



ORGANIZZAZIONE INTERNAZIONALE TRASPORTI A FUNE
INTERNATIONALE ORGANISATION FÜR DAS SEILBAHNWESEN
ORGANISATION INTERNATIONALE DES TRANSPORTS A CABLES
INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR TRANSPORTATION BY ROPE
ORGANISACION INTERNACIONAL DES TRANSPORTES POR CABLE

Gültige technische Empfehlungen

HEFT NR. 18

Empfehlungen für die Berücksichtigung von technischen Besonderheiten für Doppel-Einseilbahnen

Internationale Organisation für das Seilbahnwesen

O.I.T.A.F.

**EMPFEHLUNGEN FÜR DIE BERÜCKSICHTIGUNG VON
TECHNISCHEN BESONDERHEITEN FÜR
DOPPEL-EINSEILBAHNEN**

Heft Nr. 18

Studienausschuss Nr. 1

Mai 2001

EMPFEHLUNGEN FÜR DIE BERÜCKSICHTIGUNG VON TECHNISCHEN BESONDERHEITEN FÜR DOPPEL-EINSEILBAHNEN

Die nachstehenden Empfehlungen beinhalten technische Anforderungen, die durch die systembedingten Besonderheiten von Doppel-Einseilbahnen begründet sind. Sie gründen auf bereits bekannte Ausführungen und den damit gemachten Betriebserfahrungen. Bei geänderten Konstruktionsmerkmalen sind die Empfehlungen mit einem zumindest gleichen Sicherheitsniveau zu erfüllen. Die gegenseitige Beeinflussung der in Betrieb mit Wagen besetzten parallel laufenden Seile bewirken Lastumlagerungen und geometrische Auswirkungen wie Änderungen der Seilfigur oder des Lichtraumprofiles.

Inhalt:

1. Anwendungsbereich
2. Windeinwirkung in Betrieb
3. Trasse und Seilfeldlängen
4. Seitenabstände
5. Spurweite
6. Sicherheitsstrecke nach der Stationsausfahrt
7. Querbelastungsverhältnis
8. Zusatzlasten durch die behinderte Querpendelung
9. Gleichlauf der Seile
10. Anhang

1. Anwendungsbereich

- 1.1 Die Empfehlungen sind für Seilbahnen mit Personenverkehr, bei denen Wagen an zwei parallel laufenden Förderseilen oder an ein Förderseil, das eine Doppelschleife bildet, gekuppelt und im Umlaufbetrieb getragen und bewegt werden.
- 1.2 Die Empfehlungen sind für Seilbahnen, bei denen der Abstand der parallel laufenden Seile sowohl größer (z.B. System Funitel) als auch kleiner als die Wagenbreite ist.

2. Windeinwirkung in Betrieb

Die Größe der Windeinwirkung (Staudruck), die für den Lastfall „in Betrieb“ den Nachweisen zugrundegelegt wird, ist entsprechend der in der Projektierung vorgesehenen Windgeschwindigkeit, bei der ein Fahrbetrieb der Seilbahn möglich sein soll, anzunehmen. Der Mindeststaudruck beträgt $0,25 \text{ kN/m}^2$. Da Doppel-Einseilbahnen bei höheren Windgeschwindigkeiten als Einseilbahnen betrieben werden können, wird die Annahme eines Staudruckes von mindestens $0,4 \text{ kN/m}^2$ empfohlen.

3. Trasse und Seilfeldlängen

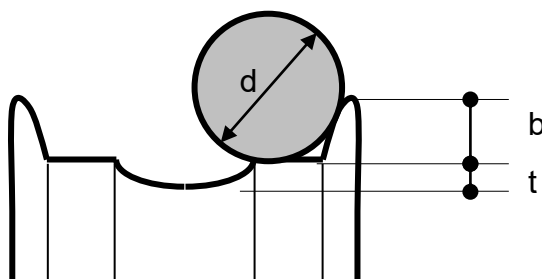
Bei der Seilführung der Doppel-Einseilbahnen ist neben den bei Seilbahnen allgemein zu berücksichtigenden Gegebenheiten (z.B. Stützenlasten, örtliche Beanspruchung des Förderseiles) die Einflüsse der Doppelseilführung hinsichtlich der Lastumlagerung und der geometrischen Auswirkungen zu beachten.

Durch die Windstabilität der Fahrzeuge werden bei langen Seilfeldern zusätzliche Nachweise erforderlich. Es sind daher für den Lastfall „in Betrieb“ zusätzliche Bestimmungen einzuhalten, die in den Punkten 3.1, 3.2 und 3.3 angeführt sind. Die Größe der Windlast (Staudruck), die für den Lastfall „in Betrieb“ den Nachweisen zugrundegelegt wird, ist entsprechend Punkt 2 anzunehmen. Eine Reduzierung der Windlast wie für den Spurweitennachweis (siehe Punkt 5) angegeben, ist dabei nicht vorzunehmen.

3.1 Konstruktive Maßnahmen an den Seilrollen

Bei neuen Einlagerungen muss der Quotient des Überstandes des Rollenbordes über dem Seilrollenfutter b zur Rillentiefe im Seilrollenfutter t mindestens 2,0 sein.

An Tragrollen muss der Überstand des Rollenbordes b über dem Seilrollenfutter mindestens $\frac{1}{4}$ des Seildurchmessers d sein.



3.2 Mindestrollenlasten

Die Mindestrollenlast darf 1,0 kN nicht unterschreiten.

Sollte die Mindestrollenlast unterschritten werden, ist durch konstruktive Maßnahmen die sichere Seilführung zu gewährleisten.

Die Änderung der Seilaufgelast an den Stützenrollen durch einen seitlich angreifenden Wind unter Berücksichtigung des Verdrehwiderstandes der Fahrbahn ist bei der Ermittlung der Mindestrollenlast nicht zu berücksichtigen.

3.3 Seitlicher Anlaufwinkel

An der einlaufseitig ersten Rolle einer Stütze ist die Sicherheit gegen Verlassen des Seiles aus der Rille zu ermitteln. Die Sicherheit gegen Verlassen des Seiles aus der Rille wird dabei als Quotient zwischen dem auf Grund der Gegebenheiten und der Konstruktion an der Seilrolle (Rollenausbildung, Seildurchmesser usw.) ermittelten Anlaufwinkel, bei dem das Seil die Rille verlässt (zulässiger seitlicher Anlaufwinkel), und dem rechnerisch ermittelten seitlichen Anlaufwinkel, definiert.

Diese muss im Lastfall „in Betrieb“ bei einer seitlichen Windeinwirkung gemäß Punkt 2 mindestens 1,0 sein.

Ist der Quotient kleiner als 1, müssen Einrichtungen vorgesehen werden, die das Verlassen des Seiles aus der Rille verhindern oder erkennen und eine Abschaltung der Seilbahn bewirken, bevor das Seil völlig entgleisen kann.

3.3.1 Rechnerische Ermittlung des seitlichen Anlaufwinkels

Die Größe des seitlichen Anlaufwinkels bei leerem Seil und bei einem mit Einzellasten besetzten Seilfeld ist gemäß Anhang zu berechnen.

Bei der Ermittlung des seitlichen Anlaufwinkels bei leerem Seil kann der Staudruck gemäß Punkt 5 vermindert werden. Bei der Ermittlung des seitlichen Anlaufwinkels durch die im Seilfeld befindlichen Einzellasten ist die Verminderung des Staudruckes nicht zulässig.

3.3.2 zulässiger seitlicher Anlaufwinkel

Die Größe des zulässigen seitlichen Anlaufwinkels ist nachzuweisen.

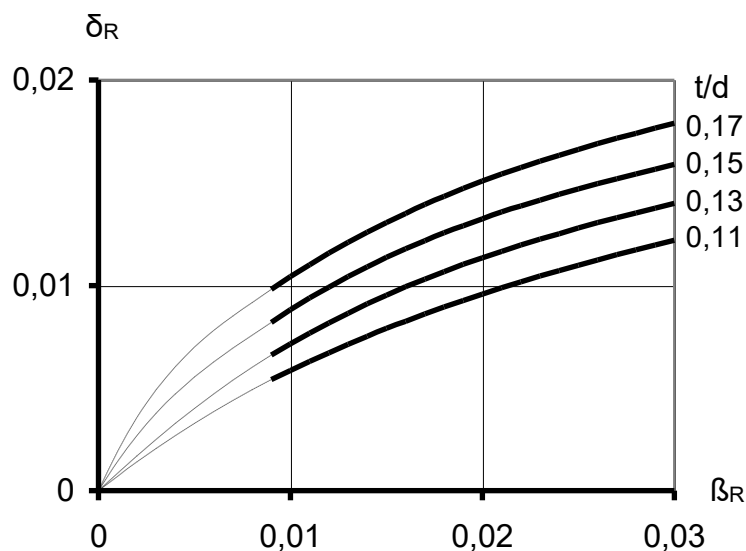
Für Trag- und Niederhalterollenbatterien kann unter Berücksichtigung der in der Regel untergeordneten weiteren Einflüsse (s. Diss. Piskoty) das nachstehende Diagramm verwendet werden, wenn folgende Bestimmungen erfüllt sind:

$$R/d \leq 0,7,$$

$$\text{Reibwert zwischen Seil und Rollenfutter} \leq 0,30$$

$$\text{Rollenabstand} \leq 14d$$

$$\text{Rollenanzahl} \geq 4$$



(nach G. Piskoty Diss. Juli 1995)

t Rillentiefe

d Seildurchmesser

δ_R .. zulässiger seitlicher Anlaufwinkel

β_R .. vertikaler Ablenkwinkel pro Rolle

R ... Rillenradius

4. Seitenabstände

4.1 Seitenabstände im Seilfeld

Die Seitenabstände sind unter dem Einfluss eines seitlich wirkenden horizontalen Staudruckes für den Fall „in Betrieb“ und „außer Betrieb“ zu untersuchen. Dabei sind zu berücksichtigen:

In Betrieb:

- Querauslenkungen der Seile
- Querauslenkungen der Wagen
- Querpendelungen der Wagen

außer Betrieb:

Querauslenkung der Seile

Bei der Ermittlung der Seitenabstände kann der Staudruck gemäß Punkt 5 vermindert werden.

4.1.1 Horizontale Querauslenkung durch Windangriff auf die Seile

Bei der Ermittlung der seitlichen Verschiebung der Seile durch Windangriff ist sowohl im Lastfall „in Betrieb“ als auch „außer Betrieb“ ein über die schräge Seilfeldlänge gleichmäßig verteilter horizontal angreifender Staudruck anzunehmen.

4.1.2 Horizontale Querauslenkung durch Windangriff auf die Wagen

Die Berechnung der Querauslenkung der Fahrzeuge durch Windangriff ist durch Einzellasten zu bestimmen. Erläuterungen dazu sind im Anhang enthalten.

4.1.3 Querpendelungen der Wagen

Die Querpendelung im Seilfeld ist mit $0,35 \text{ rad}$ anzunehmen. Davon kann abgegangen werden, wenn die Querpendelung unter Berücksichtigung des Widerstandes der durch die parallel laufenden Seile gebildeten Fahrbahn und unter Berücksichtigung des Einflusses weiterer Wagen im Seilfeld ermittelt wird.

Der Einfluss der übrigen im Seilfeld befindlichen Wagen ist unter der Annahme eines statischen Gleichgewichtes (alle Wagen verharren im quergependeltem Zustand) zu berücksichtigen. Wird kein explizierter Nachweis geführt, kann der Einfluss mehrerer Wagen im Seilfeld auch näherungsweise bestimmt werden, in dem die Querpendelung für den Einzelwagen ohne weitere Wagen im Seilfeld ermittelt und diese dann mit dem Faktor 1,2 multipliziert wird.

Erläuterungen dazu sind im Anhang enthalten.

4.2 Seitliches Lichtraumprofil bei der Stützenüberfahrt

Auf Grund der verhinderten Querpendelung der Wagen an den Stützen sind durch Windeinfluss keine seitlichen Auslenkungen zu berücksichtigen. Die Festlegung des Lichtraumprofils eines Wagens an der Stütze erfolgt daher

durch konstruktive und geometrische Vorgaben. So sind bei der Festlegung des Lichtraumprofils des Wagens

- eine konstruktiv mögliche Querpendelung oder Verschiebung des Wagens bei gefederter Aufhängung
- eine Schrägstellung des Wagens durch Versagen von dämpfenden Elementen der Aufhängvorrichtungen des Wagenkastens zum Gehänge zu berücksichtigen.

Die Freigängigkeit muss auch bei einer Längspendelung der Wagen von $0,35 \text{ rad}$ gewährleistet sein. Eine Überlagerung von Quer- und Längspendelung darf vernachlässigt werden.

Der Abstand der Wagenteile zu festen Bauteilen der Stütze (Stützenschaft, Arbeitspodeste usw.) muss zusätzlich mindestens 30 cm betragen.

Weiters muss bei einem einseitig entgleistes Seil, das von der Seilfangvorrichtung aufgenommen wird, ein Übergang des Wagens bei der Stütze ohne Stützenberührung möglich sein.

5. Spurweite

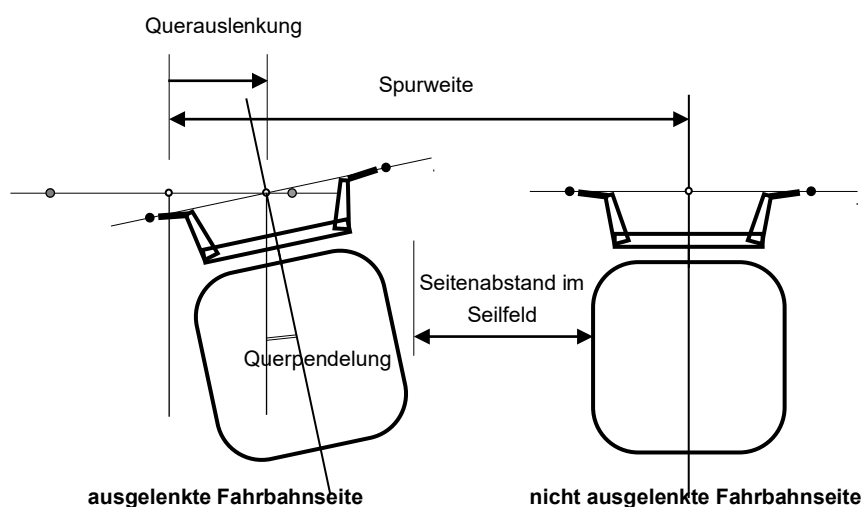
Bei Ermittlung der Spurweite ist der Lastfall „in Betrieb“ zu berücksichtigen. Das Lichtraumprofil ist gemäß Punkt 4 zu bestimmen, wobei die Größe des Staudruckes entsprechend der in der Projektierung vorgesehenen Windgeschwindigkeit, bei der ein Fahrbetrieb der Seilbahn möglich sein soll, anzunehmen ist.

Für den Nachweis der ausreichenden Spurweite ist die Querpendelung des Wagens von $0,20 \text{ rad}$ anzunehmen. Davon kann abgegangen werden, wenn die Querpendelung wie unter Punkt 4.1.3 angeführt ist, ermittelt wird.

Erläuterungen dazu sind im Anhang enthalten.

Die kleinst anzunehmende Querpendelung beträgt in diesem Fall $0,15 \text{ rad}$.

Für die Seile einer Seite ist keine seitliche Verschiebung infolge Windeinwirkung, für die Seile der anderen Seite ist eine seitliche Auslenkung infolge Windeinwirkung anzunehmen.



Bei schrägen Spannfeldlängen über 400 m kann für die Bestimmung der seitlichen Verschiebung der Seile infolge Seitenwindeinfluss ein auf die gesamte Spannfeldlänge wirkender Staudruck q_F angenommen werden, der sich aus einer fiktiven Feldlänge L_F wie folgt errechnet.

$$q_F = q (L_F/L)^2$$

Die fiktive Feldlänge L_F wird aus der schrägen Feldlänge L (Meter) nach folgender Gleichung ermittelt:

$$L_F = 240 + 0,4 L$$

- q Staudruck
 L schräge Seilfeldlänge (m)

6. Sicherheitsstrecke nach der Stationsausfahrt

Wenn nach der Kuppelstelle keine Vorkehrungen getroffen werden, die einen schlecht gekuppelten Wagen am Verlassen der Station hindern, ist eine Sicherheitsstrecke mit einer Mindestlänge des 1,2-fachen Anhalteweges auszubilden. Über die Länge der gesamten Sicherheitsstrecke beträgt die größtzulässige mittlere Seilneigung am Wagenort 0,10 rad.

Auf die Sicherheitsstrecke kann verzichtet werden, wenn

- die Wagen mit mindestens vier Klemmapparaten ausgerüstet sind, wobei an jedes Förderseil mindestens zwei Klemmapparate befestigt sind und

- die Klemmung der Wagen von zwei unabhängigen mechanischen Einrichtungen erfolgt und
- die relative Lage der Seile und der Klemmapparate bei jedem möglichen Fehlerfall mechanisch erzwungen wird und
- die Abziehkraft zweier Klemmapparate am Seil unter Berücksichtigung der betrieblich zulässigen Einflüsse auf die Klemmkraft (Änderung des Seildurchmessers, Abnutzung des Klemmenmaules) größer ist als die 1,5-fache Hangabtriebskomponente bei vollbeladenem Wagen.

7. Querbelastungsverhältnis

Das Querbelastungsverhältnis als Quotient der Seilspannkraft und der auftretenden Normalkraft auf das Seil darf bei einem Einzelklemmapparat den Wert 15,0 und bei einem Doppelklemmapparat den Wert 11,0 nicht unterschreiten. Bei einem Doppelklemmapparat muss der mittige Abstand zwischen den Einzelklemmen mind. 1,0 m betragen, ansonsten sind die Klemmapparate als eine einzige Normalkraft zu betrachten.

8. Zusatzlasten durch die behinderte Querpendelung

Die durch die beiden Seile gebildete Fahrbahn behindert die freie Querpendelung der Wagen bei einem seitlichen Windangriff. Das Kräftepaar, das durch den Widerstand der Fahrbahn gebildet wird, ist bei der Bemessung der Wagen (Klemmapparate, Klemmenwagen) und der Seilunterstützungen (Rollen, Rollenbatterien, Stützentragwerk) zu berücksichtigen. Als seitliche Windbelastung ist dabei der Betriebswind maßgebend.

Zufolge der behinderten Querpendelung bei seitlichem Windangriff ist für die Bemessung der Bauteile der Wagen und der Seilunterstützungen die Zusatzlast

$$Z = \frac{W \cdot h}{e} \quad \text{zu berücksichtigen.}$$

W	seitlich und horizontal wirkende Windangriffskraft auf einen Wagen (N)
h	Abstand der Windkraft zum Drehpunkt der Seile (m)
e	Seilabstand (m)

Bei der Bemessung der Bauteile der Seilunterstützungen ist neben der Zusatzlast Z auch der Einfluss der in den angrenzenden Seilfeldern befindlichen Wagen zu berücksichtigen. Erläuterungen dazu sind im Anhang enthalten.

9. Gleichlauf der Seile

Bei der Seilführung der in gleicher Richtung bewegten Seile ist zu trachten, dass die von außen auf die Seile wirkenden Belastungen (z.B. Reibung, dynamische Kräfte) möglichst in gleicher Größe und Richtung wirken.

Durch technische Maßnahmen ist der Gleichlauf der Seile sicherzustellen oder der Gleichlauf ist zu überwachen. Bei einer festgestellten Abweichung vom Gleichlauf ist die Seilbahn stillzusetzen. Die Toleranz, bei der die Abweichung des Gleichlaufes zum Ansprechen der Überwachungseinrichtung führt, ist bei der Projektierung zu berücksichtigen (Schrägstellung der Wagen, Berücksichtigung einer in Seilrichtung zusätzlich in die Klemmapparate eingeleiteten Last).

10. Anhang

Erläuterung zu Punkt 3.3.1

Der größte seitliche Anlaufwinkel an einer Stütze wird dann erreicht, wenn sich ein Wagen unmittelbar vor der Stütze befindet.

Die Tangenskomponente des seitlichen Anlaufwinkels zufolge der Windlast an den Wagen an einem Seil ($\tan \alpha_E$) kann mit

$$\tan \alpha_E = \frac{W \cdot n}{2L \cdot S_m} \cdot \left(L - \frac{a}{2} \cdot (n-1) \right)$$

ermittelt werden.

W	seitliche Windlast an jedem Einzelwagen (N)
L	schräge Seilfeldlänge (m)
S_m	mittlere Seilspannkraft im betrachteten Seilfeld (N)
a	Wagenabstand (m)
n	Wagenanzahl im Seilfeld

Die Tangenskomponente des seitlichen Anlaufwinkels zufolge der Windeinwirkung auf das Einzelseil ($\tan \alpha_s$) kann mit

$$\tan \alpha_s = \frac{w \cdot L}{2S_m}$$

ermittelt werden.

w	horizontale Windgleichlast (N/m)
L	schräge Seilfeldlänge (m)
S _m	mittlere Seilspannkraft im betrachteten Seilfeld (N)

Durch Addition der beiden Tangenskomponenten wird der seitliche Anlaufwinkel bestimmt.

Erläuterung zu Punkt 4.1.2

Die horizontale Auslenkung f_x am jeweiligen Seilort kann mit

$$f_x = \frac{W}{S_m} \cdot \left[\frac{x}{L} \cdot \left(n \cdot (L - b) - \frac{a \cdot n}{2} \cdot (n - 1) - \frac{a \cdot y}{2} \cdot (y + 1) \right) \right]$$

ermittelt werden.

$$n = 1 + \text{int} \frac{x}{a} + \text{int} \frac{L - x}{a}$$

$$b = x - a \cdot \text{int} \frac{x}{a}$$

$$y = \text{int} \frac{x}{a}$$

W	seitliche Windlast an jedem Einzelwagen (N)
S _m	mittlere Seilspannkraft im Seilfeld je Seil (N)
x	Die schräge Entfernung des betrachteter Seilpunkt von der Stütze i (m)
L	schräge Seilfeldlänge (m)
b	Seillängenabstand des ersten Wagens im Seilfeld von der Stütze i (m)
n	Wagenanzahl im Seilfeld
a	Wagenabstand (m)
y	Wagenanzahl zwischen der Stütze i und dem Seilort x

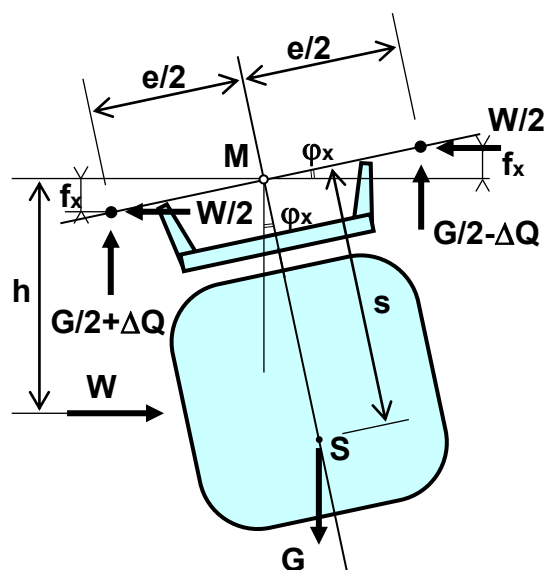
Erläuterung zu Punkt 4.1.3

Die Querverpendelungen der Wagen sind von den jeweiligen Anlageverhältnissen im Seilfeld (Seilspannkraft, Länge des Seilfeldes, Anzahl der Wagen im Seilfeld, Wagenabstand, Seilabstand, Wagenmasse usw.) abhängig. Durch den ortsveränderlichen Widerstand der von den beiden parallel laufenden Seilen gebildeten Fahrbahn kann die Größe der Schrägstellung φ_x eines Wagens am Seilfeldort x mit

$$\sin \varphi_x = W \cdot h \cdot \left(\frac{2x \cdot (l - x)}{S_m \cdot l \cdot \cos \gamma \cdot e^2 + 2G \cdot s \cdot x \cdot (l - x)} \right)$$

ermittelt werden.

$\sin \varphi_x$ Sinuskomponente der Querverpendelung



W	seitlich und horizontal wirkende Windangriffskraft auf einen Wagen (N)
h	Abstand der Windkraft zum Drehpunkt der Seile (m)
x	horizontale Entfernung des Seilpunktes zur Stütze (m)
l	horizontale Seilfeldlänge (m)
S_m	mittlere Seilspannkraft im Seilfeld (N)
γ	Sehnenneigungswinkel des Seilfeldes
e	Seilabstand (m)
G	Gewicht des leeren Wagens (N)
s	Abstand des Massenschwerpunktes des leeren Wagens zum Drehpunkt der Seile

Erläuterung zu Punkt 8

Die Berücksichtigung mehrerer Wagen in einem Seilfeld erfolgt mit Hilfe des ortsveränderlichen Widerstandes der Fahrbahn.

$$\psi = \frac{1}{1 + \frac{2G \cdot s \cdot x \cdot (l - x)}{S_m \cdot l \cdot \cos \gamma \cdot e^2}}$$

G	Gewicht des leeren Wagens (N)
s	Abstand des Massenschwerpunktes vom leeren Wagen zum Drehpunkt der Seile (m)
x	horizontale Entfernung des Seilpunktes zur Stütze (m)
l	horizontale Seilfeldlänge (m)
S _m	mittlere Seilspannkraft im Seilfeld (N)
γ	Sehnenneigungswinkel des Seilfeldes
e	Seilabstand (m)

Die vom Wagenstandort abhängige vertikale Auflast ΔQ am Seil durch die im Seilfeld verteilten Einzelwagen wird mit

$$\Delta Q = \psi \cdot \frac{W \cdot h}{e}$$

ermittelt.

W	seitlich und horizontal wirkende Windangriffskraft auf einen Wagen (N)
h	Abstand der Windkraft zum Drehpunkt der Seile (m)
e	Seilabstand (m)