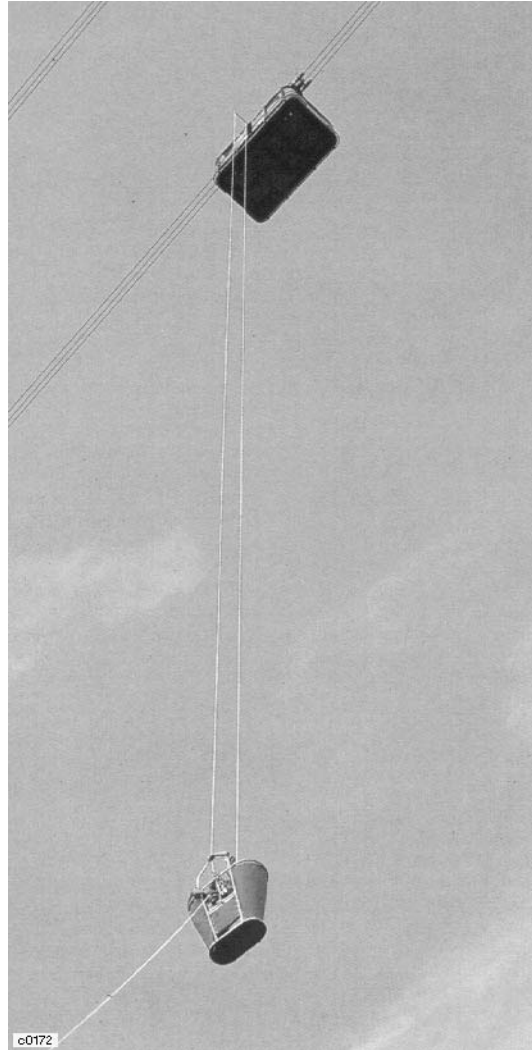
● gut möglich      (●) bedingt möglich

c0101





c0171  
*Bergung per Hubschrauber mit Bergekabine*



c0172  
*Abseilen mit einem Bergkorb*



c0173  
*Auf das Förderseil aufgesetzte Bergekabine*

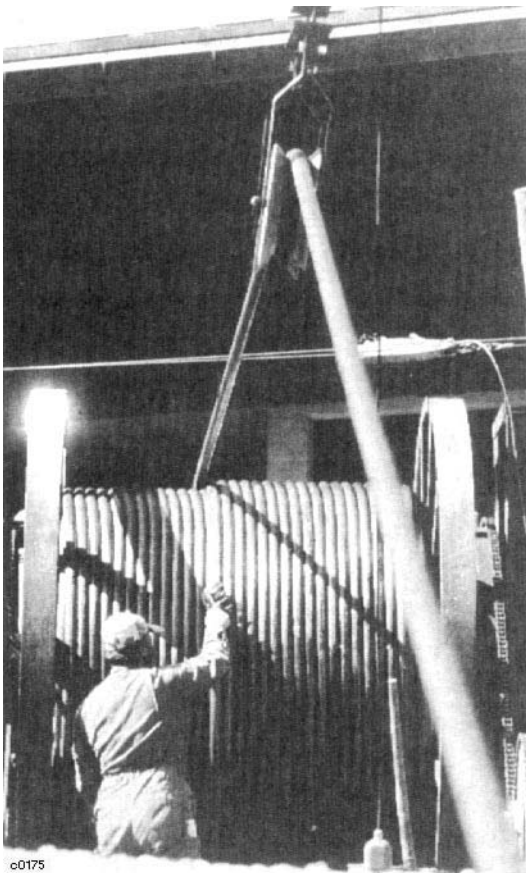


c0174  
*Bergkorb beim Umsteigen der Fahrgäste*

### 6.3 Bau und Montage

Wurden früher alle Bauteile zu Fuß, mit Tragtieren oder einer eigens errichteten leichten Materialseilbahn an die Baustellen gebracht, so übernimmt den Transport der schweren und sperrigen Anlagenteile heute in der Regel der Hubschrauber. Häufig besteht auch eine Forststraße in der Nähe der zukünftigen Seilbahntrasse, die die Zufahrt mit geländegängigen Fahrzeugen erlaubt. Nur beim Bau einer größeren Seilbahn wird meist zuerst eine Materialseilbahn installiert, die Baumaterial wie Beton und kleinere Anlagenteile zu den Stations- sowie Stützen-Baustellen befördert.

Die meist schwierigste Phase beim Bau einer Seilbahn ist das Auflegen der Seile auf die Stützen und die Fixierung bzw. Umlenkung in den Stationen. Die auf großen Trommeln mit bis zu 90 t Einzelgewicht angelieferten Seile können wegen ihres Gewichtes nicht direkt von der Talstation über die Stützen zur Bergstation gezogen werden. Der Seilzug geschieht daher in mehreren Durchgängen mit Seilen von immer größerem Durchmesser.



Tragseilzug



Stützenmontage mit dem Hubschrauber

## 7 Bauelemente von Seilbahnen

### 7.1 Antrieb

Für den normalen Fahrbetrieb und für die Aufrechterhaltung eines kurzzeitigen Notbetriebes zur Rückholung der Fahrgäste besitzen alle Seilbahnen, mit Ausnahme der Schleppaufzüge, 2 oder 3 teilweise bzw. vollständig getrennte Antriebe:

<b>Antrieb (1)</b>			
	Hauptantrieb	Hilfsantrieb	Notantrieb
Motor	E-Motor	Notstromaggregat + E-Motor oder Dieselmotor mit Anfahrkupplung	E-Motor oder Dieselmotor mit Anfahrkupplung oder Hydromotor
Einsatz	Regelfahrbetrieb	provisorischer Betrieb bei Netzstromausfall	kurzzeitiger Notbetrieb zum Rückholen der Fahrgäste, wenn Bauteil im Hauptantriebsstrang defekt
Regelbarkeit	gut		mäßig
Verbindung	direkt an der Antriebsscheibe, durch Kupplung trennbar	an das Hauptgetriebe kuppelbar	direkt an die Antriebsscheibe kuppelbar

c0102

Bei den verschiedenen Bahntypen sind folgende Antriebe vorgeschrieben:

<b>Antrieb (2)</b>			
	Hauptantrieb	Hilfsantrieb	Notantrieb
Standseilbahn, Einseilbahn und Zweiseilumlaufbahn	•	•	
Zweiseilpendelbahn	•	•	•
Schleppaufzug	•		

c0103

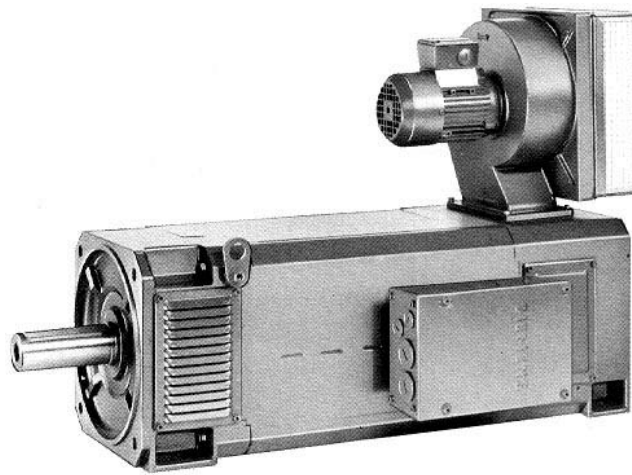
### 7.1.1 Motor

Wegen des günstigen Drehzahl-Momentenverlaufs ist der geregelte Gleichstrom-Nebenschlußmotor bis heute der Standardantrieb bei Seilbahnen. Der benötigte Gleichstrom wird mittels Stromrichter oder Umformer direkt aus dem vom E-Werk bezogenen Drehstrom erzeugt.

Im Gegensatz dazu erfordert die doppelte Energieumwandlung im Frequenzumrichter

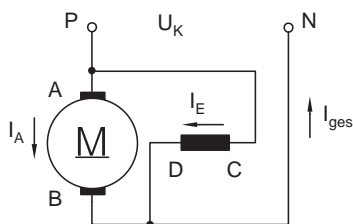
zur Speisung eines Drehstrommotors eine komplizierte Elektronik. Wegen des Mehraufwands an Halbleitertechnologie ist ein geregelter Drehstromantrieb derzeit erst ab einer Leistung über 2000 kW rentabel. Daher kommen Drehstrommotore nur ungerichtet bei geringerem Leistungsbedarf als Schlepplifantrieb (bis ca. 150 kW) oder in Stationsfördereinrichtungen zum Einsatz.

#### Gleichstrom-Nebenschlußmotor

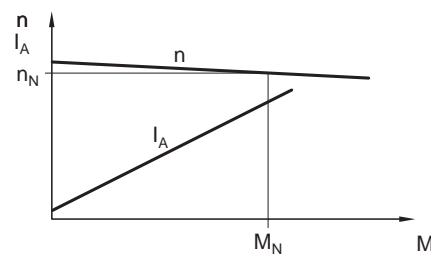


Gleichstrommotor mit aufgebautem Fremdlüfter

#### Schaltung



#### Drehzahl-/Momenten-Kennlinie



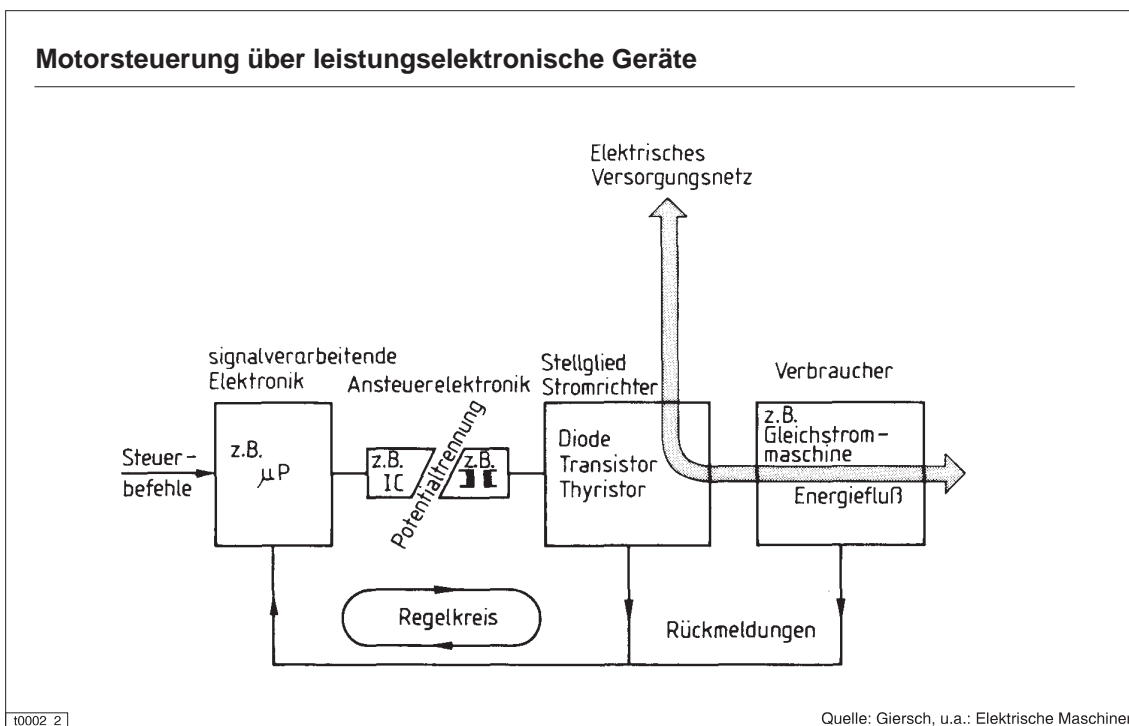
A - B : Ankerwicklung  
 C - D : Nebenschluß - Erregerwicklung

$U_K$  : Klemmenspannung  
 $I_A$  : Ankerstrom  
 $I_E$  : Erregerstrom

10099



## 7.1.2 Motorsteuerung

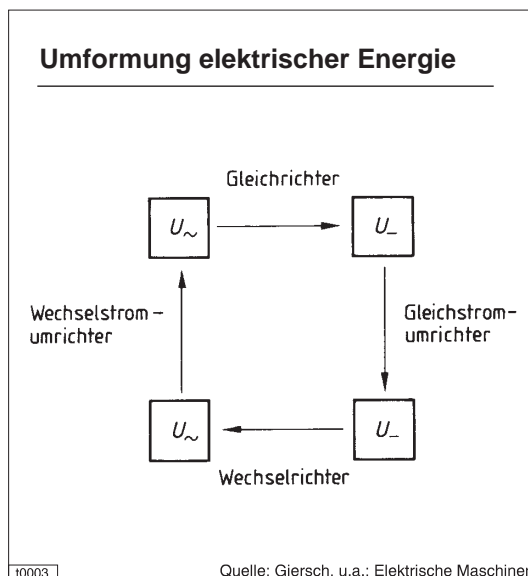


Unter dem Begriff „Stromrichter“ versteht man ein elektronisch arbeitendes Gerät, über das der Energieaustausch zwischen zwei elektrischen Netzen erfolgen kann. Dabei unterscheidet man nach der Wirkungsweise:

- Gleichrichter
- Gleichstromumrichter
- Wechselrichter
- Wechselstromumrichter

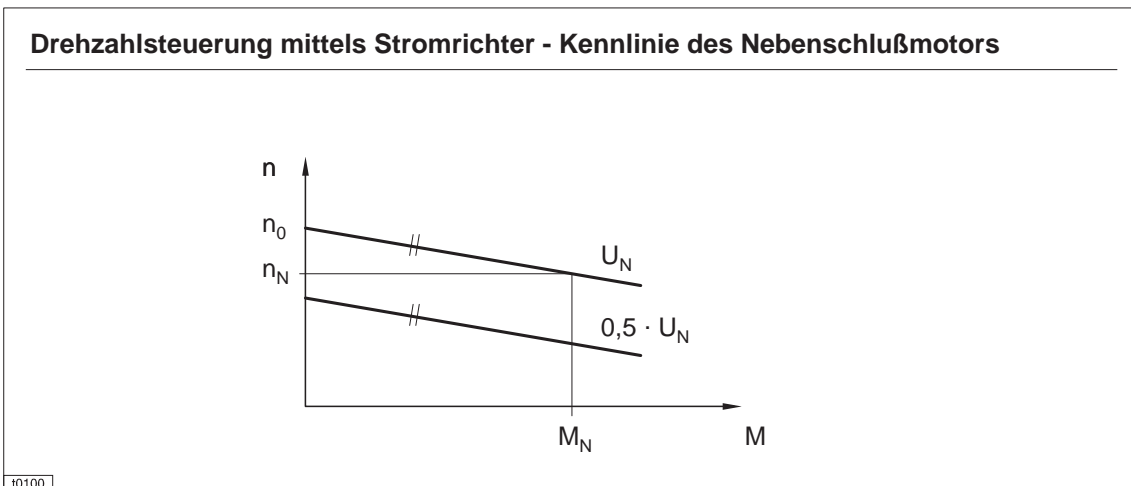
Wichtige Halbleiterelemente:

- Dioden für den ungesteuerten Betrieb
- Thyristoren in verschiedenen Formen für den gesteuerten Betrieb
- Transistoren in bipolarer Ausführung und zunehmend auch Feldeffekttransistoren (FET)

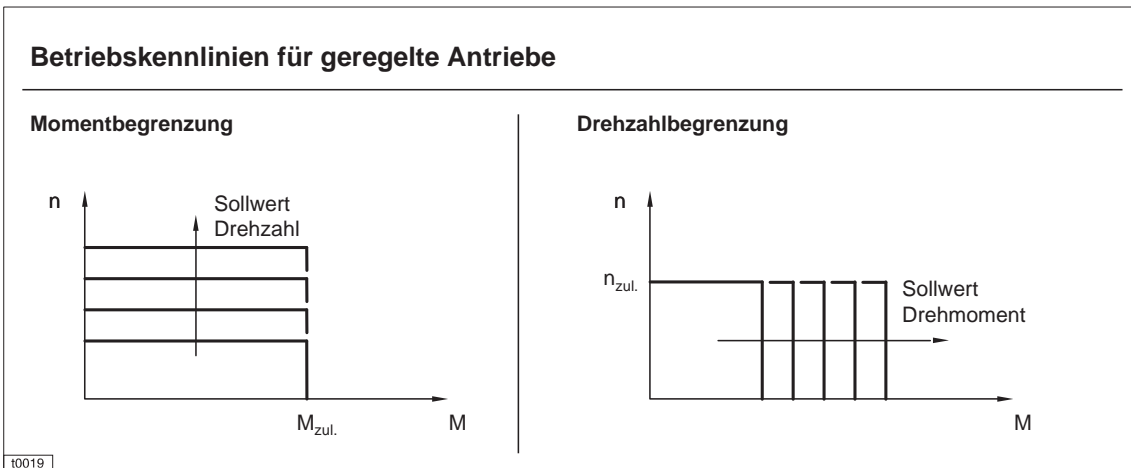




### a) Steuerung mittels Stromrichter



Stromrichter mit elektronischer Regelung ermöglichen die Änderungen von Drehzahl oder Drehmoment in Abhängigkeit des jeweils anderen Parameters.

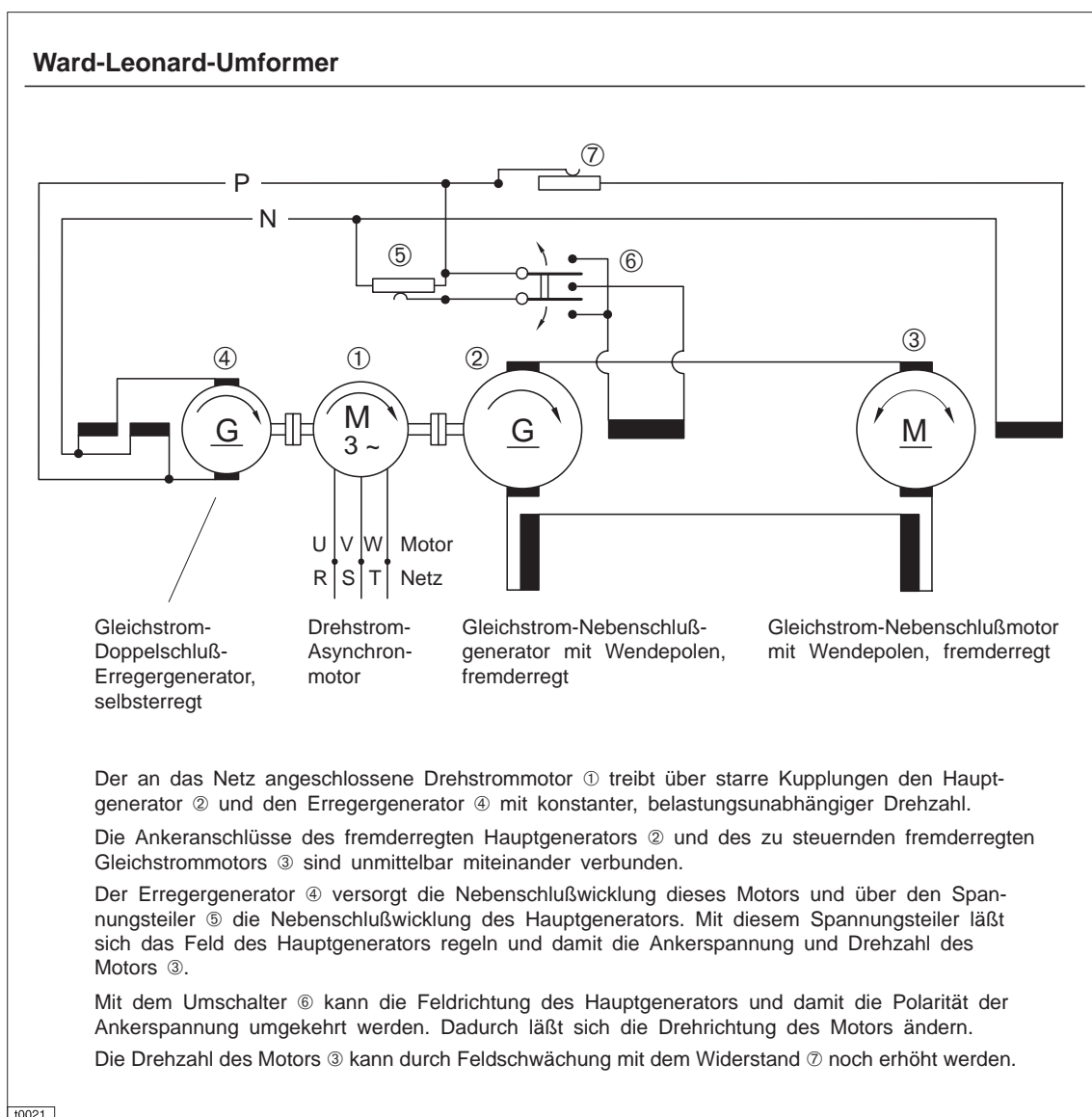


## b) Steuerung über Umformer (Leonardumformer)

Leonardumformer dienen in erster Linie zur verlustarmen Drehzahlsteuerung in einem weiten Bereich. Ihr Vorteil ist, daß sich durch Ändern des geringen Erregerstromes auch große Motoren (Seilbahnen, Hebezeuge, Schiffshebwerke, Prüfstände, u.a.) in der Drehzahl sehr feinstufig steuern lassen. Nachteilig ist ein geringer Gesamtwirkungsgrad ( $\eta_{ges} = 0,75 \dots 0,85$ ) durch die dreimalige Energieumformung. Das ist auch der Grund, warum Leonardumformer für kleinere Maschinen mit ihrem geringen Wirkungsgrad unwirtschaftlich arbeiten.

Da man heute auch große Motoren mit Stromrichtern bei geringerem Aufwand und hohem Gesamtwirkungsgrad feinstufig steuern kann, hat der Leonardumformer stark an Bedeutung verloren. Er findet sich allerdings noch sehr häufig bei älteren Anlagen.

Der Maschinensatz ist aufgebaut aus einer beliebigen Antriebsmaschine (Elektromotor, Verbrennungsmotor, Turbine) mit konstanter Drehzahl, an die ein fremderregter Gleichstromgenerator und ein kleiner Hilfsgenerator starr gekuppelt sind. Die Ankerwicklungen des zu steuernden fremderregten Gleichstrom-Nebenschlußmotors und des Hauptgenerators sind unmittelbar verbunden.



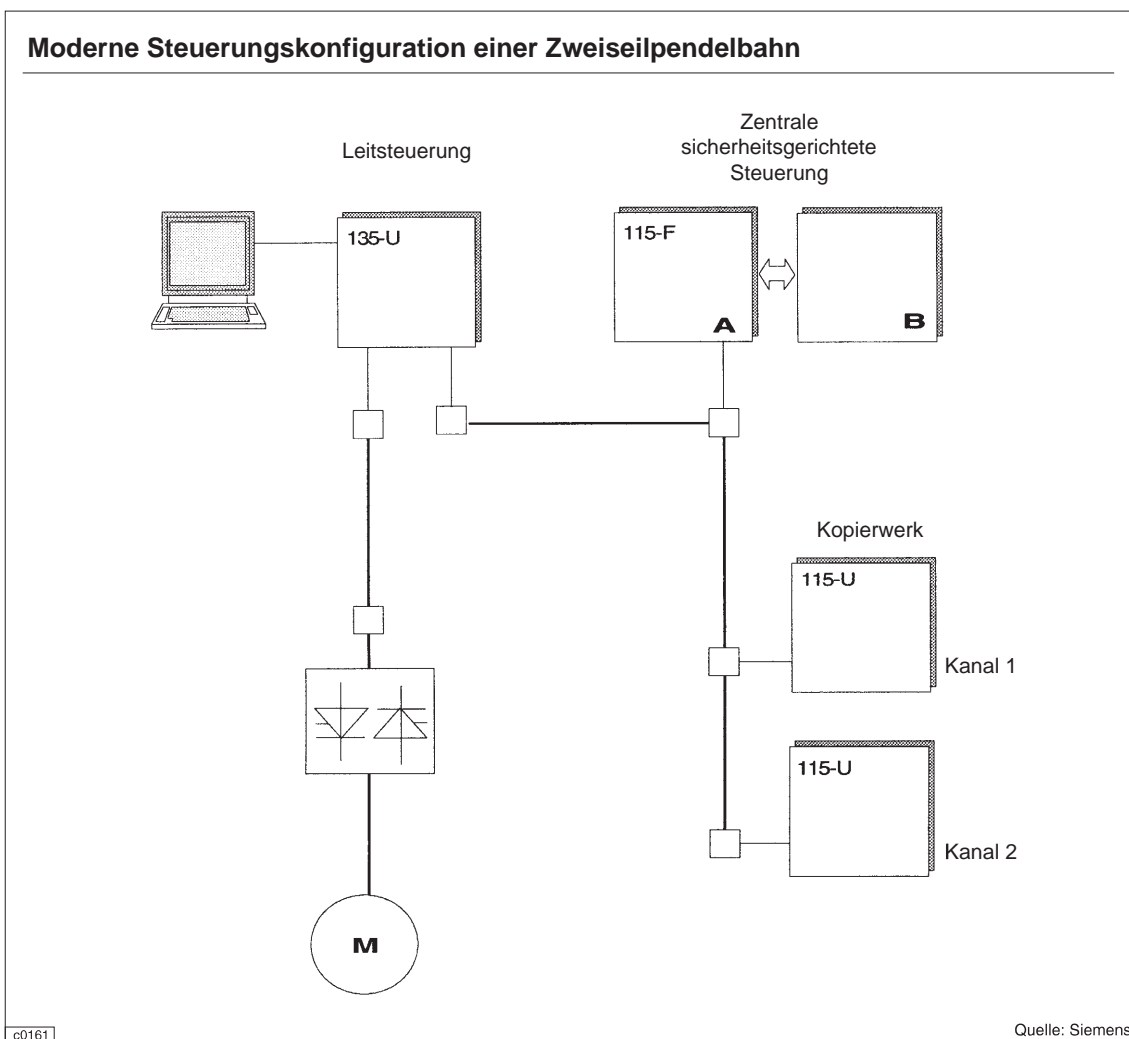
## 7.2 Anlagensteuerung

Bis zur Einführung der ersten automatischen Steuerungen etwa in der Mitte dieses Jahrhunderts wurden Seilbahnen ausschließlich per Hand vom Maschinisten am Schaltpult gesteuert. Diese auch heute noch weit verbreiteten analogen Systeme steuern alle Funktionen selbständig, die zum sicheren Betrieb einer Seilbahn notwendig sind. Eine analoge Steuerung ist aus elektrischen Bauelementen und z.T. schon elektronischen Schaltkreisen verbindungsprogrammiert aufgebaut, d.h. das Steuerungsprogramm ist durch eine feste Verdrahtung (Hardware) realisiert.

Heute wird ausschließlich die digitale Steuerung in Form der speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) eingesetzt, bei der das Steu-

erungsprogramm als Software vorliegt. Daraus resultieren wesentliche Vorteile für Betrieb und Wartung:

- absolut drifffreie Funktion
- kürzeste Schaltzeiten
- erweiterte Steuerungsfunktionen wie Redundanz, Fehlerselbsterkennung und Selbstoptimierung, die zu höherer Sicherheit führen, einfach realisierbar
- wenige verschleißanfällige Bauteile wie Potentiometer oder Relais
- hohe statische Genauigkeit und exakt reproduzierbare Einstellbarkeit (Bauteilwechsel)
- geringer Platzbedarf



### 7.3 Bremsen

Die normalen Fahrzustände einer Bahn werden rein elektrisch über die Drehzahl des Antriebsmotors geregelt. Dabei sind voreingestellte, konstante Verzögerungen einzuhalten.

Für Anlagenstillstand, extreme Lastfälle und Notsituationen stehen an jedem Antrieb mindestens 2 voneinander unabhängige Bremsensysteme zur Verfügung:

<b>Bremsen (1)</b>			
	Betriebsbremse	Sicherheitsbremse	Fangbremse
Bauart	Trommel o. Scheibe	Trommel o. Scheibe	Zange
Wirkung auf	Motorwelle oder Antriebsscheibe	Antriebsscheibe	Tragseil/Schiene
Regelbarkeit	gut	mäßig	schlecht
Einfall bei	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stillstand der Anlage (Haltebremse)</li> <li>- 10% Übergeschwindigkeit</li> <li>- 20% Überstrom des Antriebsmotors</li> <li>- Stromausfall</li> <li>- Grenzlage des Zugseilspanngewichts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fehlfunktion der Betriebsbremse</li> <li>- 20% Übergeschwindigkeit</li> <li>- manueller Betätigung der Not-Aus-Taste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zugseilriß (Schlaffseilauslösung)</li> <li>- 30% Übergeschwindigkeit</li> <li>- Handauslösung durch den Wagenbegleiter</li> </ul>

c0104

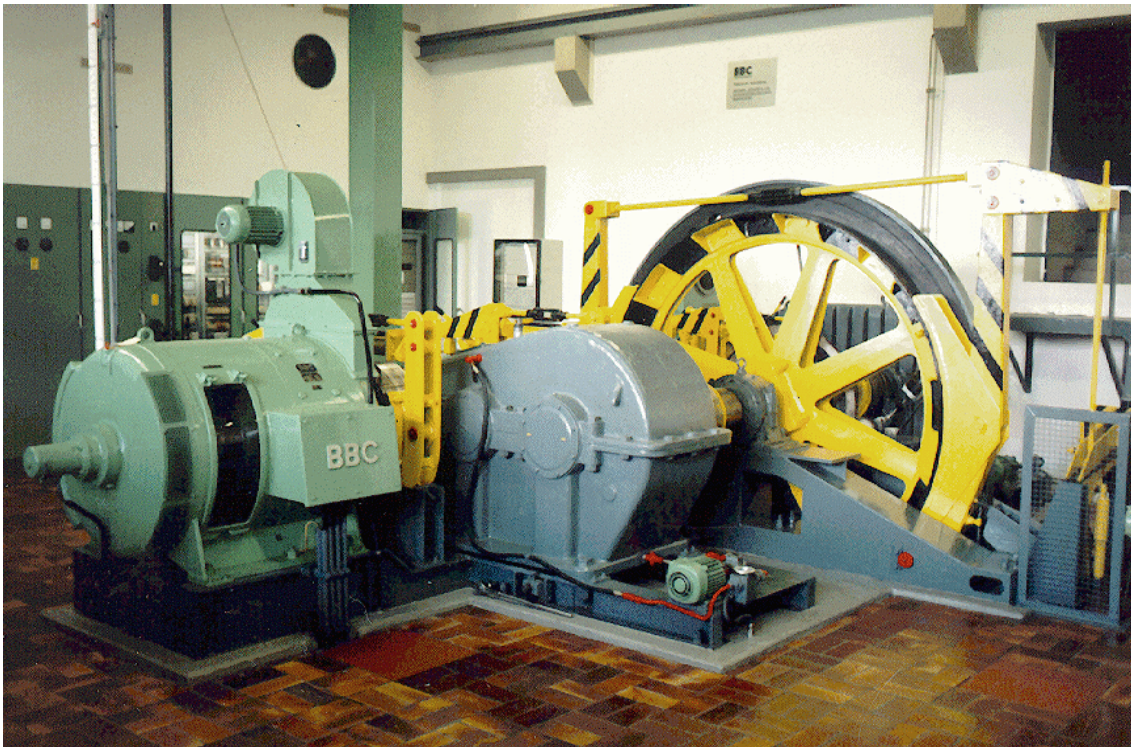
Verwendung der Bremssysteme bei den verschiedenen Seilbahntypen:

<b>Bremsen (2)</b>			
	Betriebsbremse	Sicherheitsbremse	Fangbremse
Standseilbahn	•	•	•
Einseilbahn und Zweiseilumlaufbahn	•	•	
Zweiseilpendelbahn	•	•	•
Schleppaufzug	•		

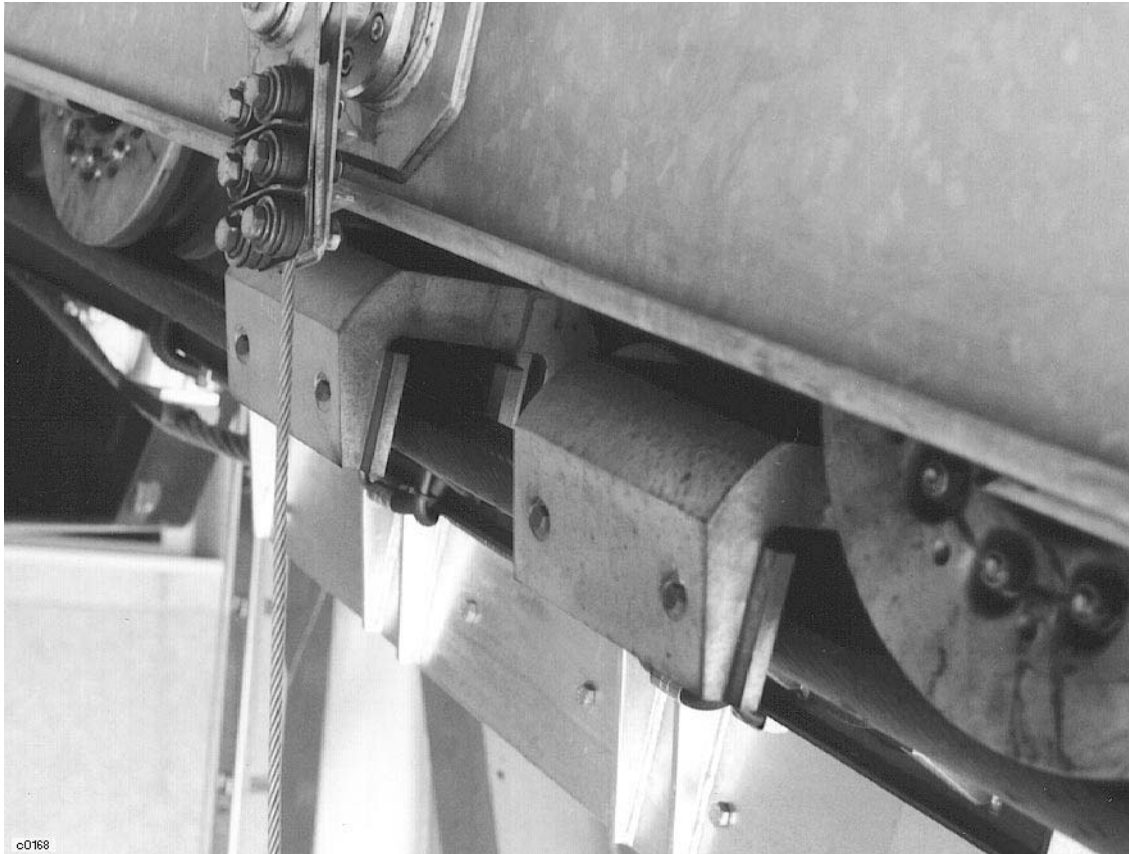
c0105

In der Regel wird heute bei allen Systemen die Bremskraft durch Tellerfedern erzeugt, wobei alle Bremsen als sog. Lösebremsen konzipiert werden. Das Öffnen und die Rege-

lung der Bremsen erfolgt meist hydraulisch. Die Bremsen müssen nachstellbar sein und werden für den ungünstigsten Lastfall mit 1,5-facher Sicherheit ausgelegt.



*Pendelbahnantrieb mit Betriebs- und Sicherheitsbremse (hier: Trommelbremsen)*



*Trageseilfangbremse am Laufwerk der Zugspitz-Gletscherbahn*



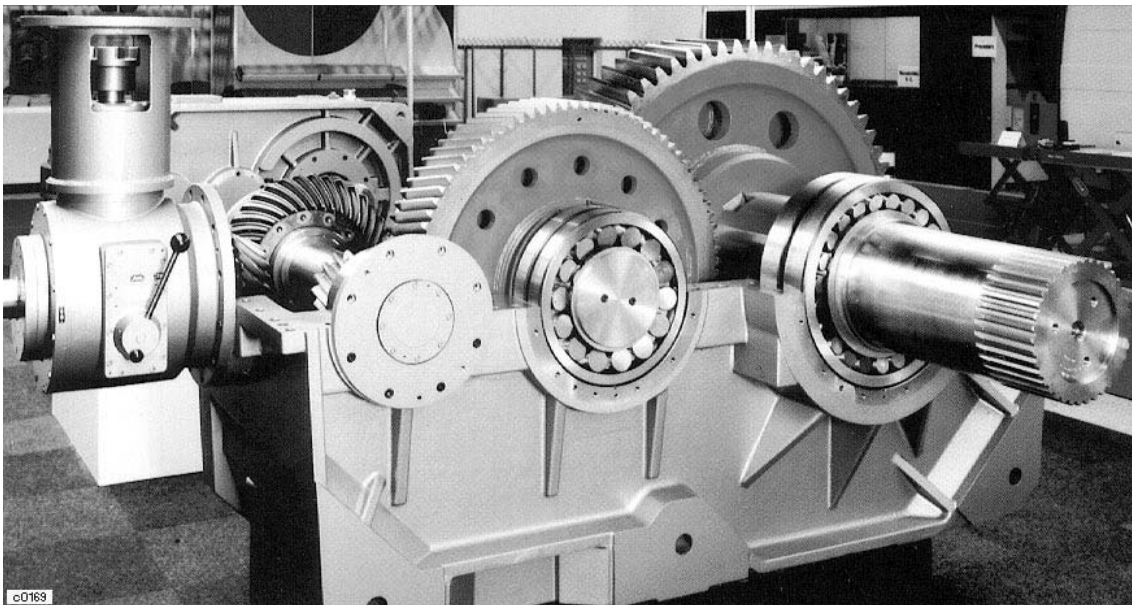
## 7.4 Getriebe

Seilbahnspezifische Getriebe-Anforderungen:

- geräuscharmer Betrieb
- für breiten Temperaturbereich geeignet
- möglichst leicht bzw. in kleinere Einheiten zerlegbar für den Hubschraubertransport
- Modulsystem für verschiedene Antriebsanordnungen, z.B. Brücken-, Pilz- oder Unterflurantrieb zur einfacheren Wartung
- geringe rotierende Massen für erhöhte Sicherheit

Seilbahngetriebe sind meist 2-stufig und je nach Lage der Antriebsscheibe aus einer Kombination von Stirnrad-, Kegelrad- oder Planetenradstufen aufgebaut. Neben der An- und Abtriebswelle ist zusätzlich oft ein Eingang für den Hilfsantrieb vorhanden. Die Getriebe sind voll gekapselt.

Getriebeübersetzung  $i = n_{\text{Motor}} / n_{\text{Antriebsscheibe}}$



*Kegelstirnradgetriebe mit Hilfsantrieb*

## 7.5 Seile

### 7.5.1 Einteilung der Drahtseile nach ihrem Verwendungszweck

Drahtseile werden eingeteilt in:

- laufende Seile
- stehende Seile
- Tragseile
- Anschlagseile

**Laufende Seile** sind Seile, die über Seilrollen (Seilscheiben), Treibscheiben, Scheiben und Trommeln laufen und dabei deren Krümmungen annehmen,

z.B.: **Zugseile von Seilbahnen**, Hubseile, Einziehseile, Fahrseile von Kranen, Aufzugseile, Schrapperseile .

**Stehende Seile** sind Seile, die nicht über Rollen laufen und deren Enden in Festpunkten gelagert sind,

z.B.: Abspannseile für Masten und Ausleger, Führungsseile für Aufzüge.

**Tragseile** sind Seile, auf denen Rollen von Fördermitteln laufen. Sie haben eine ähnliche Funktion wie Laufschiene. Der Krümmungsradius eines Tragseiles unter der Laufrolle ist größer als der Laufrollenradius,

z.B.: **Tragseile für Seilbahnen**, Kabelkrane, Kabelschrapper.

**Anschlagseile** dienen zum Anhängen und Umschlingen von Lasten.

## 7.5.2 Seilarten, Seilkonstruktionen

DIN 3051 Blatt 2:

Seilarten						Bild
Rundseil	Spiralseil (Rundlitze)	einfach verseilt	(offenes) Spiralseil (Rundlitze)	—	—	1
			verschlossenes Spiralseil	halbverschlossenes Spiralseil	—	2
				vollverschlossenes Spiralseil	—	3
	Litzenseil	zweifach verseilt	Rundlitzenseil	einlagiges Rundlitzenseil	—	4
				mehrlagiges Rundlitzenseil	Spiral- Rundlitzenseil	5
					Parallel- Rundlitzenseil	6
			Formlitzenseil	Dreikantlitzenseil	—	7
				Flachlitzenseil	einlagiges Flachlitzenseil	8
					mehrlagiges Flachlitzenseil	9
	Kabelschlagseil	dreifach verseilt	—	—	—	10
	Flechtseil	ge- flochten	—	—	—	11
Flachseil	—	einfach genäht	—	—	—	12
	—	doppelt genäht	—	—	—	13

b0012

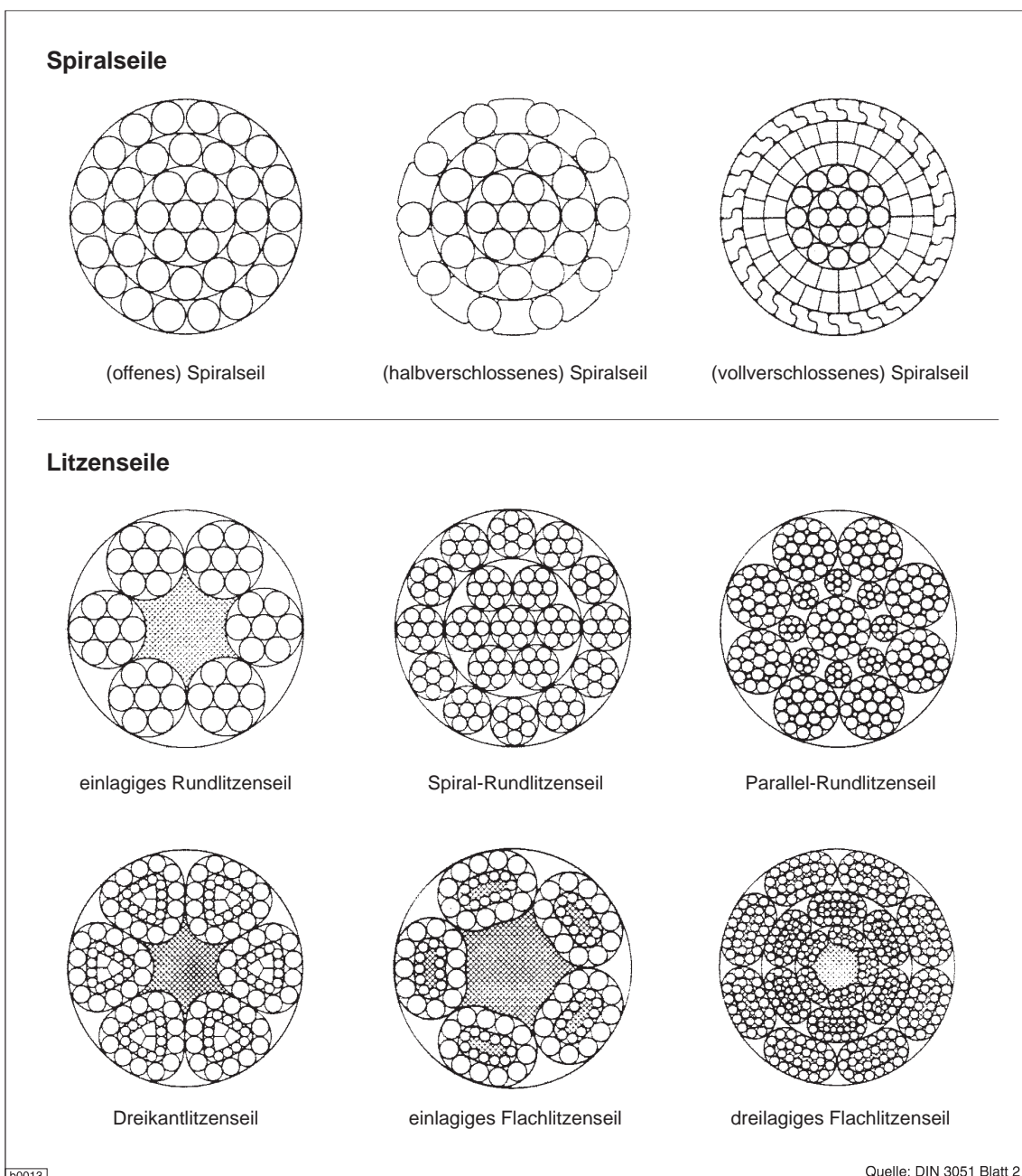
### Spiralseile

Beim Spiralseil werden relativ dicke Einzeldrähte direkt verseilt. Den Vorgang des Verseilens bezeichnet man auch als „Schlagen“. Spiralseile nehmen hohe Zugkräfte auf, sind jedoch nur wenig biegsam. Deshalb werden sie meist als „stehende Seile“ verwendet.

Bildet man die Drähte der äußeren Lagen als Formdrähte aus, dann kann man eine geschlossene und glatte Oberfläche des Seils erreichen.

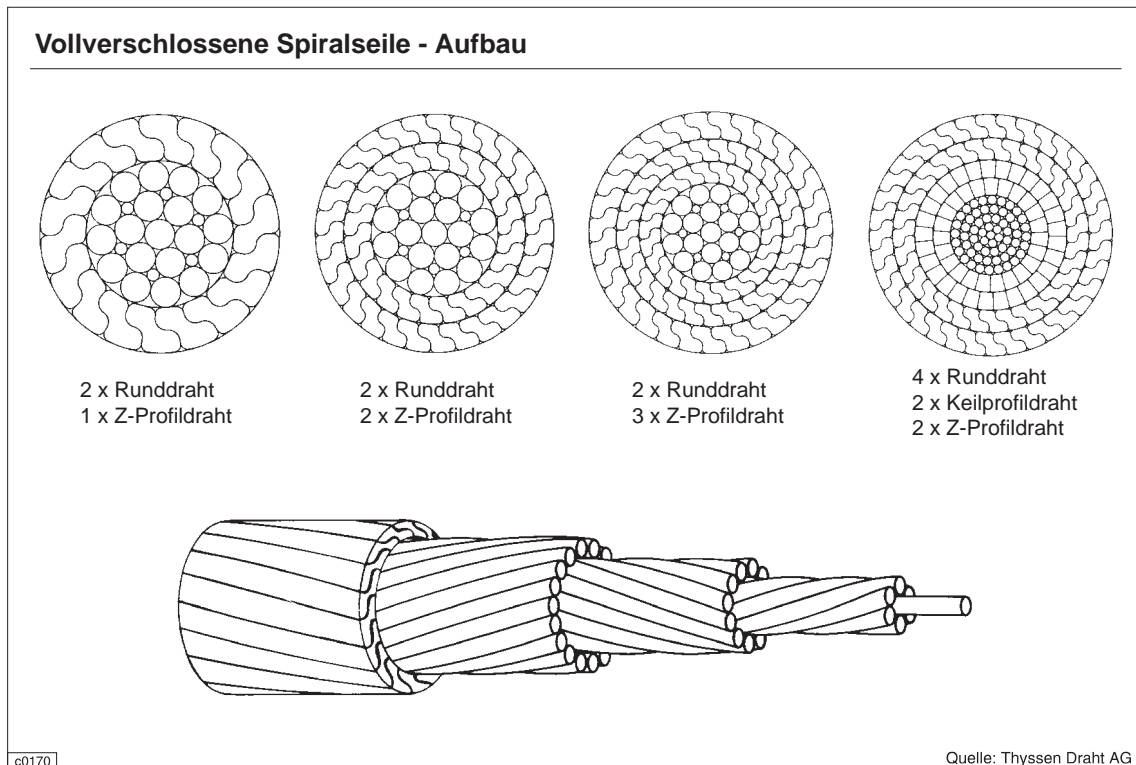
### Litzenseile

Bei den Litzenseilen werden dünne Einzeldrähte schraubenlinienförmig um eine Einlage (Litzeneinlage oder Litzenkern) gewunden und diese wiederum schraubenlinienförmig um eine Einlage (Seele) zum Seil geschlagen. Durch die Einlagen in den Litzen und im Seil, die meist aus Faserwerkstoffen bestehen, erhält man eine hohe Biegsamkeit. Litzenseile werden daher überwiegend als „laufende Seile“ eingesetzt.

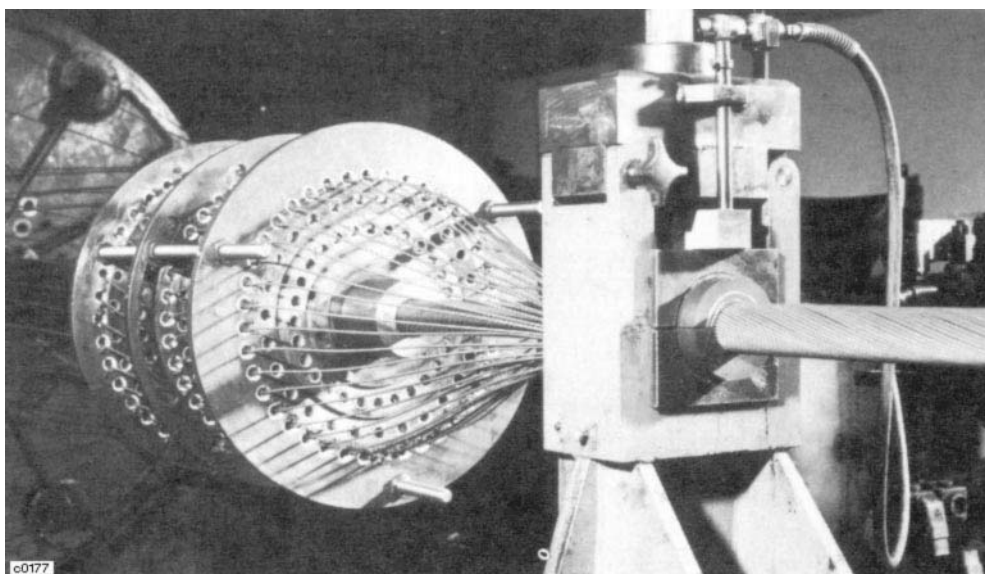


### 7.5.3 Vollverschlossene Spiralseile

#### 7.5.3.1 Aufbau

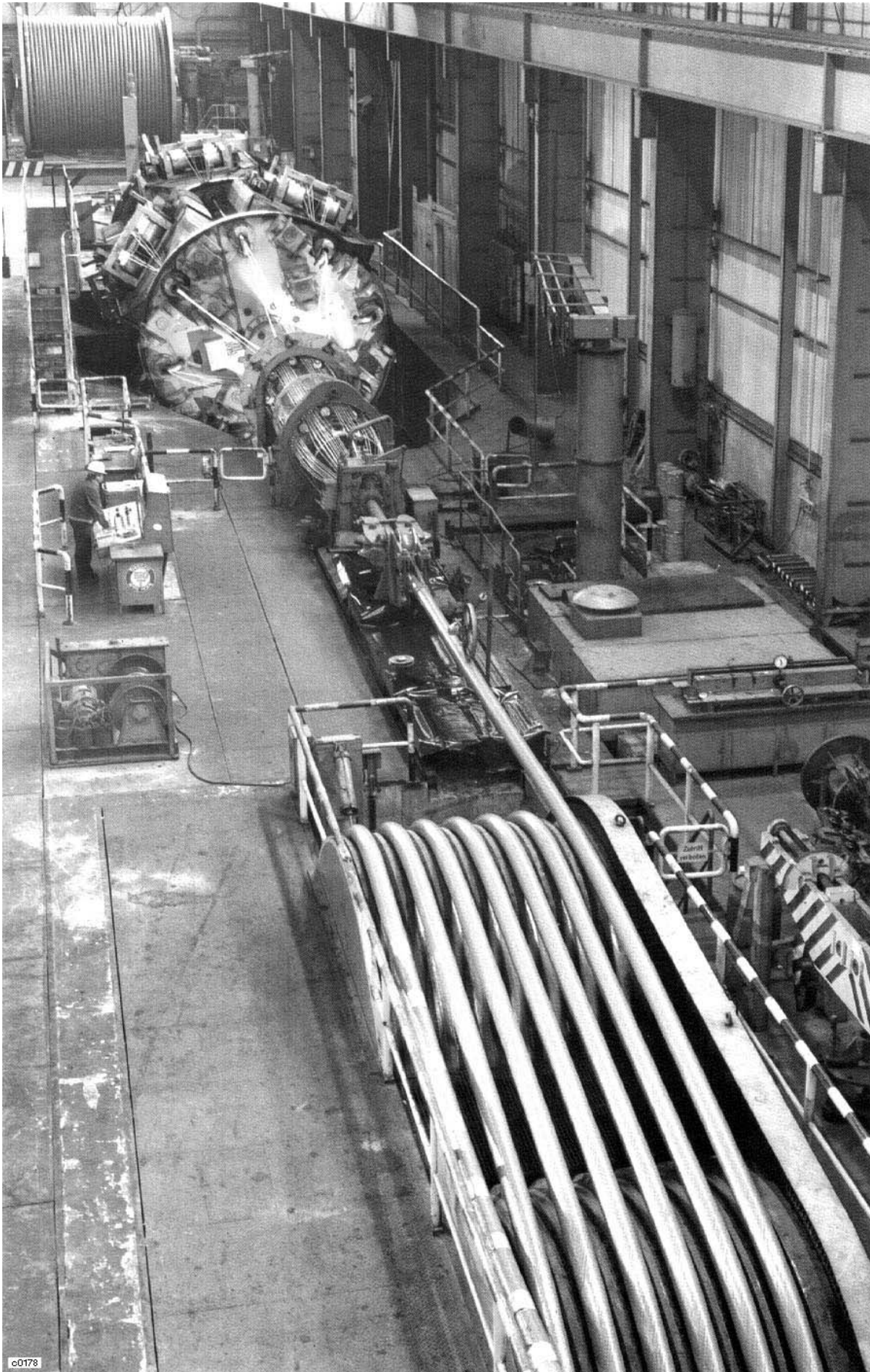


#### 7.5.3.2 Herstellung



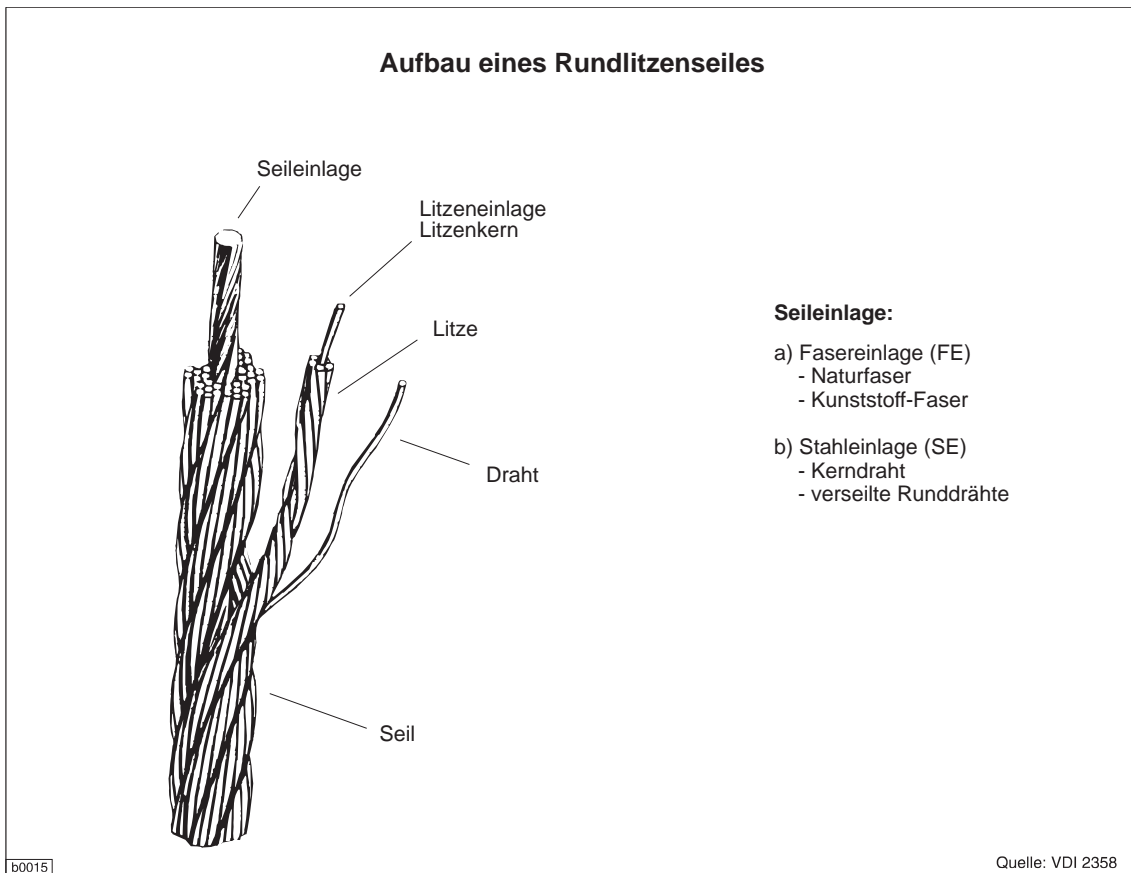
Verseilkopf





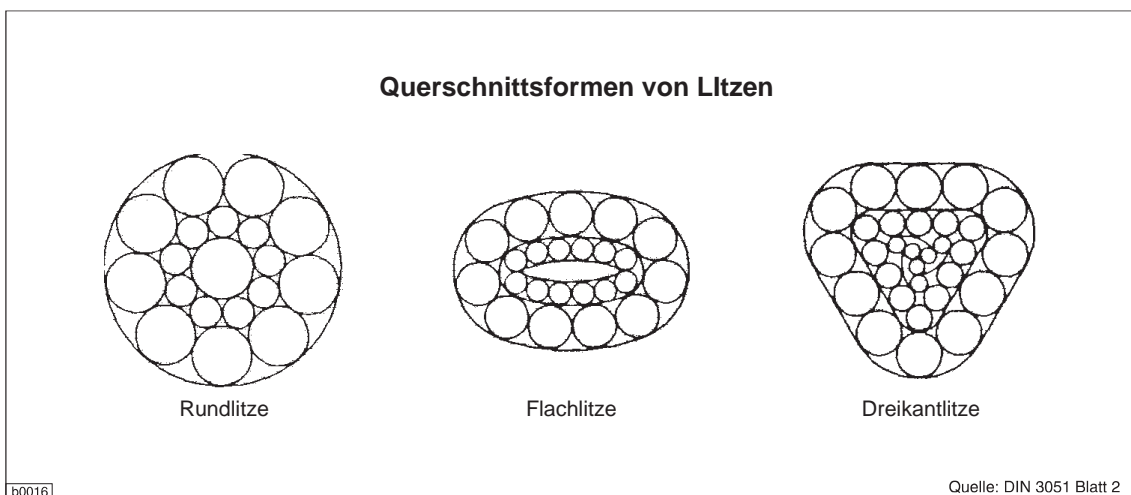
*Korbverseilmaschine (bei der Fertigung eines Brückenseiles mit 167 mm Durchmesser)*

## 7.5.4 Litzenseile



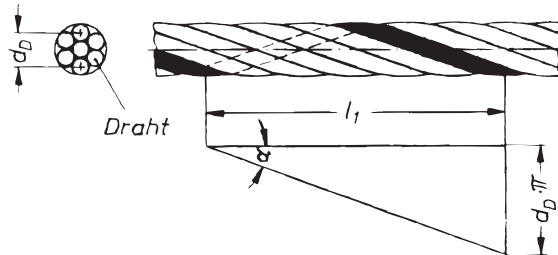
### 7.5.4.1 Aufbau von Litzen

Eine Litze besteht aus einer Litzeinlage (Kerndraht oder mehrere Drähte, auch Fasergarn) und einer Lage oder mehreren Lagen von Runddrähten. Die Runddrähte sind schraubenlinienförmig um die Litzeinlage verseilt.



### Schlaglänge der Litze

Die Schlaglänge  $l_1$  der Litze ist die Ganghöhe der schraubenlinienförmig liegenden Außendrähte.



Schlaglänge  $l_1$  der Litze und der Schlagwinkel  $\alpha$  der Drähte in der Litze:

$$\tan \alpha = d_D \cdot \pi / l_1$$

$d_D$  ist der Durchmesser des Kreises, der durch die Mittelpunkte der Querschnittsflächen der Außendrähte gelegt ist.

### Schlagrichtung der Drähte in der Litze

Die Schlagrichtung ist rechtsgängig (Kurzzeichen: z) oder linksgängig (Kurzzeichen: s).



rechtsgängig (z)



linksgängig (s)

b0017

Quelle: DIN 3051 Blatt 2

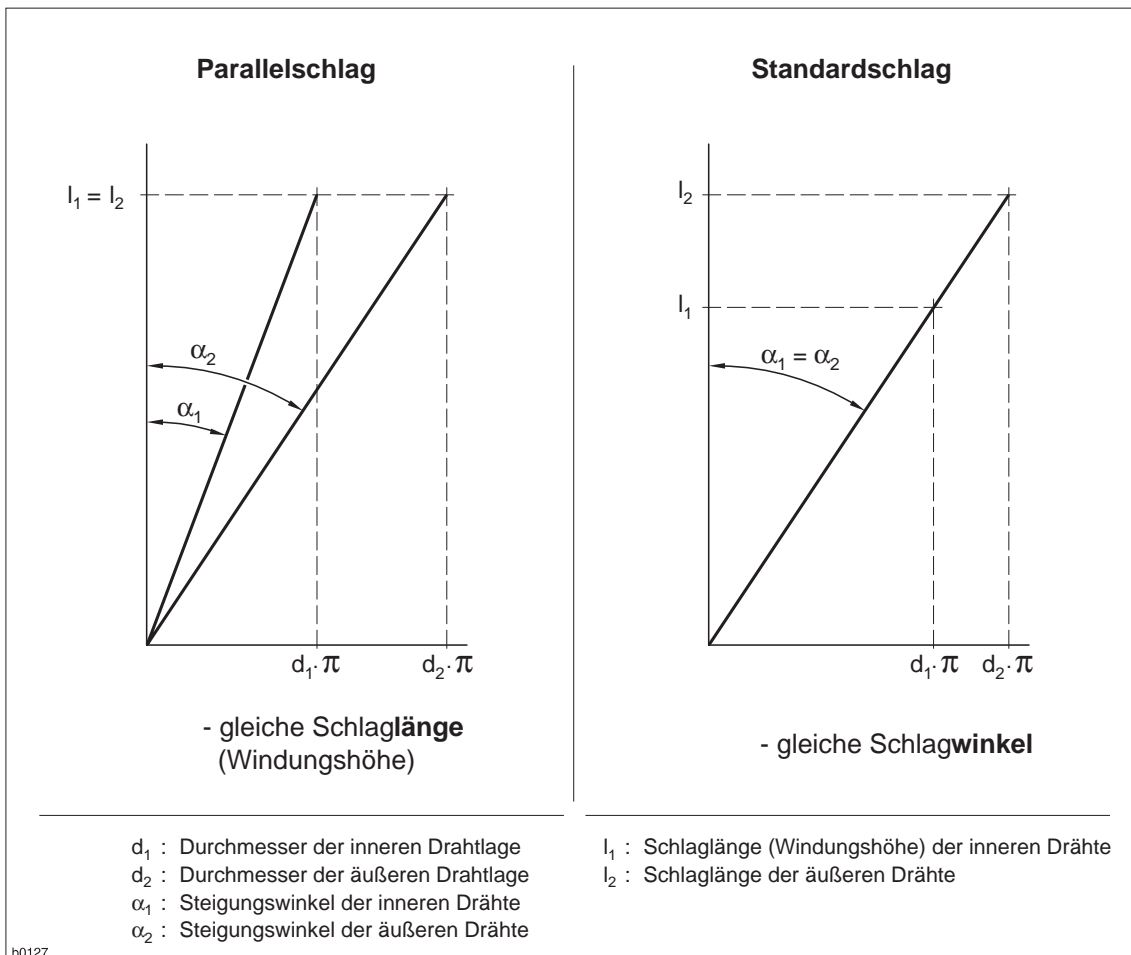
## Verseilart von Litzen

### • Parallelverseilung (Parallelschlag)

Die Drähte aller Lagen liegen zueinander parallel. Sie haben daher in allen Lagen die gleiche Schlaglänge und Schlagrichtung. Die Drähte haben gruppenweise entsprechend ihrer Lage im Querschnitt der Litze verschiedene Durchmesser. Alle Drähte der Litze werden in einem einzigen Arbeitsgang gemeinsam verseilt.

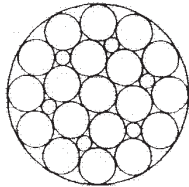
### • Standardverseilung (Standardschlag)

Die Drähte haben im allgemeinen in allen Lagen der Litze die gleiche Schlagrichtung, jedoch stets verschiedene Schlaglängen. Die Drähte benachbarter Lagen überkreuzen sich daher. Die Schlaglänge der Drähte der einzelnen Lagen sind so aufeinander abgestimmt, daß der Schlagwinkel der Drähte in allen Lagen gleich ist. Die Drähte werden lagenweise in aufeinanderfolgenden Arbeitsgängen verseilt. Sie haben im allgemeinen gleiche Durchmesser. Der Kerndraht soll jedoch dicker sein, um den übrigen Drähten eine ausreichende Auflage zu geben.



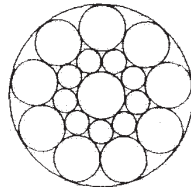
## Litzenquerschnitte

### Parallelverseilung



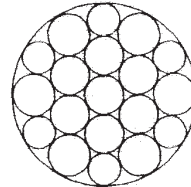
Filler

DIN 3057  
 $1 + 6 + 6F + 12 = 19$   
 Jede Drahtlage hat gleich dicke Drähte. In den Lücken liegen dünne Fülldrähte



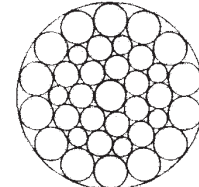
Seale

DIN 3058  
 $1 + 9 + 9 = 19$   
 Zwei Drahtlagen mit gleicher Anzahl von Drähten unterschiedlichen Durchmessers



Warrington

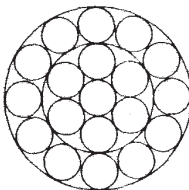
DIN 3059  
 $1 + 6 + (6 + 6) = 19$   
 Innere Lage aus gleich dicken Drähten, äußere aus doppelt so vielen abwechselnd dicken und dünnen Drähten



Warrington-Seale

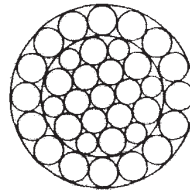
DIN 3064  
 $1 + 7 + (7 + 7) + 14 = 36$

### Standardverseilung



DIN 3060  
 $1 + 6 + 12 = 19$  Drähte

### Verbundlitze



Querschnitt einer Verbundlitze Warrington gedeckt (Kombination von Parallel- und Standardverseilung)

DIN 3065  
 $1 + 6 + (6 + 6) + 16 = 35$

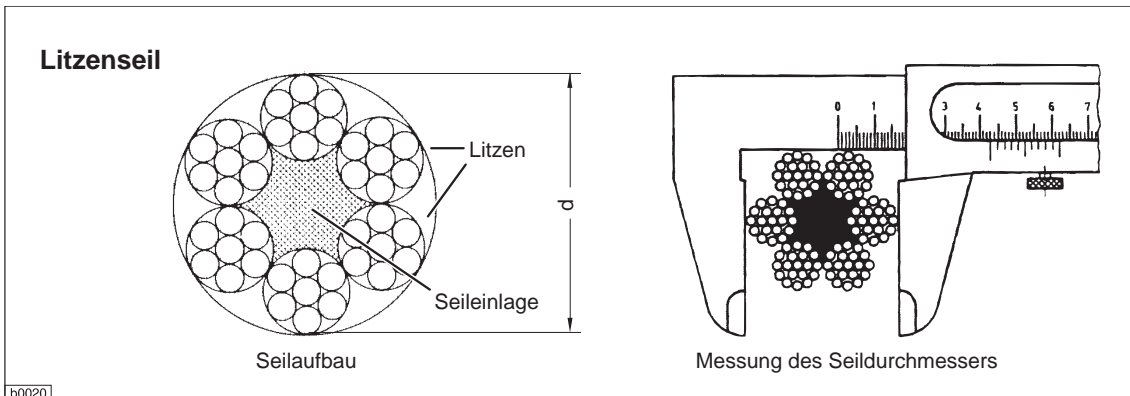
b0019

Quelle: DIN 3051 Blatt 2



### 7.5.4.2 Aufbau von Litzenseilen

Ein Seil besteht i.a. aus mehreren Litzen, die in einer oder mehreren Lagen schraubenförmig um eine Einlage verseilt sind.



**Schlaglänge des Rundseils**

Die Schlaglänge  $l_2$  eines Rundseils ist die Ganghöhe der schraubenlinienförmig liegenden Außendrähte (Spiralseil) bzw. der Außenlitzen (Litzenseil) bzw. der Außenseile (Kabelschlagseil).

Schlaglänge  $l_2$  des Litzenseils und Schlagwinkel  $\beta$  der Litzen im Seil:

$$\tan \beta = d_L \cdot \pi / l_2$$

$d_L$  ist der Durchmesser des Kreises, der durch die Mittelpunkte der Querschnittsflächen der Außendrähte (Spiralseil) bzw. der Außenlitzen (Litzenseil) bzw. der Außenseile (Kabelschlagseil) gelegt ist.

**Schlagrichtung der Litzen im Rundseil**

Die Schlagrichtung ist rechtsgängig (Kurzzeichen: Z) oder linksgängig (Kurzzeichen: S). Sie wird bei Spiralseilen auf die Außendrähte, bei Litzenseilen auf die Außenlitzen und bei Kabelschlagseilen auf die Außenseile bezogen.

rechtsgängig (Z)      linksgängig (S)

**Schlagart des Litzenseils**

**Kreuzschlag**

Die Schlagrichtung der Drähte in den Litzen ist entgegengesetzt der Schlagrichtung der Litzen im Seil.

**Gleichschlag**

Die Schlagrichtung der Drähte in den Litzen ist gleich der Schlagrichtung der Litzen im Seil.

rechtsgängig (sZ)    linksgängig (zS)      rechtsgängig (zZ)    linksgängig (sS)

Quelle: DIN 3051 Blatt 2

b0021

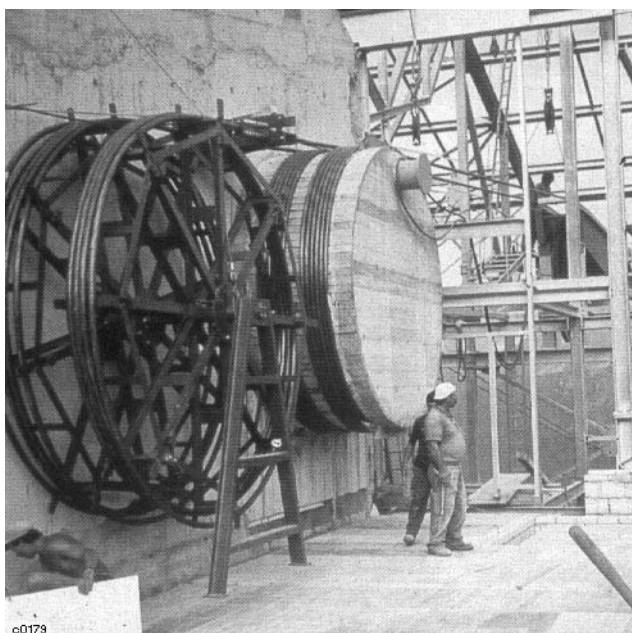
### 7.5.5 Seilverbindungen

Die im Seilbahnbau üblichen hohen Sicherheitsmaßstäbe und die großen Seildurchmesser erfordern andere Seilverbindungen als in den übrigen Bereichen der Fördertechnik üb-

lich. Je nach Bahntyp und Befestigungsort kommen unterschiedliche Techniken zur Anwendung:

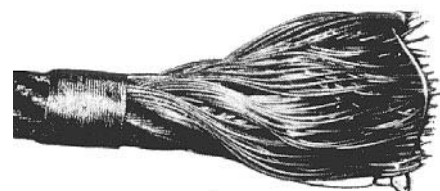
Seilverbindungen				
Befestigungsort	Förderseil / Zugseil (Umlaufbahn)		Zugseil (Pendelbahn)	Tragseil
	Seilende	Fahrzeuge	Fahrzeuge	Stationen
Klemme (fest/kuppelbar)		•		
Spleiß	•			
Vergußkegel mit Kupplung			•	•
Trommelverankerung			•	•

c0106



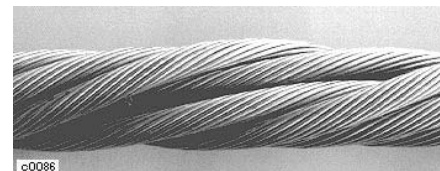
c0179

Trommel-/Pollerverankerung



c0180

Metallischer Vergußkegel



c0088

Spleißknoten

## 8 Grundlagen der Seilbahnberechnung

### 8.1 Statik der Seile

#### 8.1.1 Einführung

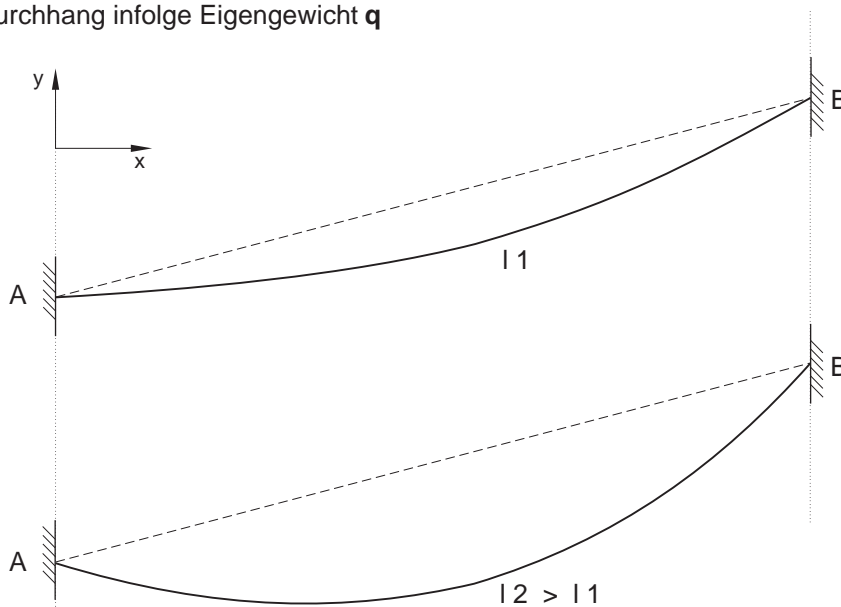
Die Berechnungsziele der Seilbahnberechnung:

- Linienführung
- Stützenverteilung
- Seilbemessung
- Auslegung der mechanischen und elektrischen Ausrüstung

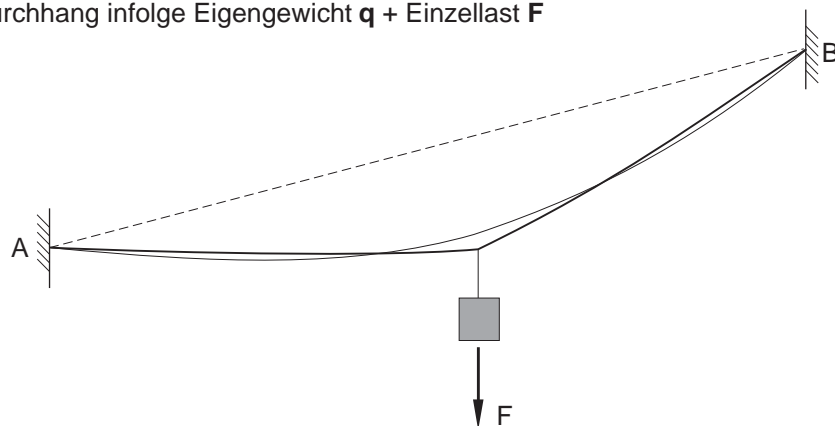
#### Gedanken zur Seilstatik (1)

- Annahmen :
- ebenes Problem (keine seitlich angreifenden Kräfte)
  - das Seil ist dehnungsfrei  $\Rightarrow \varepsilon = 0$
  - das Seil ist biegeschlaff  $\Rightarrow w_b = 0$
  - das Seil ist eigengewichtsbelastet  $\Rightarrow q \neq 0$

#### 1. Seildurchhang infolge Eigengewicht $q$



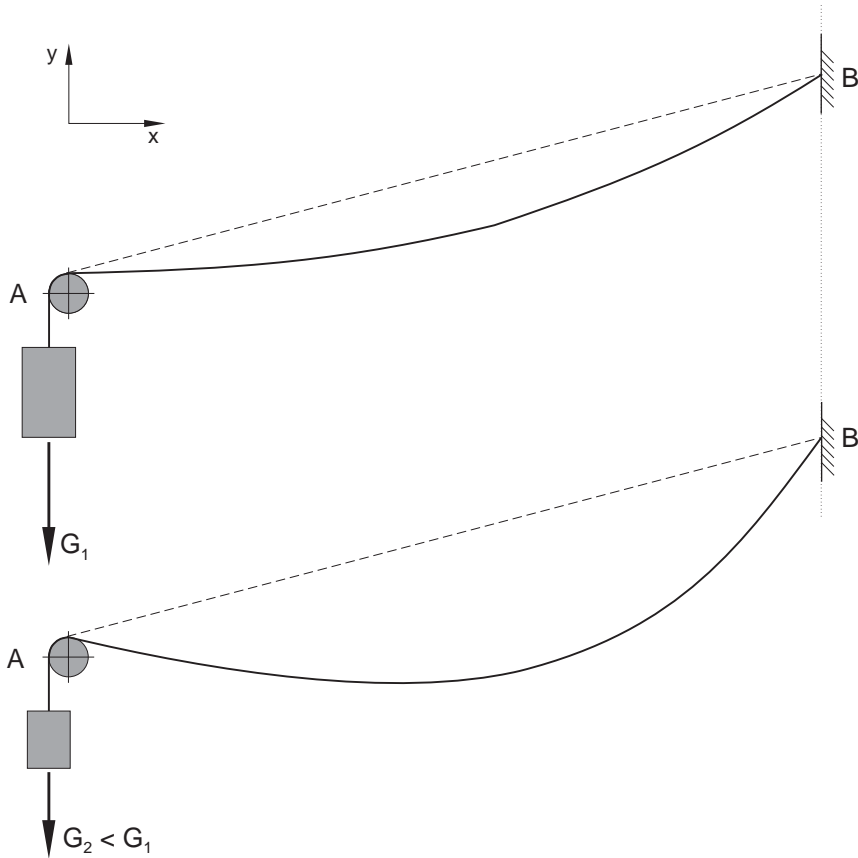
#### 2. Seildurchhang infolge Eigengewicht $q$ + Einzellast $F$



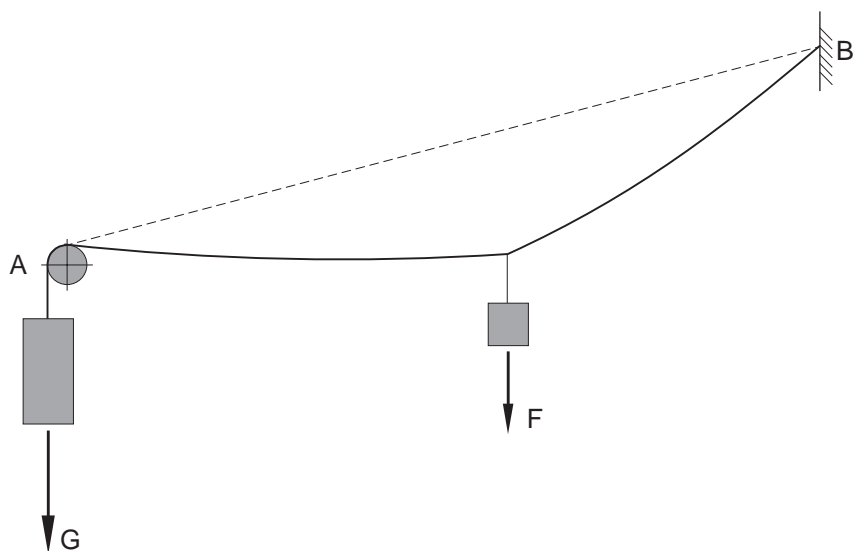
c0061

### Gedanken zur Seilstatik (2)

#### 3. Seildurchhang infolge Eigengewicht $q$ + Spanngewicht $G$ (in der Talstation)



#### 4. Seildurchhang infolge Eigengewicht $q$ + Spanngewicht $G$ + Einzellast $F$



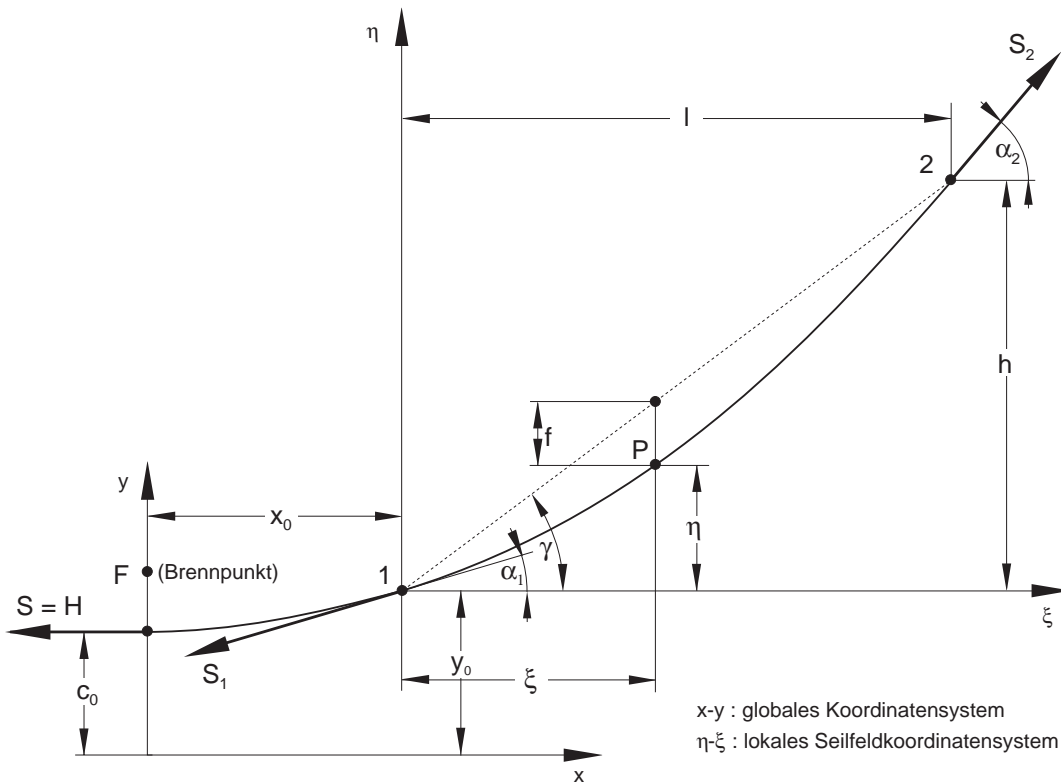
c0062

### 8.1.2.1 Stehendes Seil unter Eigengewicht

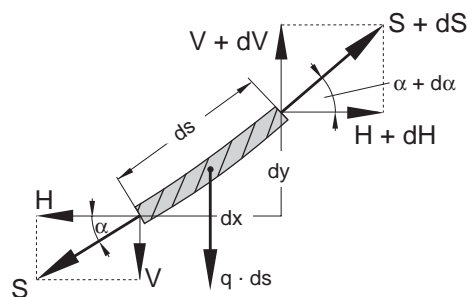
#### Begriffsbestimmungen :

- **Stützpunkt** Fixpunkt in der Seilbahntrasse, in dem das Seil aufliegt (Station, Stütze)
- **Koppelstelle** fester oder beweglicher Punkt, in dem eine äußere Einzelkraft am Seil angreift (Station, Stütze, Kabine, [Seilreiter])
- **Stützfeld** Abschnitt im Längsprofil einer Seilbahn zwischen zwei Stützpunkten
- **Seilfeld** Abschnitt im Längsprofil einer Seilbahn zwischen zwei Koppelstellen

Seilcurve eines stehenden Seils (Skizze)



#### Kräftegleichgewicht am differentiellen Seilelement



c0063



### Seilcurve eines stehenden Seils im globalen Koordinatensystem

#### Kräftegleichgewicht :

$$\Sigma H = 0 \Rightarrow -H + H + dH = 0 \Rightarrow H = \text{const.} \quad [1]$$

$$\Sigma V = 0 \Rightarrow -V + V + dV - q \cdot ds = 0 \Rightarrow dV = q \cdot ds \quad [2]$$

Wichtige Erkenntnis : die **Horizontalkomponente H** der Seilkraft bleibt konstant !

Geometrie :  $V = H \cdot \tan \alpha \quad [3]$

$$\tan \alpha = \frac{dy}{dx} = y' \quad [4]$$

#### Umformungen :

[4] in [3]  $V = H \cdot \frac{dy}{dx}$

1. Ableitung  $\frac{dV}{dx} = H \cdot \frac{d^2y}{dx^2} \quad [5]$

[2] in [5]  $\frac{q \cdot ds}{dx} = H \cdot \frac{d^2y}{dx^2} \quad [6]$

Geometrie  $ds = \frac{dx}{\cos \alpha} = dx \cdot \sqrt{1 + \tan^2 \alpha} = dx \cdot \sqrt{1 + (dy/dx)^2}$

in [6] eingesetzt  $q \cdot \sqrt{1 + (dy/dx)^2} = H \cdot \frac{d^2y}{dx^2}$

umgeformt  $\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{q}{H} \cdot \sqrt{1 + (dy/dx)^2} \quad [7]$

Mit der Einführung des "Kurvenparameters"

$$c_0 = \frac{H}{q} \quad [8]$$

und den Anfangsbedingungen (siehe Skizze auf Seite 8.1 - 3)

$$y(0) = c_0$$

$$y'(0) = 0$$

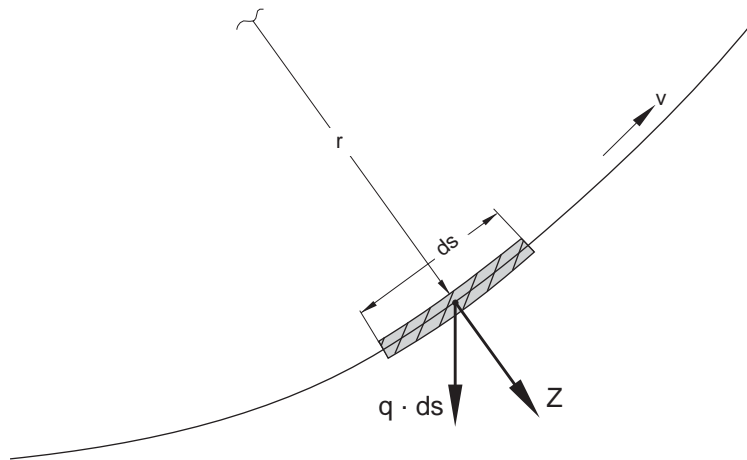
ergibt sich für die Seilcurve die Gleichung der **allgemeinen Kettenlinie** :

$$y = c_0 \cdot \cosh \frac{x}{c_0}$$

[9]

V	: Vertikalkomponente der Seilkraft S	$\alpha$	: Tangentenneigungswinkel des Seils
H	: Horizontalkomponente der Seilkraft S	ds	: Länge des differentiellen Seilelements
q	: Gewichtskraft des Seils pro Länge [N/m]	$c_0$	: Kurvenparameter

### Anmerkung zu einem laufenden Seil



Die auf ein Seilstück der Länge **ds** wirkende **Fliehkraft Z** lautet :

$$Z = \frac{q}{g} \cdot ds \cdot r \cdot \omega^2 = \frac{q}{g} \cdot ds \cdot \frac{v^2}{r}$$

In der Praxis kann die Fliehkraft **Z vernachlässigt** werden, weil sie viel kleiner ist als die Gewichtskraft !

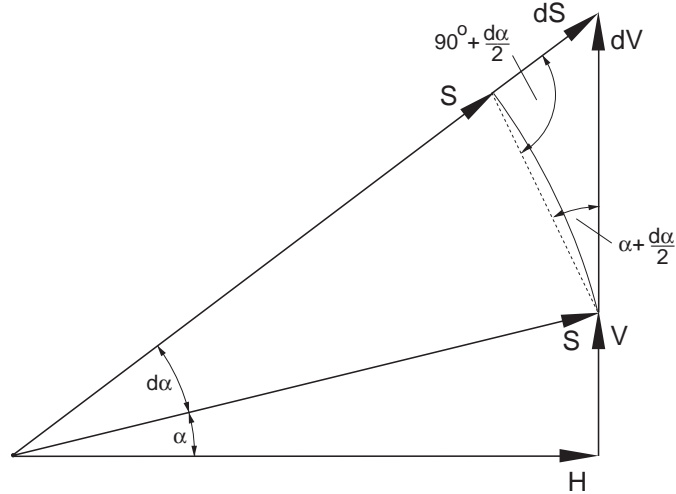
- Z : Fliehkraft des Seilstücks ds
- q : Gewichtskraft des Seils pro Länge [N/m]
- g : Erdbeschleunigung
- r : Krümmungsradius des Seils an der betrachteten Stelle
- v : Seilgeschwindigkeit

c0064

### 8.1.2.2 Seilkraft

#### Seilkraft

Krafteck



Aus dem Krafteck folgt nach dem Sinussatz und der Vereinfachung  $\frac{d\alpha}{2} \ll 1$ :

$$dS = dV \cdot \sin \alpha \quad [10]$$

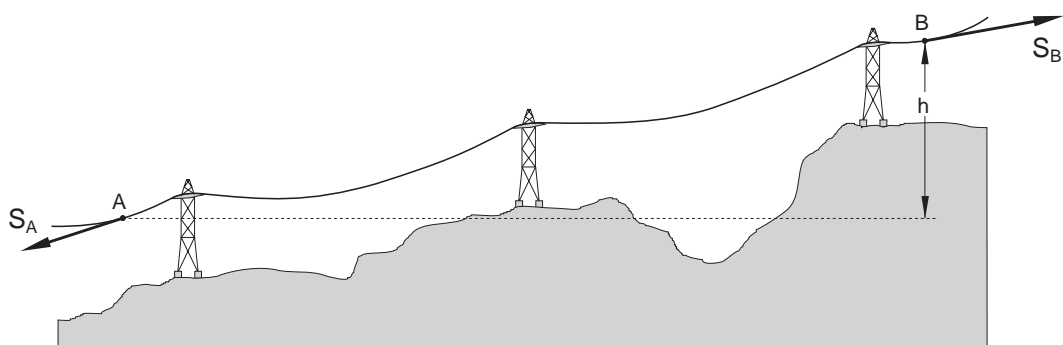
[2] in [10] ergibt  $dS = q \cdot ds \cdot \sin \alpha = q \cdot dy$

Die Integration ergibt  $S = q \cdot y + C_1$

$C_1 = 0$ , da  $S = H$  für  $y = c_0$  gemäß Gleichung [8] und Skizze auf Seite 8.1-3

Man erhält die **Seilkraft S** infolge Eigengewicht an jeder Stelle **eines** Seilfeldes :

$$S = q \cdot y = q \cdot c_0 \cdot \cosh \frac{x}{c_0} \quad [11]$$



Für ein beliebiges Seilstück, z.B. zwischen den Punkten A und B, gilt :

$$S_B = S_A + q \cdot h \quad [12]$$

c0065

### 8.1.2.3 Näherungsgleichung zur Seilkurve

Zur Herleitung einer Näherungsgleichung der Hyperbelfunktion [9] muß folgende Annahme getroffen werden :

Es handelt sich um schwach gekrümmte Seilkurven, d.h. straff gespannte Seile (z.B. Tragseile).

#### Herleitung einer Näherungsgleichung

##### Parabelgleichung im globalen Koordinatensystem

Geometrie (Skizze auf 8.1-3) 
$$\frac{q \cdot ds}{dx} = \frac{q}{\cos \alpha} \approx \frac{q}{\cos \gamma} = \text{konst.} = q^* \quad [13]$$

mit [13] wird [6] zu 
$$H \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = q^* \quad [14]$$

und mit 
$$c_0^* = \frac{H}{q^*}$$

erhält man eine Parabelgleichung als Näherung der Kettenlinie [9] :

$$y = \frac{x^2}{2c_0^*} + c_0^* \quad [15]$$

##### Parabelgleichung im lokalen Seilfeldkoordinatensystem

Koordinatentransformation 
$$y = y_0 + \eta \quad [16]$$

gemäß Skizze auf 8.1-3 : 
$$x = x_0 + \xi \quad [17]$$

mit Hilfe von [15] ergibt sich : 
$$x_0 = \frac{c_0^* \cdot h}{l} - \frac{l}{2} \quad [18]$$

$$y_0 = \frac{c_0^* \cdot h^2}{2l^2} - \frac{h}{2} - \frac{l^2}{8c_0^*} + c_0^* \quad [19]$$

[18] in [17], [19] in [16] ergibt [16\*] und [17\*]; diese in [15] ergibt die

Parabelgleichung im lokalen Seilfeldkoordinatensystem :

$$\eta = \frac{\xi(\xi-l)}{2c_0^*} + \frac{h}{l} \xi \quad [20]$$

$\gamma$  : Sehnenneigungswinkel zwischen  $P_1$  und  $P_2$

$\alpha$  : Tangentenneigungswinkel

$h$  : Höhendifferenz (y-Richtung) zwischen  $P_1$  und  $P_2$

$l$  : Längendifferenz (x-Richtung) zwischen  $P_1$  und  $P_2$

$\xi, \eta$  : lokale Seilfeldkoordinaten

$H$  : Horizontalkomponente der Seilkraft  $S$

$q^*$  : Gewichtskraft/Länge d. Näherungsgleichung

$c_0^*$  : Kurvenparameter der Näherungsgleichung

$x_0$  : Kurvenparameter

$y_0$  : Kurvenparameter

### 8.1.2.4 Seildurchhang

#### Ermittlung des Seildurchhangs f

Für einen Seilpunkt P gilt im  $\xi, \eta$  - Koordinatensystem (siehe 8.1-3) :

$$f = \frac{h}{l} \cdot \xi - \eta$$

mit  $\eta$  aus Gleichung [20] ergibt sich :

$$f = \frac{h}{l} \cdot \xi - \frac{\xi(\xi - l)}{2c_0^*} - \frac{h}{l} \cdot \xi = -\frac{\xi(\xi - l)}{2c_0^*}$$

mit den Gleichungen [8] und [13] ergibt sich der  
**Seildurchhang an der Stelle  $\xi$  :**

$$f_\xi = \frac{q^* \cdot \xi \cdot (l - \xi)}{2H} \quad [21]$$

Für die Feldmitte  $\xi = \frac{l}{2}$  ergibt sich gemäß Gleichung [21] der

**Seildurchhang in Feldmitte  $f_m$  :**

$$f_m = \frac{l^2}{8c_0^*} = \frac{q^* \cdot l^2}{8H} \quad [22]$$

- $f_\xi$  : Seildurchhang an der Stelle  $\xi$  des Feldes
- $f_m$  : Seildurchhang in Feldmitte (bei  $\xi=l/2$ )
- H : Horizontalkomponente der Seilkraft S
- h : Höhendifferenz (y-Richtung) zwischen 1 und 2
- l : Längendifferenz (x-Richtung) zwischen 1 und 2
- $c_0^*$  : Kurvenparameter der Näherungsgleichung
- $q^*$  : Gewichtskraft pro Länge der Näherungsgleichung



### 8.1.2.5 Seillänge

#### Bogenlänge des Seilstücks zwischen zwei Stützpunkten A, B

##### Seillänge im flachen Seilfeld

$$L_{AB} = \int_a^b \sqrt{1+[g'(x)]^2} dx \quad [23]$$

mit Gleichung [20]  $\eta = g(\xi)$  und der 1.Ableitung  $g'(\xi)$

$$g'(\xi) = \frac{2\xi - l}{2c_0^*} + \frac{h}{l} \quad [24]$$

folgt die Lösung des Integrals mit Hilfe des Potenzreihenansatzes

$$\sqrt{1+x} = 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2 + \frac{3}{48}x^3 - \dots$$

$$\Rightarrow L \approx \int_0^l \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{2\xi - l}{2c_0^*} + \frac{h}{l} \right)^2 \right] d\xi \quad [25]$$

##### Seillänge im flachen Seilfeld :

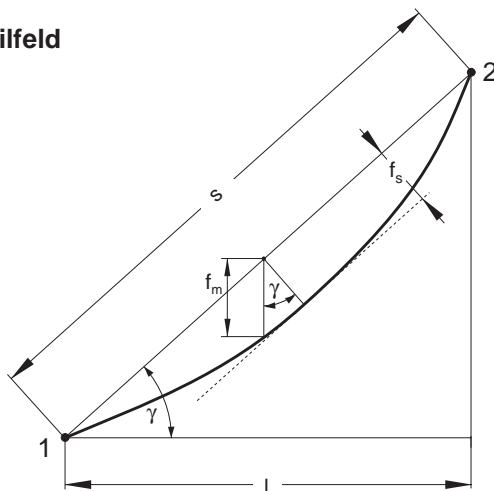
$$L_{fl} = l + \frac{h^2}{2l} + \frac{l^3}{24c_0^{*2}} \quad [26]$$

Mit dem lotrechten Durchhang in der Feldmitte gemäß Gleichung [22] ergibt sich :

$$L_{fl} \approx l + \frac{h^2}{2l} + \frac{8}{3} \frac{f_m^2}{l} \quad [27]$$

##### Seillänge im steilen Seilfeld

c0066



Für steilere Seilneigungen gilt :  $L_{st} = s + \frac{8}{3} \frac{f_s^2}{s}$

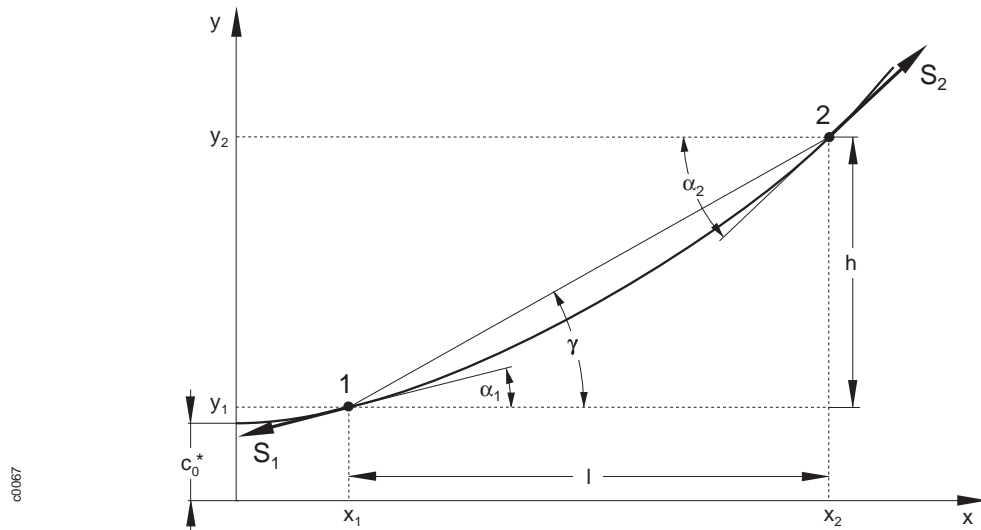
##### Seillänge im steilen Seilfeld :

$$L_{st} = \frac{l}{\cos \gamma} + \frac{8}{3} \frac{f_m^2}{l} \cos^3 \gamma \quad [28]$$

$L_{fl}$ :	Seillänge im flachen Seilfeld	$f_s$ :	Abstand der seilparallelen Tangente
$L_{st}$ :	Seillänge im steilen Seilfeld	$\gamma$ :	Seilneigungswinkel
$f_m$ :	Seildurchhang in Feldmitte (bei $\xi=l/2$ )	$c_0^*$ :	Kurvenparameter
$s$ :	Seilspannung		

### 8.1.2.6 Stützentangenten

#### Winkel der Parabeltangente an den Stützen



Gemäß obiger Skizze ergeben sich mit Hilfe von Gleichung [24] und der geometrischen Beziehung  $g'(\xi) = \tan \alpha$  die

**Winkel der Parabeltangente an den Stützen für das betrachtete Seilfeld :**

Punkt 1 mit  $\xi=0$  :

$$\tan \alpha_1 = \frac{h}{l} - \frac{l}{2c_0^*} = \tan \gamma - \frac{l}{2c_0^*} \quad [29a]$$

Punkt 2 mit  $\xi=l$  :

$$\tan \alpha_2 = \frac{h}{l} + \frac{l}{2c_0^*} = \tan \gamma + \frac{l}{2c_0^*} \quad [29b]$$

- $\alpha_1$  : Tangentenneigungswinkel der Seilkurve in 1
- $\alpha_2$  : Tangentenneigungswinkel der Seilkurve in 2
- $\gamma$  : Sehnenneigungswinkel zwischen 1 und 2
- $c_0^*$  : Kurvenparameter der Näherungsgleichung
- $h$  : Höhendifferenz (y-Richtung) zwischen 1 und 2
- $l$  : Längendifferenz (x-Richtung) zwischen 1 und 2

### 8.1.3 Stehendes Seil unter Eigengewicht und Einzellast

#### Einschub :

Indizierungsschlüssel für die Größen der Seilbahnberechnung

**Indizierungsschlüssel**

zu indizierende **Größe**;  
 in der Seilbahntechnik  
 hauptsächlich Kräfte  
 oder Winkel

**b** : Größe bezieht sich auf die **Bergseite** der Koppelstelle  
**t** : Größe bezieht sich auf die **Talseite** der Koppelstelle

**T** : Größe bezieht sich auf das **Tragseil**  
**Z** : Größe bezieht sich auf das **Zugseil**

**1, 2, ..., i** : Größe bezieht sich auf die Koppelstelle **1, 2, ..., i**  
**L** : Größe bezieht sich auf die Koppelstelle **Last**

X x x x

c0068

**Kräfteverhältnisse an der Koppelstelle Last (im freien Feld)**

Annahmen: - keine Reibung zwischen Rolle(n) und Tragseil bzw. Zugseil  
 - Abstand a vernachlässigbar

$$S_{TLb} = S_{TLt} = S_T$$

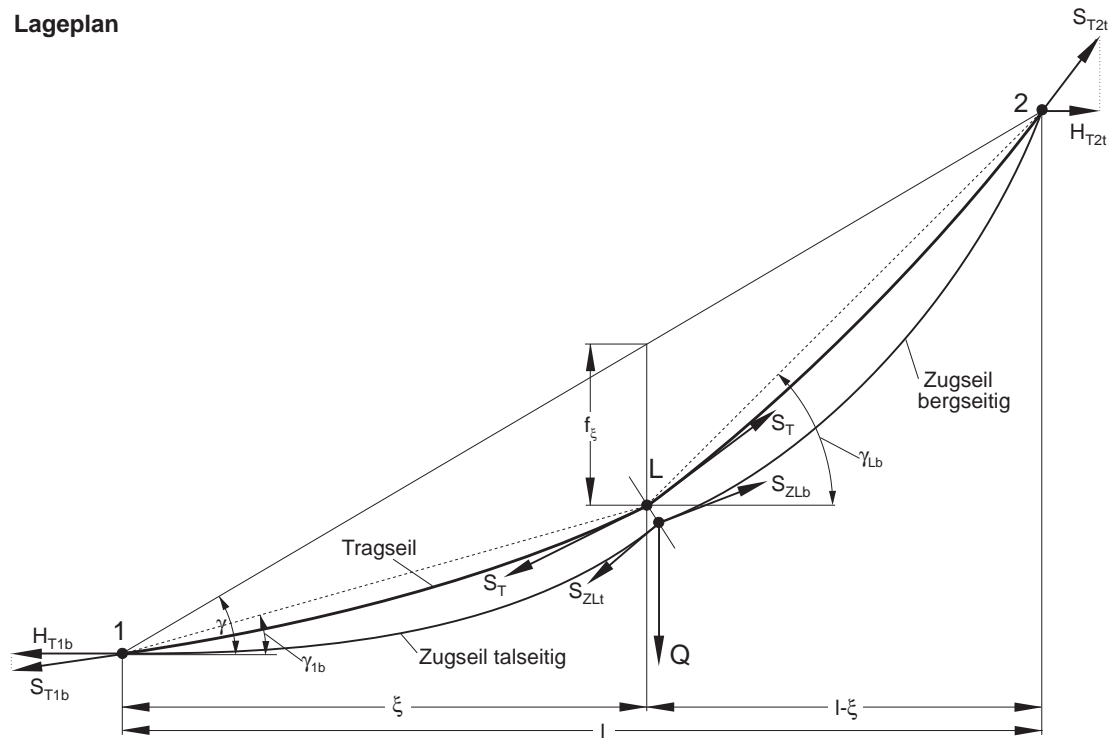
$$S_{ZLt} < S_{ZLb}$$

Q : Gewichtskraft der Einzellast  
 S<sub>TLb</sub> : Tragseilspannkraft bergseitig der Koppelstelle Last  
 S<sub>TLt</sub> : Tragseilspannkraft talseitig der Koppelstelle Last  
 S<sub>ZLb</sub> : Zugseilspannkraft bergseitig der Koppelstelle Last  
 S<sub>ZLt</sub> : Zugseilspannkraft talseitig der Koppelstelle Last

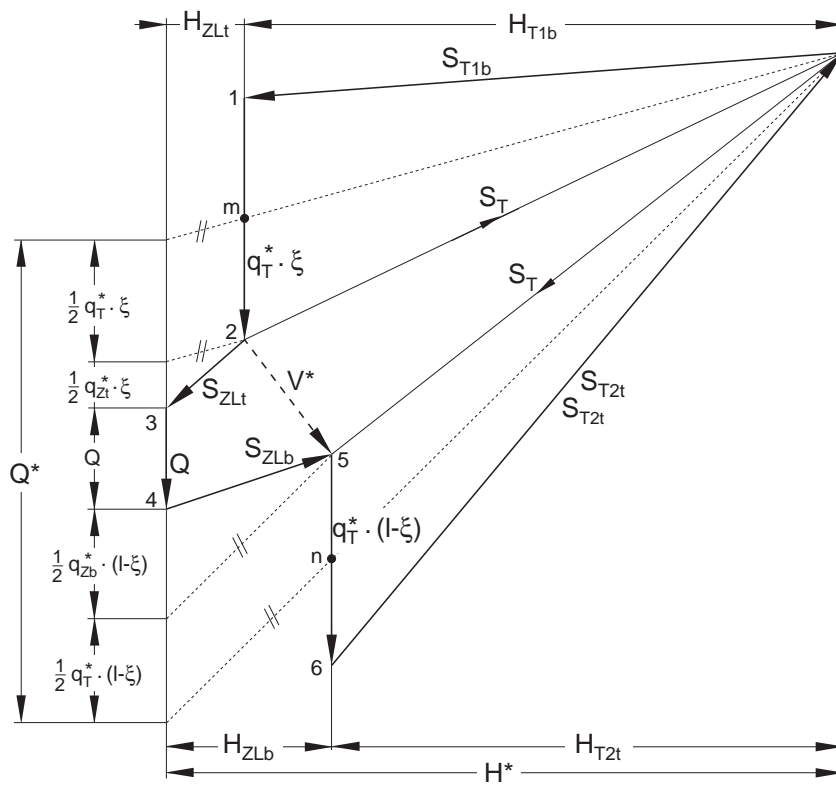
c0069

**Durchhangsverhältnisse und Lageplan der Kräfte (Kräfte und Seilverläufe qualitativ)**

**Lageplan**



**Kräfteplan**



c0070

### Seildurchhang an der Stelle $\xi$

Aus den Geometriebeziehungen der vorhergehenden Seite läßt sich herleiten :

$$\text{Durchhang an der Stelle } \xi : \quad f_{\xi} = \frac{Q^* \cdot \xi \cdot (l - \xi)}{l \cdot H^*} \quad [30]$$

#### Bedeutung von $Q^*$ :

Bei Belastung eines (masselosen) Seils mit der **Ersatzkraft  $Q^*$**  ergibt sich als Seilkurve genau die **Sehne 1-L-2** , mit dem Durchhang  $f_{\xi}$  an der Stelle  $\xi$ .

wobei  $H^* = H_{T1b} + H_{ZLt} = H_{T2t} + H_{ZLb}$

$$\text{mit } Q^* = \frac{1}{2} q_T^* \cdot \xi + \frac{1}{2} q_{Zt}^* \cdot \xi + \frac{1}{2} q_{Zb}^* \cdot (l - \xi) + \frac{1}{2} q_T^* \cdot (l - \xi) + Q \quad [31]$$

erhält man den **Seildurchhang an der Stelle  $\xi$**  :

$$f_{\xi} = \frac{Q + \frac{1}{2} q_T^* \cdot l + \frac{1}{2} q_{Zb}^* \cdot l + \frac{1}{2} (q_{Zt}^* - q_{Zb}^*) \cdot \xi}{H^*} \cdot \frac{\xi(l - \xi)}{l} \quad [32a]$$

mit der Vereinfachung  $q_{Zb}^* = q_{Zt}^* = q_Z^*$  ergibt sich :

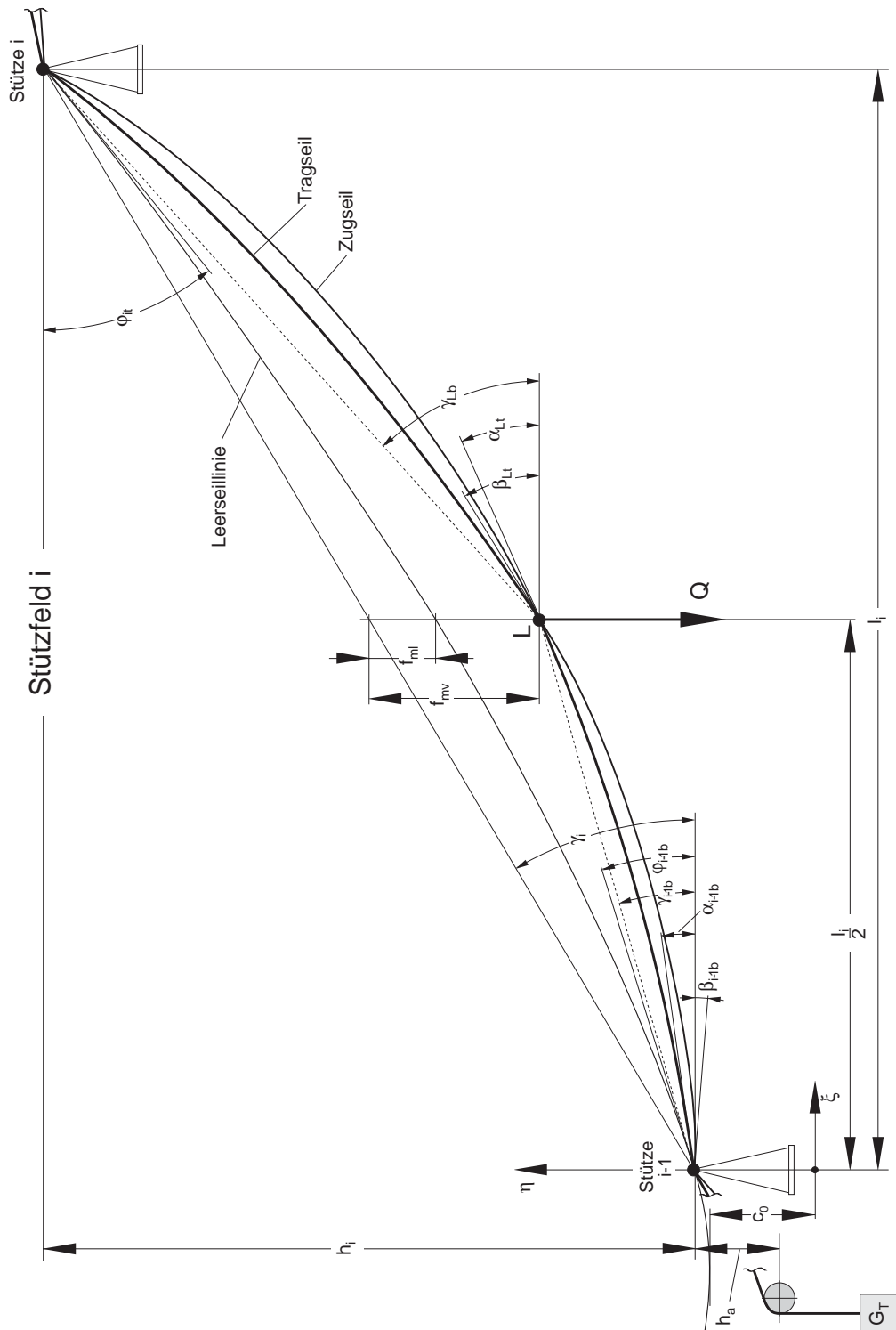
$$f_{\xi} = \frac{Q + \frac{1}{2} (q_T^* + q_Z^*) \cdot l}{H^*} \cdot \frac{\xi(l - \xi)}{l} \quad [32b]$$

- $Q^*$  : Ersatzkraft für Einzellast
- $H^*$  : Zusammengesetzte Horizontalkomponente
- $H_{T1b}$  : Horizontalkomponente der Tragseilspannkraft bergseitig der Koppelstelle 1
- $H_{T2t}$  : Horizontalkomponente der Tragseilspannkraft talseitig der Koppelstelle 2
- $H_{ZLt}$  : Horizontalkomponente der Zugseilspannkraft talseitig der Koppelstelle Last
- $H_{ZLb}$  : Horizontalkomponente der Zugseilspannkraft bergseitig der Koppelstelle Last
- $q_T^*$  : Tragseilmetergewicht, bezogen auf die Länge der Stützfeldsehne  $l$
- $q_{Zb}^*$  : Zugseilmetergewicht der bergseitigen Zugseilschleife, bezogen auf die Länge der Stützfeldsehne  $l$
- $q_{Zt}^*$  : Zugseilmetergewicht der talseitigen Zugseilschleife, bezogen auf die Länge der Stützfeldsehne  $l$





Leerseillinie - Vollseillinie im Stützfeld i



- $\alpha$  : Tangenten­neigungswinkel des Vollseils (Tragseil)
- $\beta$  : Tangenten­neigungswinkel des Zugseils
- $\phi$  : Tangenten­neigungswinkel des Leerseils (Tragseil)

c0072

## 8.1.5 Leerseillinie

### 8.1.5.1 Seilkraft

#### Seilkraft (1)

Für den Durchhang an einer beliebigen Stelle  $\xi$  des Seilfeldes  $i$  gilt sinngemäß die Gl.[21] :

$$f_{\xi} = \frac{q_T}{2H_{T,i}} \cdot \xi \cdot (l - \xi) \quad [33]$$

mit  $S_i = S_H + q_T \cdot h$  gemäß Gl. [12] und  $S_H = G_T$  ergibt sich die

**Tragseilkraft talseitig der Stütze  $i$**  (= bergseitiges Ende des Feldes  $i$ ) :

$$S_{T_{it}} = G_T + q_T \cdot \sum_{s=1}^i h_s \pm \sum_{s=0}^{i-1} F_{R,s} \quad [34]$$

**Tragseilkraft in der Feldmitte** des Feldes  $i$  :

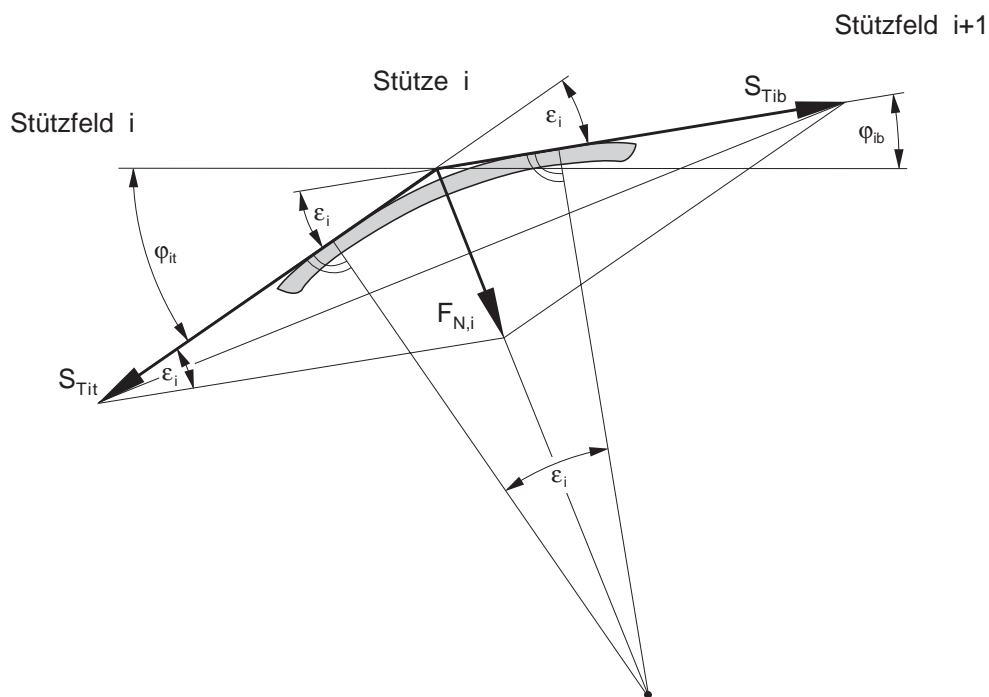
$$S_{T_{m,i}} = G_T + q_T \cdot \left( \sum_{s=1}^{i-1} h_s + \frac{h_i}{2} - f_{m,i} \right) \pm \sum_{s=0}^{i-1} F_{R,s} \quad [35]$$

**Tragseilkraft bergseitig der Stütze  $i-1$**  (=talseitiges Ende des Feldes  $i$ ) :

$$S_{T_{i-1b}} = G_T + q_T \cdot \sum_{s=1}^{i-1} h_s \pm \sum_{s=0}^{i-1} F_{R,s} \quad [36]$$

- $G_T$  : Gewichtskraft des Trageilsparngewichts  
 $q_T$  : Trageilmetergewicht  
 $h_s$  : Höhendifferenz im Seilfeld  $s$  ( $s=1 \rightarrow i-1$ )  
 $h_i$  : Höhendifferenz im Seilfeld  $i$   
 $F_{R,s}$  : Reibungskraft an den Stützen  $s$  ( $s=1 \rightarrow i-1$ )  
 $f_{m,i}$  : Seildurchhang (Leerseil) in Feldmitte des Feldes  $i$

### Seilkraft (2) - Reibungskräfte an den Stützen



c0073

**Stützenknickwinkel  $\epsilon_i$**  (ablesbar aus der Zeichnung) :

$$\epsilon_i = \varphi_{it} - \varphi_{ib}$$

Die zur Berechnung der Reibungskraft notwendige **Normalkraft  $F_{N,i}$**  ergibt sich mittels des Näherungsansatzes

$$S_{Tit} = S_{Tib} = S_{Ti}$$

und der obigen Skizze zu:

$$F_{N,i} = 2 \cdot S_{Ti} \cdot \sin \frac{\epsilon_i}{2} = 2 \cdot S_{Ti} \cdot \sin \left( \frac{\varphi_{it} - \varphi_{ib}}{2} \right) \quad [37]$$

Daraus resultiert die **Reibungskraft  $F_{R,i}$**  an der Stütze i :

$$F_{R,i} = \mu \cdot F_{N,i} = 2 \cdot \mu \cdot S_{Ti} \cdot \sin \left( \frac{\varphi_{it} - \varphi_{ib}}{2} \right) \quad [38]$$

mit  $\mu = 0,13$

- $\varphi_i$  : Tangentenneigungswinkel des Tragseils an der Stütze i
- $S_{Ti}$  : Tragseilspannkraft an der Stütze i
- $\mu$  : Reibungskoeffizient

### 8.1.5.2 Durchhang und Seillänge

#### Durchhang der Leerseillinie

Der **Durchhang**  $f_{m,i}$  der Leerseillinie in der **Feldmitte** des Feldes  $i$  ergibt sich gemäß Gl. [22] zu :

$$f_{m,i} = \frac{q_T^* \cdot l_i^2}{8 \cdot H_{Tm,i}} \quad [39]$$

mit der **Horizontalkomponente** der Tragseilspannkraft in der Feldmitte  $H_{Tm,i}$  :

$$H_{Tm,i} = S_{Tm,i} \cdot \cos \gamma_i$$

$$S_{Tm,i} = G_T + q_T \cdot \left( \sum_{s=1}^{i-1} h_s + \frac{h_i}{2} - f_{m,i} \right) \pm \sum_{s=0}^{i-1} F_{R,s} \quad [35]$$

Bemerkung : Zur expliziten Berechnung des Durchhangs  $f_{m,i}$  gibt es 2 Möglichkeiten :

- 1) Lösung einer quadratischen Gleichung, da in  $S_{Tm,i}$  die Größe  $f_{m,i}$  enthalten ist
- 2) Iterative Lösung

#### Seillänge der Leerseillinie

Gemäß Gl. [28] berechnet sich die **Seillänge**  $L_i$  der Leerseillinie im Seilfeld  $i$  zu :

$$L_i = s_i + \frac{8 f_i^2}{3 s_i}$$

$$L_i = \frac{l_i}{\cos \gamma_i} + \frac{8 f_{m,i}^2}{3 l_i} \cos^3 \gamma_i \quad [40]$$

- $f_{m,i}$  : Durchhang der Leerseillinie in der Feldmitte des Feldes  $i$   
 $q_T^*$  : Tragseilmetergewicht (bezogen auf die Länge des Seilfeldes  $i$ )  
 $l_i$  : horizontale Länge des Seilfeldes  $i$   
 $H_{Tm,i}$  : Horizontalkomponente der Tragseilspannkraft in Feldmitte des Seilfeldes  $i$   
 $S_{Tm,i}$  : Tragseilspannkraft in Feldmitte des Seilfeldes  $i$   
 $\gamma_i$  : Sehnenneigungswinkel im Seilfeld  $i$

## 8.1.6 Vollseillinie

### Art der Vorspannung des Tragseils :

- 1) Spanngewicht an einem Seilende, feste Verankerung am anderen Ende, verschiebliche Tragseillagerung auf den Zwischenstützen. Dieser **Regelfall** ist wegen der geringeren Seilkräfte so verwirklicht, daß das Spanngewicht am unteren und die Verankerung am oberen Bahnende vorgesehen wird.
- 2) Feste Verankerung an jeder Stütze
- 3) Feste Verankerung an beiden Bahnenden und verschiebliche Lagerung auf den Zwischenstützen.

Behandelt wird hier nur der Regelfall :

#### Durchhang der Vollseillinie im Seilfeld i

Der Durchhang unter der **Last Q** lautet gemäß Gl. [32a] :

$$f_{\xi} = \frac{Q + \frac{1}{2}q_T^* \cdot l + \frac{1}{2}q_{Zb}^* \cdot l + \frac{1}{2}(q_{Zt}^* - q_{Zb}^*) \cdot \xi}{H^*} \cdot \frac{\xi(l - \xi)}{l}$$

Die zusammengesetzte **Horizontalkomponente** der Trag- und Zugseilspannkraft **H\***

$$H^* = H_{T1b} + H_{ZLt} = H_{T2t} + H_{ZLb} \quad (\text{siehe Kraffteck auf Seite 8.1 - 12})$$

lautet nach mehreren, hier nicht angegebenen Rechenschritten und Vereinfachungen :

$$H^* = S_{Tm,i} \cdot \cos \gamma_i + (S_{ZLt})_{m,i} \cdot \cos \gamma_i$$

- Bemerkung :
- $S_{Tm,i}$  entspricht hier **nicht** der Gl. [35], sondern einer Näherungslösung, in der der  $f_{m,i}$  Term aus Gl. [35] vernachlässigt wurde !
  - $(S_{ZLt})_{m,i}$  läßt sich ebenso wie  $S_{Tm,i}$  aus einer Zusammensetzung von Zugseilspanngewicht, Zugseileigengewicht und Reibungskräften berechnen

Damit lautet der **Durchhang der Vollseillinie**  $f_{v\xi,i}$  unter der Last Q im Seilfeld i :

$$f_{v\xi,i} = \frac{Q + \frac{1}{2}q_T^* \cdot l + \frac{1}{2}q_{Zb}^* \cdot l + \frac{1}{2}(q_{Zt}^* - q_{Zb}^*) \cdot \xi}{S_{Tm,i} \cdot \cos \gamma_i + (S_{ZLt})_{m,i} \cdot \cos \gamma_i} \cdot \frac{\xi(l - \xi)}{l} \quad [41]$$

Sowie der **Durchhang der Vollseillinie in Feldmitte** ( $\xi=l/2$ )  $f_{mv,i}$  im Seilfeld i :

$$f_{mv,i} = \frac{\frac{2Q}{l} + q_T^* + \frac{1}{2}(q_{Zt}^* + q_{Zb}^*)}{S_{Tm,i} \cdot \cos \gamma_i + (S_{ZLt})_{m,i}} \cdot \frac{l^2}{8} \quad [42]$$

- Q : Gewichtskraft der Einzellast  
 $q_T^*$  : Tragseilmetergewicht, bezogen auf die Länge der Stützfeldsehne l  
 $q_{Zb}^*$  : Zugseilmetergewicht der bergseitigen Zugseilschleife, bezogen auf die Länge der Stützfeldsehne l  
 $q_{Zt}^*$  : Zugseilmetergewicht der talseitigen Zugseilschleife, bezogen auf die Länge der Stützfeldsehne l  
 l : Länge der Stützfeldsehne i  
 $\gamma$  : Sehnenneigungswinkel im Seilfeld i  
 $S_{Tm,i}$  : Tragseilspannkraft in Feldmitte des Feldes i  
 $(S_{ZLt})_{m,i}$  : Zugseilspannkraft talseitig der Koppelstelle Last in Feldmitte des Feldes i

## 8.2 Seil- und Antriebsauslegung

### 8.2.1 Einführung

Die wichtigsten Funktionsbauteile einer Seilbahn:

- Seile (Zugseil, Tragseil, Förderseil)
- Antriebsstation
- Umlenkstation
- Spannstation
- Stützkonstruktion (feste, bewegliche Teile)
- Fahrbetriebsmittel (Kabinen, Wagen)

Ausgangsdaten :

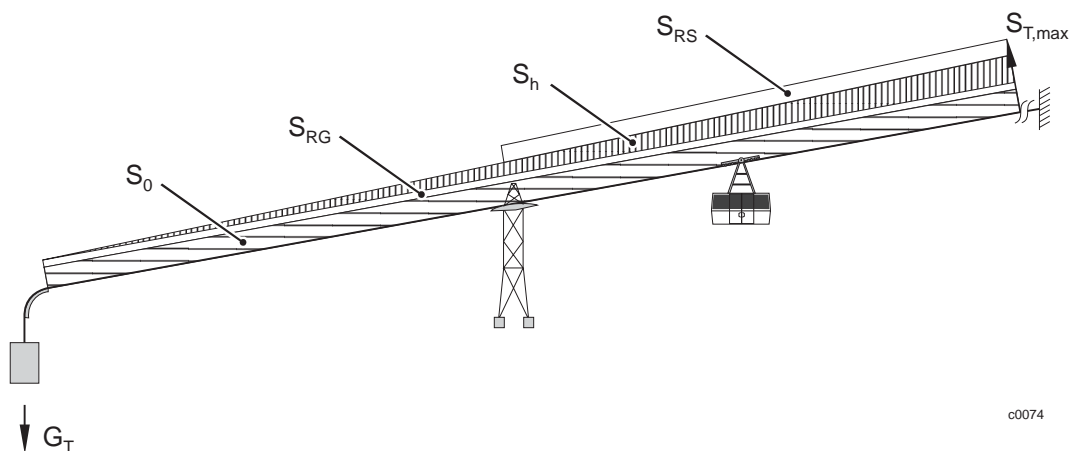
- Personen- oder Güterbeförderung
- Leistungsvermögen (Personen/h oder Fördergutstrom t/h)
- Anfangs- und Endpunkt der Seilbahn, ggf. auch Linienführung)



## 8.2.2 Tragseile

### 8.2.2.1 Tragseilkräfte

#### Tragseilkräfte



Die Tragseilkraft  $S_T$  einer Zweiseilbahn berechnet sich zu:

$$S_T = S_0 + S_{RG} + S_h + S_{RS}$$

Mit der Größe des **Spanngewichtes**  $S_0 = G_T$

der **Höhenspannung**  $S_h = q_T \cdot h = q_T \cdot \sum_{s=1}^i h_s$

und der **Seilreibung** des Tragseils in der **Spannstation**

$$S_{RG} = \pm 2\mu \cdot G_T \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_{0b}}{2}\right) \quad \text{mit } \mu \approx 0,08$$

bzw. auf den **Stützen** (vgl. Gl. [38])

$$S_{RS} = \pm 2\mu \cdot (S_0 + S_h) \cdot \sin\frac{\varepsilon}{2} = \pm 2\mu \cdot \sum_{s=0}^i [(G_T + q_T \cdot h_s) \cdot \sin\frac{\varepsilon_s}{2}] \quad \text{mit } \mu = 0,13$$

ergibt sich die Tragseilkraft an beliebiger Stelle i:

$$S_{T,i} = G_T \pm 2\mu \cdot G_T \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_{0b}}{2}\right) + q_T \cdot \sum_{s=1}^i h_s \pm 2\mu \cdot \sum_{s=0}^i [(G_T + q_T \cdot h_s) \cdot \sin\frac{\varepsilon_s}{2}] \quad [43]$$

Die maximale Tragseilkraft  $S_{T,max}$  stellt sich am oberen Bahnende für  $h=h_{ges}$  ein.

*Bemerkung:* Das Gewicht der Kabine hat keinen direkten Einfluß auf die Tragseilkraft. Eine theoretische Erhöhung der Tragseilkraft durch die Kabine wird durch Veränderung der geometrischen Verhältnisse (Durchgangsänderung und Spanngewichtsverschiebung) ausgeglichen.

Die Reibung in der Spannstation bzw. auf den Stützen muß je nach Bewegungsrichtung des Tragseils zur Tragseilkraft addiert bzw. von dieser subtrahiert werden. Die Reibung des Kabinenlaufwerks auf dem Tragseil kann vernachlässigt werden.

$G_T$  : Gewichtskraft des Tragseilspanngewichtes  
 $q_T$  : Tragseilmetergewicht  
 $h$  : Höhendifferenz (allgemein)

$h_s$  : Höhendifferenz im Seilfeld s  
 $\varphi_{0b}$  : Tangentenwinkel i.d. Talstation (Leerseil)  
 $\varepsilon$  : Stützenknickwinkel (vgl. S. 8.1-17)

### 8.2.2.2 Dimensionierung

Bei der Dimensionierung von Tragseilen sind der Sicherheitsfaktor  $\nu$  für die maximale Tragseilkraft, das Querbelastungsverhältnis infolge einer Einzellast und das sog. Rollenlast-

verhältnis zu prüfen. Das Rollenlastverhältnis ist der Quotient aus der Druckkraft der Laufwerkräder der Kabine und der Tragseilkraft.

#### Tragseildimensionierung (gemäß DIN EN 12930)

Sicherheitsfaktor:  $S_B = \nu \cdot S_{T,max}$

$$\nu = 3,15$$

Querbelastungsverhältnis:  
infolge Fahrbetriebsmittel

$$\frac{Q_{FS}}{S_T} \leq \frac{1}{10}$$

Rollenlastverhältnis:  
am unteren Bahnende

$$\frac{V}{S_T} = \frac{V}{G_T} \leq \frac{1}{60-80}$$

abhängig vom Werkstoff  
des Rollenfutters

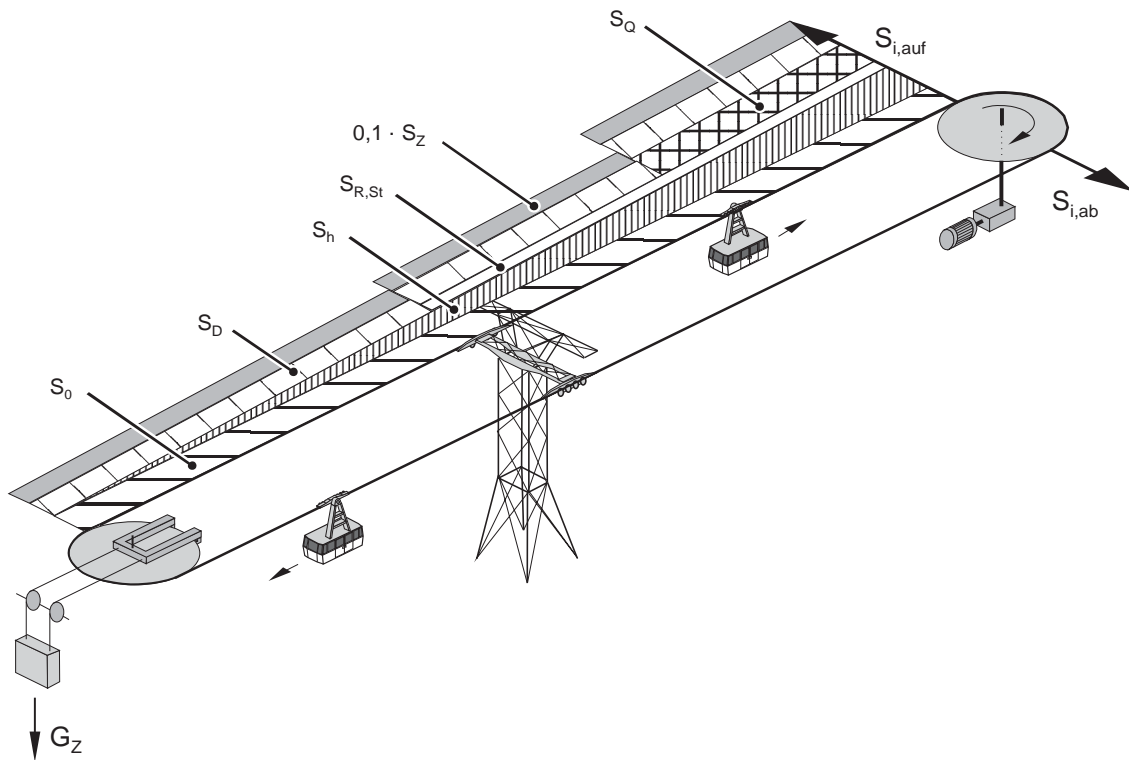
- $S_B$  : Mindestbruchlast des Seils
- $\nu$  : Sicherheitsfaktor
- $S_{T,max}$  : maximale Tragseilkraft (herrscht am oberen Seilende)
- $Q_{FS}$  : Querkraft infolge Fahrbetriebsmittel (Fahrzeuggewicht + anteiliges Zugseilgewicht)
- $V$  : Druckkraft der Laufwerkräder der Kabine auf das Tragseil
- $G_T$  : Gewichtskraft des Tragseilspanngewichts

c0202

## 8.2.3 Zug- und Förderseile

### 8.2.3.1 Zugseilkräfte

#### Zugseilkräfte - Zweiseil-Pendelbahn



Die Zugseilkraft  $S_Z$  (später auch  $S_{i,auf}$ ) einer Zweiseil-Pendelbahn berechnet sich zu:

$$S_Z = S_0 + S_h + S_Q + S_{R,St} + S_D + 0,1 \cdot S_Z$$

[44]

- $S_0$  : Zugseilkraft infolge Zugseil-Spanngewicht
- $S_h$  : Zugseilkraft infolge Zugseil-Eigengewicht
- $S_Q$  : Zugseilkraft infolge Last (z.B. Kabine)
- $S_{R,St}$  : Zugseilkraft zur Überwindung von Stützenreibung
- $S_D$  : Zugseilkraft infolge dynamischer Vorgänge (Anfahren, Bremsen)
- $0,1 \cdot S_Z$  : Zuschlag zur Gesamtspannkraft zwecks Berücksichtigung von Seilschwingungen

c0075

### Zugseilkraft infolge Zugseil-Spanngewicht $S_0$

$$S_0 = \frac{G_Z}{2}$$

$$G_Z = 2 \cdot (1500 \text{ bis } 2000) \cdot q_{Zt}$$

$$S_0 = (1500 \text{ bis } 2000) \cdot q_{Zt} \quad [45]$$

- $G_Z$  : Gewichtskraft des Zugseil-Spanngewichts  
 $q_{Zt}$  : Zugseilmetergewicht der talseitigen Zugseilschleife

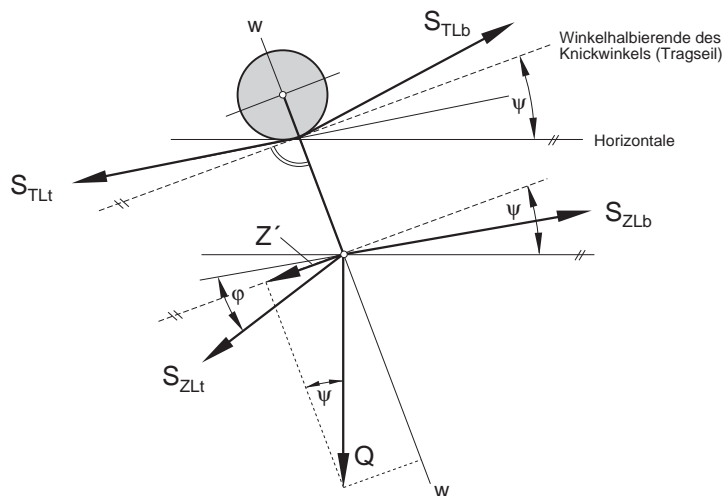
### Zugseilkraft infolge Zugseil-Eigengewicht (Höhenspannkraft) $S_h$

Es gilt die Vereinfachung :  $q_{Zb} = q_{Zt} = q_Z$

$$S_h = q_Z \cdot h = q_Z \cdot \sum_{s=1}^n h_s \quad [46]$$

- $q_{Zt}$  : Zugseilmetergewicht der talseitigen Zugseilschleife  
 $q_{Zb}$  : Zugseilmetergewicht der bergseitigen Zugseilschleife  
 $q_Z$  : Zugseilmetergewicht (ohne Unterscheidung)  
 $h$  : Höhendifferenz (allgemein)  
 $h_s$  : Höhendifferenz im Seilfeld s

### Zugseilkraft infolge Last (z.B. Kabine) $S_Q$



c0076

Kräftebilanz (siehe Skizze)  $S_Q = S_{ZLb} - S_{ZLt}$

Vereinfachung

$$S_Q = Z' = Q \cdot \sin \psi_i$$

[47]

Um Gleichung [47] zu lösen, ist der **Zugwirkungswinkel  $\psi_i$**  zu berechnen.

Dazu benötigt man die folgenden Gleichungen (vgl. Abb. auf S. 8.1-12 und Kap. 8.1.9):

$$\tan \psi_i = \tan \gamma_i - \frac{\left(\frac{Q}{l} + q_T^* + q_{Zt}\right) \cdot (l - 2\xi)}{2H_i^*} \quad [48]$$

In Feldmitte ( $\xi=l/2$ ) ergibt sich :  $\tan \psi_{im} = \tan \gamma_i$

$$H_i^* = H_{T_{i-1}b} + H_{ZLt,i} \approx H_{Tm,i} + (H_{ZLt})_{m,i} \quad [49]$$

$$H_{Tm,i} \approx S_{Tm,i} \cdot \cos \gamma_i \quad [50]$$

$$(H_{ZLt})_{m,i} \approx (S_{ZLt})_{m,i} \cdot \cos \gamma_i \quad [51]$$

$$(S_{ZLt})_{m,i} = 0,5 \cdot G_Z + q_{Zt} \cdot \left(\sum_{s=1}^{i-1} h_s + \frac{h_i}{2}\right) \pm \sum_{s=0}^{i-1} F_{R,s} \quad [52]$$

- $\psi_i$  : Zugwirkungswinkel im Seilfeld i
- $\gamma_i$  : Seilneigungswinkel im Seilfeld i
- $Q$  : Gewichtskraft der Einzellast
- $q_{Zt}$  : Zugseilmetergewicht der talseitigen Zugseilschleife
- $q_T^*$  : Tragseilmetergewicht
- $l$  : Länge der Stützfeldsehne i
- $H_i^*$  : Zusammengesetzte Horizontalkomponente von Trag- und Zugseilspannkraft
- $H_{T_{i-1}b}$  : Horizontalkomponente der Tragseilspannkraft bergseitig der Koppelstelle i-1
- $H_{ZLt,i}$  : Horizontalkomponente der Zugseilspannkraft talseitig der Koppelstelle Last im Seilfeld i
- $H_{Tm,i}$  : Horizontalkomponente der Tragseilspannkraft talseitig in Feldmitte des Seilfeldes i
- $(H_{ZLt})_{m,i}$  : Horizontalkomponente der Zugseilspannkraft talseitig der Koppelstelle Last in Feldmitte des Seilfeldes i
- $S_{Tm,i}$  : Tragseilspannkraft in Feldmitte des Feldes i
- $(S_{ZLt})_{m,i}$  : Zugseilspannkraft talseitig der Koppelstelle Last in Feldmitte des Feldes i
- $G_Z$  : Gewichtskraft des Zugseilspanngewichts
- $h_i$  : Höhendifferenz im Seilfeld i
- $h_s$  : Höhendifferenz im Seilfeld s ( $s=1 \rightarrow i-1$ )
- $F_{R,s}$  : Stützenrollenreibung des Zugseils an den Stützen s ( $s=1 \rightarrow i-1$ )

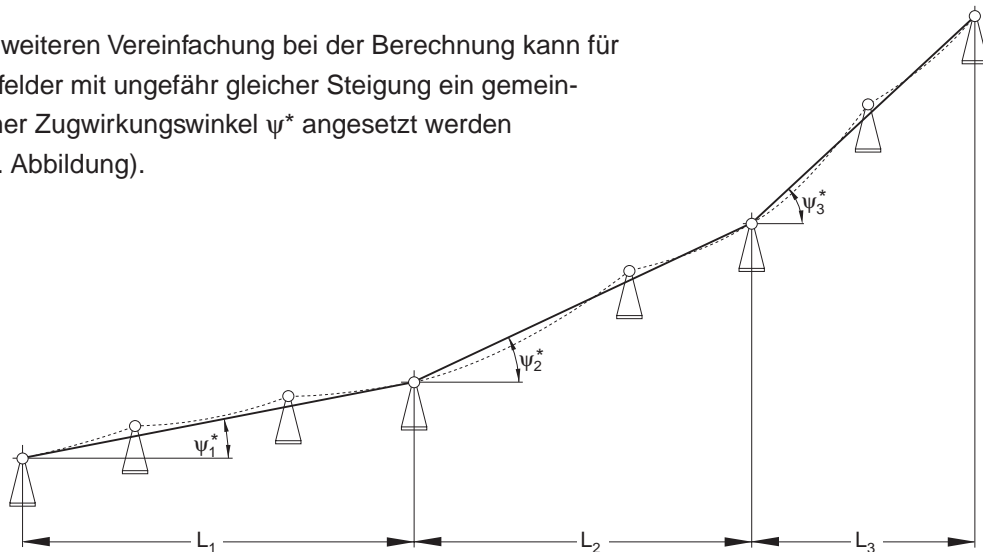
### Zugseilkraft zur Überwindung von Reibung $S_R$

Zur Vereinfachung sind die Stützenreibung  $S_{R,St}$  und die Laufwerkrollenreibung  $S_{R,Kab}$  zur Gesamtreibung  $S_R$  zusammengefaßt.

Annahme der Coulomb'schen Reibung:  $S_R = \mu \cdot F_N$  [53]

Vereinfachung Zugseileigengewicht:  $q_{Zt} = q_{Zb} = q_Z$

Zur weiteren Vereinfachung bei der Berechnung kann für Seilfelder mit ungefähr gleicher Steigung ein gemeinsamer Zugwirkungswinkel  $\psi^*$  angesetzt werden (vgl. Abbildung).



Zusammensetzung der Normalkraftanteile im Seilfeld i:

$$\text{Normalkraftanteil infolge Last: } F_{NL,i} \approx Q \cdot \cos \psi_i^* \quad [54a]$$

$$\text{Normalkraftanteil infolge Zugseileigengewicht: } F_{NE,i} \approx q_Z \cdot L_i \quad [54b]$$

$$\text{Normalkraft aus Zugseilkräften: } F_{NZ,i} \approx S_i \cdot \tan (\psi_i^* - \psi_{i+1}^*) \quad [54c]$$

[54a] - [54c] eingesetzt in [53] ergibt die gesuchte Reibungskraft  $S_R$ :

$$S_R = \sum S_{R,i}$$

$$S_R = \mu \cdot \left[ Q \cdot \cos \psi_i^* + q_Z \cdot \sum_{s=1}^n L_s + \sum_{s=1}^n S_s \cdot \tan (\psi_s^* - \psi_{s+1}^*) \right] \quad [55]$$

mit  $\mu = 0,025$  bis  $0,035$

- Q : Gewichtskraft der Einzellast
- $\psi_i^*$  : Zugwirkungswinkel im vereinfachten Seilfeld i
- $q_Z$  : Zugseilmetergewicht
- $L_s$  : horizontale Länge des vereinfachten Seilfeldes s (s=1 → n)
- $S_s$  : Zugseilspannkraft an den Stützen s (s=1 → n)



### Zugseilkraft infolge dynamischer Vorgänge (Anfahren, Bremsen) $S_D$

Gemäß dem Newton'schen Ansatz  $F = m \cdot a$  berechnet sich die dynamische Seilkraft  $S_D$  zu:

$$S_D = \pm \left( \frac{Q}{g} + \frac{q_Z \cdot L_1^*}{g} + \frac{z}{2} \cdot M_S \cdot \frac{2}{3} \right) \cdot a \quad [56]$$

Es gilt erneut die bekannte Vereinfachung:  $q_{Zt} = q_{Zb} = q_Z$

*Hinweis:* Um das „richtige“ Vorzeichen der dynamischen Seilkraft  $S_D$  auszuwählen, muß immer darauf geachtet werden, in welchem Zugseilstrang (tal- oder bergseitig) und für welche dynamische Belastung (Anfahren oder Beschleunigen) die dynamische Zugseilkraft berechnet werden soll !

- Q : Gewichtskraft der Einzellast
- g : Erdbeschleunigung
- $q_Z$  : Zugseilmetergewicht
- $L_1^*$  : Gesamtlänge der betrachteten Seilstrecke
- z : Anzahl der Umlenkscheiben
- $M_S$  : Masse der Umlenkscheiben
- a : Anfahr- oder Bremsbeschleunigung (immer positiven Wert einsetzen !)

### Zugseilkraft infolge Seilschwingungen

Zur Berücksichtigung von spannkrafterhöhenden Seilschwingungen, z.B. infolge ungleichmäßigen Laufes oder Geschwindigkeitsschwankungen, werden zur berechneten Seilkraft **10%** dazugeschlagen.

$$\text{Zuschlag} = 0,1 \cdot S_Z \quad [57]$$

$S_Z$  : Summe der vorher berechneten Zugseilkräfte

### 8.2.3.2 Dimensionierung

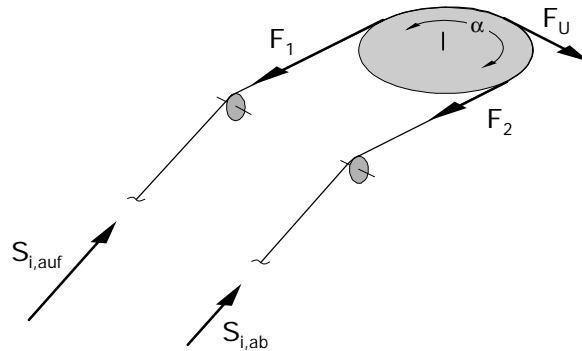
Zugseildimensionierung (gemäß DIN EN 12930)		
Sicherheitsfaktor:	$v = 4,2$	▶ bei Standseilbahnen
	$v = 3,8$	▶ bei Pendelbahnen mit Tragseilbremse
	$v = 4,0$	▶ bei Umlaufbahnen
Biegespannungen:	$\frac{\delta}{D} \leq \frac{1}{1000}$	$\delta$ : Drahtdurchmesser [mm] d : Seildurchmesser [mm] D : Seilscheibendurchmesser [mm]
	$\frac{d}{D} \leq \frac{1}{100}$	
Förderseildimensionierung (gemäß DIN EN 12930)		
Sicherheitsfaktor:	$v_{\min} = 4,0$	
	$v_{\max} = 15$	▶ Sicherheit der Spleißverbindung
Querbelastrungsverhältnis: infolge Fahrbetriebsmittel	$\frac{Q_{FB}}{S_F} \leq \frac{1}{15}$	$Q_{FB}$ : Querkraft infolge Fahrbetriebsmittel $Q_R$ : Querkraft infolge Rollendruck $S_F$ : Förderseilkraft
Rollendruckverhältnis: an den Stützen	$\frac{Q_R}{S_F} \leq \frac{1}{10}$	

c0203

## 8.2.4 Treibfähigkeitsnachweis

### 8.2.4.1 Erforderliche Umfangskraft

#### Erforderliche Umfangskraft $F_U$



c0078

Die Gleichungen [45] bis [57] eingesetzt in [44] liefern die Seilkräfte  $S_{i,auf}$  und  $S_{i,ab}$ :

$$S_{i,auf} = \frac{G_Z}{2} + q_Z \cdot \sum_{s=1}^n h_s + Q_{auf} \cdot \sin \psi_{i,auf} + \mu \cdot [ Q_{auf} \cdot \cos \psi_{i,auf}^* + q_Z \cdot \sum_{s=1}^n L_s + \sum_{s=1}^n S_s \cdot \tan (\psi_s^* - \psi_{s+1}^*) ] \pm \left( \frac{Q_{auf}}{g} + \frac{q_Z \cdot L_Z^*}{g} + \frac{z}{2} \cdot M_s \cdot \frac{2}{3} \right) \cdot a + 0,1 \cdot S_i \quad [58]$$

$$S_{i,ab} = \frac{G_Z}{2} + q_Z \cdot \sum_{s=1}^n h_s + Q_{ab} \cdot \sin \psi_{i,ab} - \mu \cdot [ Q_{ab} \cdot \cos \psi_{i,ab}^* + q_Z \cdot \sum_{s=1}^n L_s + \sum_{s=1}^n S_s \cdot \tan (\psi_s^* - \psi_{s+1}^*) ] \mp \left( \frac{Q_{ab}}{g} + \frac{q_Z \cdot L_Z^*}{g} + \frac{z}{2} \cdot M_s \cdot \frac{2}{3} \right) \cdot a + 0,1 \cdot S_i \quad [59]$$

$$F_U = F_1 - F_2 = S_{i,auf} - S_{i,ab}$$

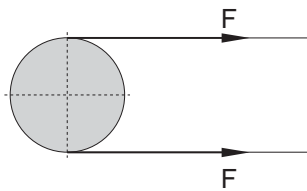
$$F_U = Q_{auf} \cdot \sin \psi_{i,auf} - Q_{ab} \cdot \sin \psi_{i,ab} + \mu \cdot [ Q_{auf} \cdot \cos \psi_{i,auf}^* + Q_{ab} \cdot \cos \psi_{i,ab}^* + 2q_Z \sum_{s=1}^n L_s + 2 \sum_{s=1}^n S_s \cdot \tan (\psi_s^* - \psi_{s+1}^*) ] \pm \left( \frac{Q_{auf} + Q_{ab}}{g} + 2 \cdot \frac{q_Z \cdot L_Z^*}{g} + z \cdot M_s \cdot \frac{2}{3} \right) \cdot a \quad [60]$$

- $Q_{auf}$  : Gewichtskraft der bergwärts fahrenden Einzellast
- $Q_{ab}$  : Gewichtskraft der talwärts fahrenden Einzellast
- $\psi_{i,auf}$  : Zugwirkungswinkel im sich bergwärts bewegenden Seilfeld
- $\psi_{i,ab}$  : Zugwirkungswinkel im sich talwärts bewegenden Seilfeld

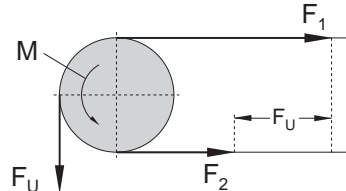
### 8.2.4.2 Verfügbare Umfangskraft

Die verfügbare Umfangskraft ist die maximale Kraft, die von der Seilscheibe durch Reibung auf das Seil übertragen werden kann.

#### Kräfte an der Antriebsscheibe



bei Stillstand  $v=0$



im Betrieb  $v \neq 0$

Umfangskraft :  $F_U = F_1 - F_2$

Antriebsdrehmoment :  $M = F_U \cdot r_s$

Antriebsleistung :  $P = M \cdot \omega_s = F_U \cdot v$

Eytelwein'sche Gleichung:  $\frac{F_1}{F_2} \leq e^{\mu_r \cdot \alpha}$

Die verfügbare Umfangskraft  $F_{U,verf}$  ergibt sich somit in Abhängigkeit von  $F_2$  zu:

$$F_{U,verf} \leq F_2 \cdot (e^{\mu_r \cdot \alpha} - 1)$$

[61]

$r_s$  : Radius der Antriebsscheibe

$\omega_s$  : Winkelgeschwindigkeit der Antriebsscheibe

$v$  : Fördergeschwindigkeit

$\mu_r$  : Haftreibungsbeiwert zwischen Seil und Seilscheibe

$\alpha$  : Umschlingungswinkel zwischen Seil und Seilscheibe (**im Bogenmaß !**)

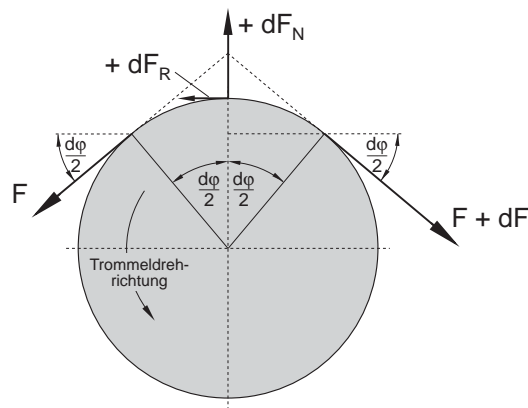
c0079

### 8.2.4.3 Grundlagen der Kraftübertragung

#### Coulomb-Morinsche Gesetze:

- 1) Die Gleitreibungskraft ist der relativen Geschwindigkeit entgegengesetzt gerichtet.
- 2) Die Größe der Reibungskraft ist dem Betrag der Normalkraft proportional:  
 $F_R = \mu \cdot F_N$
- 3) Der Gleitreibungskoeffizient ist kleiner als der Ruhehaftreibungskoeffizient:  
 $\mu_g < \mu_r$

#### Herleitung der Eytelwein'schen Gleichung



c0080

Horizontales Kräftegleichgewicht:  $\sum H = 0$

$$F \cdot \cos \frac{d\varphi}{2} + dF_R - (F + dF) \cdot \cos \frac{d\varphi}{2} = 0$$

$$dF_R - dF \cdot \cos \frac{d\varphi}{2} = 0 \quad [62]$$

Vertikales Kräftegleichgewicht:  $\sum V = 0$

$$- F \cdot \sin \frac{d\varphi}{2} + dF_N - (F + dF) \cdot \sin \frac{d\varphi}{2} = 0$$

$$dF_N - 2F \cdot \sin \frac{d\varphi}{2} - dF \cdot \sin \frac{d\varphi}{2} = 0 \quad [63]$$

Durch Vereinfachungen und Einsetzen der Coulomb'schen Reibkraft erhält man eine Differentialgleichung, deren Lösung sich folgendermaßen darstellt:

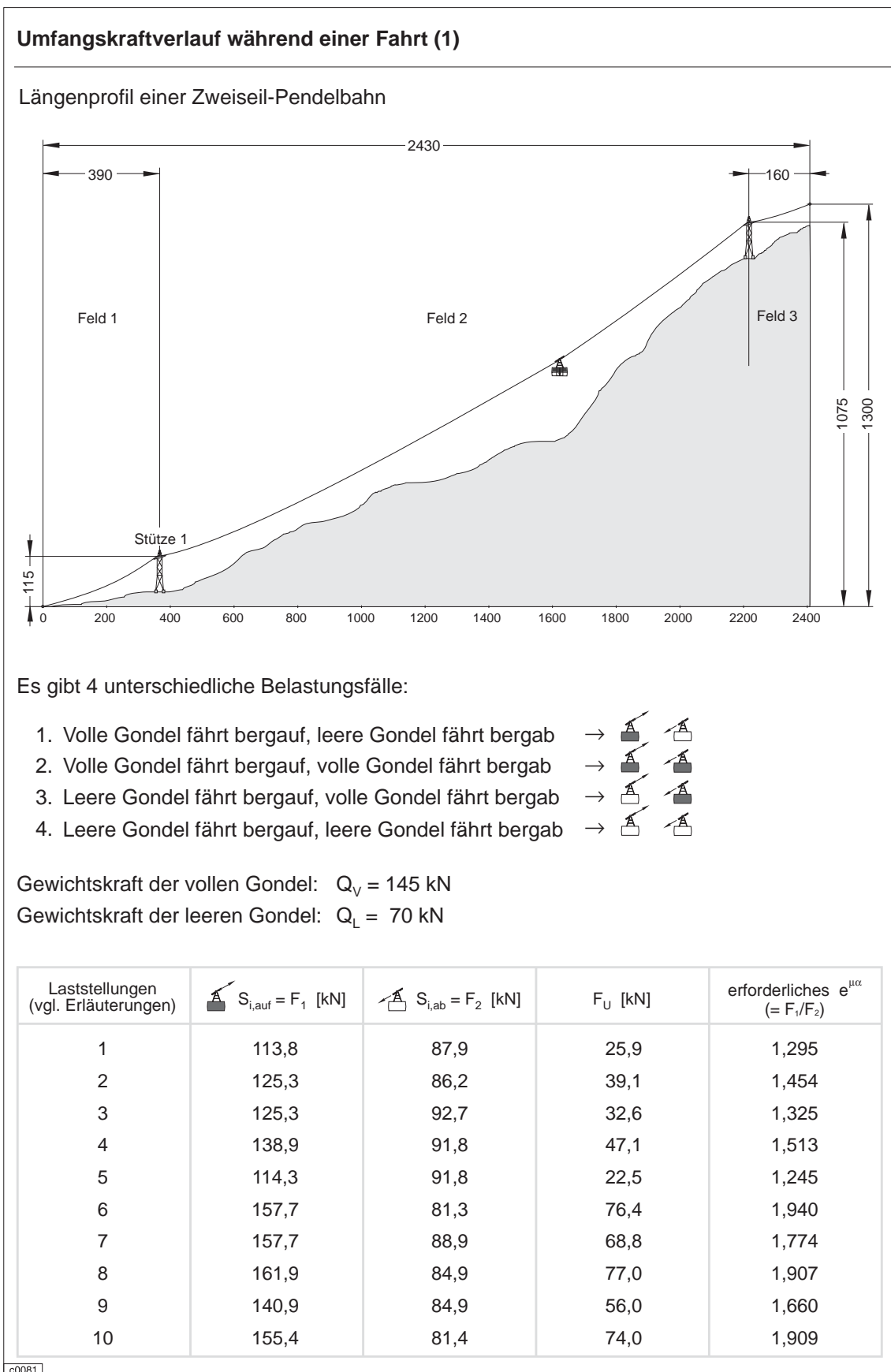
$$\frac{F}{F_2} = e^{\mu_r \cdot \varphi} \quad [64]$$

Will man den gesamten Umschlingungsbogen ausnutzen, so ist  $\varphi = \alpha$  und  $F = F_1$  zu setzen:

⇒ Eytelwein'sche Gleichung

$$\boxed{\frac{F_1}{F_2} = e^{\mu_r \cdot \alpha}} \quad [65]$$

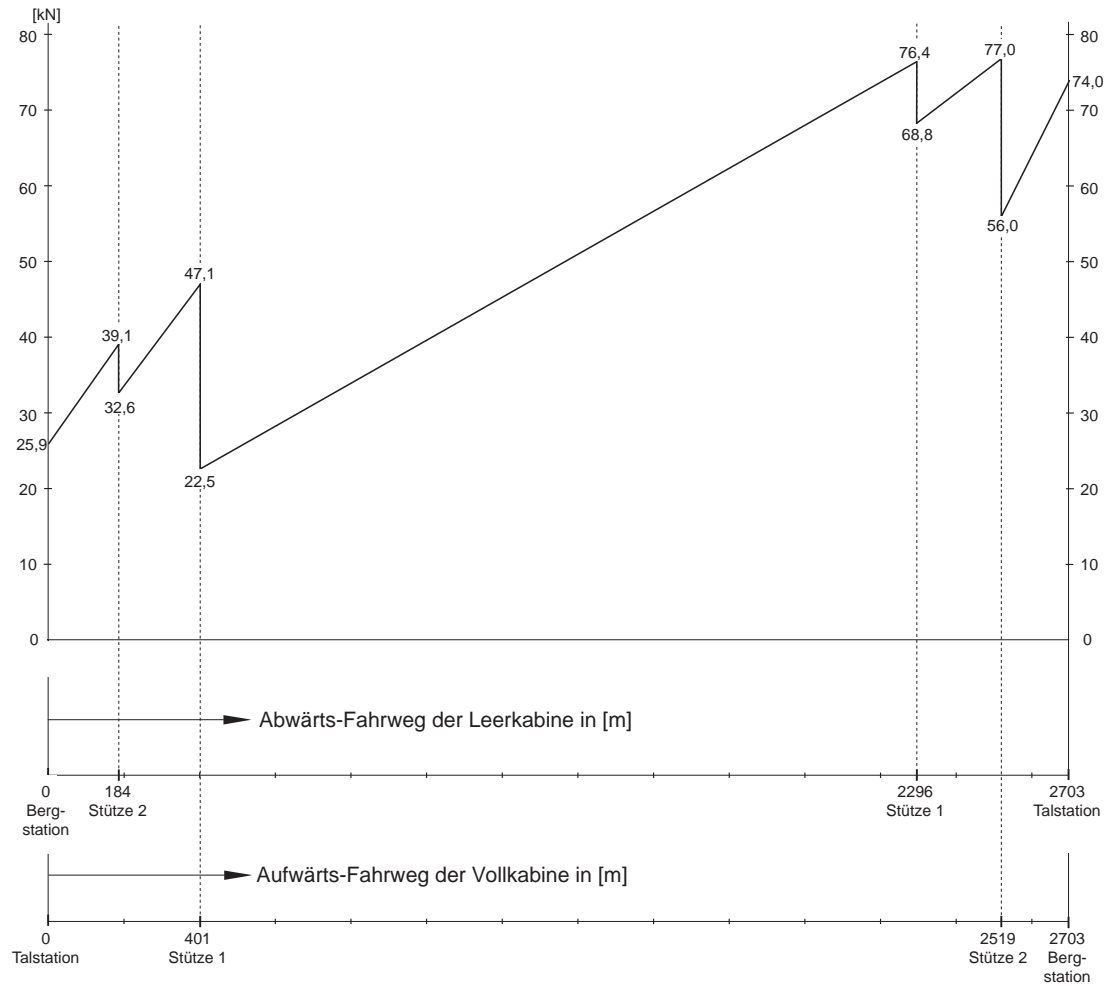
### 8.2.4.4 Umfangskraftverlauf während einer Fahrt





### Umfangskraftverlauf während einer Fahrt (2)

Umfangskraft  $F_U$  an der Antriebsscheibe als Funktion des Fahrwegs der Voll- und Leerkabine (ohne Beschleunigung).



c0082

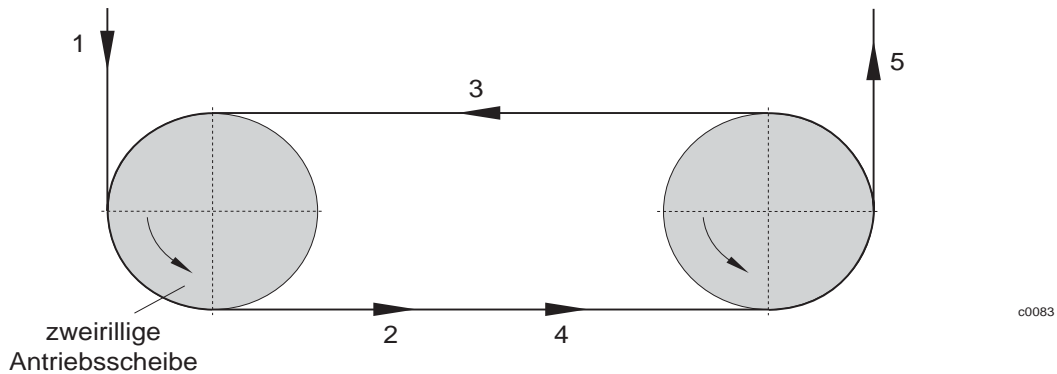
### 8.2.4.5 Überprüfung der Treibsicherheit

Für die ungünstigste Laststellung 6 (vgl. S. 8.2-13) wird die Treibsicherheit für den Anfahrvorgang überprüft.

*Vorgehensweise:* Ausgehend von den bekannten Kräften an der Treibscheibe, wird die Eytelwein'sche Gleichung (vgl. S. 8.2-12) nach dem **Reibwert  $\mu$**  aufgelöst. Ist der zur Übertragung der herrschenden Kräfte benötigte Reibwert um das 1,2-fache kleiner als der von der **BO-Seil** vorgeschriebene Wert  
 $\mu = 0,25$  (für die gefütterte Seilrille)  
 ist die Treibsicherheit gewährleistet !

#### Nachweis der Treibsicherheit (1)

In der Antriebsstation steht die unten skizzierte, zweirillige Antriebsscheibe zur Verfügung.



Beim Anfahren entstehen an der Antriebsscheibe neben den statischen Kräften  $F_1, F_2$  zusätzliche dynamische Kräfte  $F_{1,dyn}, F_{2,dyn}$  :

$$\Rightarrow F_{1,An} = F_1 + F_{1,dyn}$$

$$\Rightarrow F_{2,An} = F_2 - F_{2,dyn}$$

$$\text{mit } F_{dyn} = a \cdot \sum m$$

$a$  = Anfahrbeschleunigung ( $=0,3\text{m/s}^2$ )

$m$  = Massen von Kabine, Seil, Antriebsscheibe (soweit erforderlich, auf Seilachse bezogen, reduziert)

$$\Rightarrow F_{1,dyn} = 8,8 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow F_{2,dyn} = 7,5 \text{ kN}$$

Somit ergibt sich:

$$\rightarrow F_{1,An} = 157,7 \text{ kN} + 8,8 \text{ kN} = \mathbf{166,5 \text{ kN}}$$

$$\rightarrow F_{2,An} = 81,3 \text{ kN} - 7,5 \text{ kN} = \mathbf{73,8 \text{ kN}}$$

### Nachweis der Treibsicherheit (2)

Mit den neu berechneten Kräften an der Antriebsscheibe erfolgt nun der Nachweis für die Treibsicherheit beim Anfahren:

→ Eytelwein'sche Gleichung  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{166,5 \text{ kN}}{73,8 \text{ kN}} = 2,26 \leq e^{\mu_{\text{erf}} \alpha}$

→ Umschlingungswinkel  $\alpha = 90^\circ + 180^\circ = 270^\circ = 1,5 \cdot \pi$

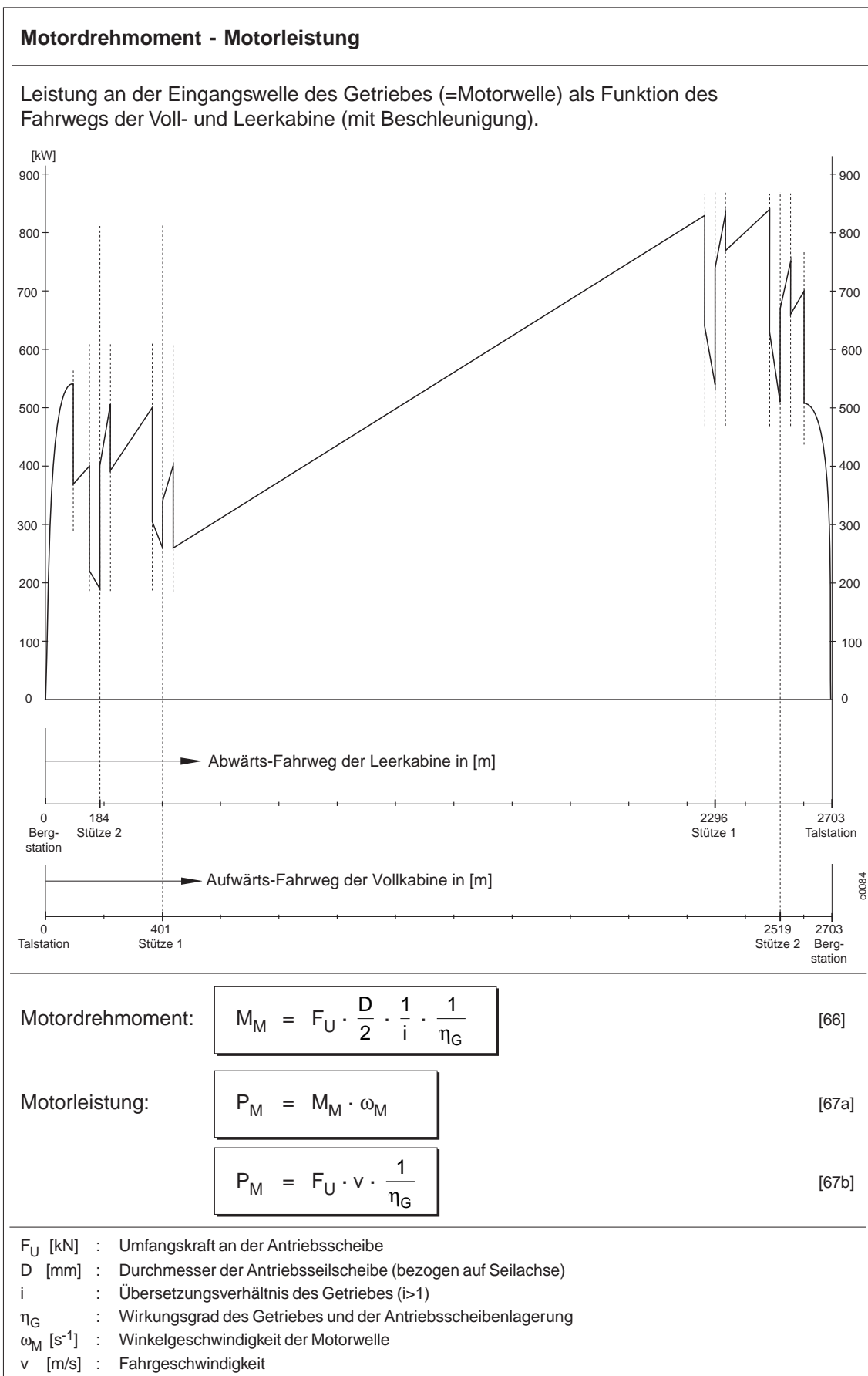
⇒ Grenzbedingung  $2,26 = e^{\mu_{\text{erf}} \cdot 1,5\pi}$

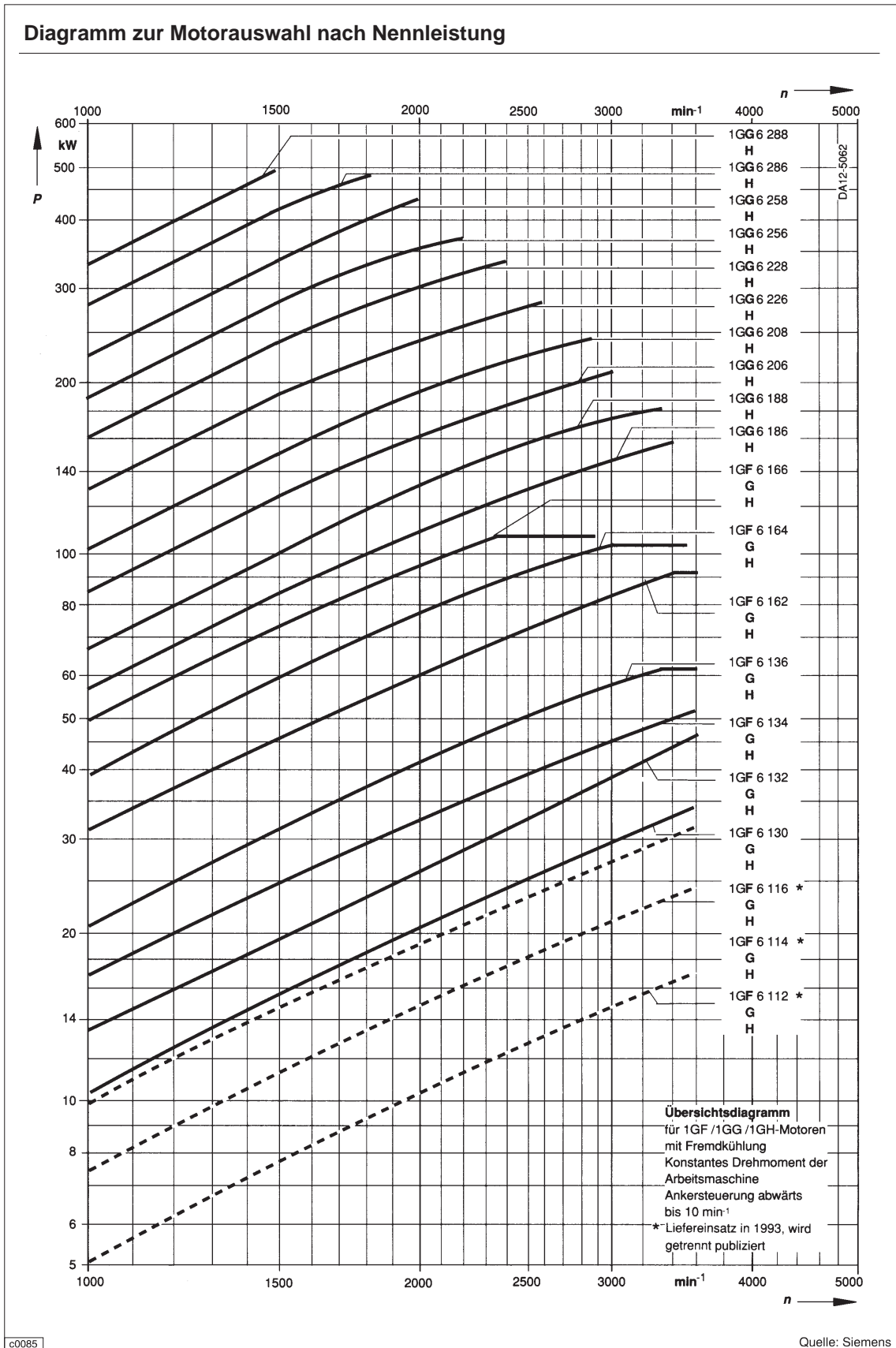
⇒ Reibwert  $\mu_{\text{erf}} = \frac{1}{1,5 \cdot \pi} \cdot \ln 2,26 = 0,174$

→ Überprüfung der BO-Seil

$$1,2 \cdot \mu_{\text{erf}} = 1,2 \cdot 0,174 = 0,2088 < 0,25 \quad \checkmark$$

## 8.2.5 Motordimensionierung





## 8.2.6 Dimensionierung der Seilauflager

Dimensionierung der Seilauflager		
Seilscheiben:	$\frac{D}{\delta} \geq 1000$	$\delta$ [mm] : Drahtdurchmesser Zugseil $d$ [mm] : Seildurchmesser Zugseil $D$ [mm] : Seilscheibendurchmesser
	$\frac{D}{d} \geq 100$	
Verankerungstrommeln:	$\frac{D}{\delta} \geq 750$	$\delta$ [mm] : Drahtdurchmesser Tragseil $d$ [mm] : Seildurchmesser Tragseil $D$ [mm] : Verankerungstrommeldurchmesser
	$\frac{D}{d} \geq 50$	
Tragseilschuhe:	$R \geq 200 \cdot d$	$R$ [mm] : Tragseilschuhradius $d$ [mm] : Seildurchmesser Tragseil $v$ [m/s] : Fahrgeschwindigkeit
→ Querbeschleunigung der Kabine bei Stützenüberfahrt	$\frac{v^2}{R} \leq 2$	