

# Dokumentation Rope

Version 1.0 (2014)



CPE - Lana

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
Einleitung .....	1
<b>2. Eingabe der Parameter .....</b>	<b>2</b>
Das Eingabe GUI .....	3
Einlesen des Profiles .....	4
<b>3. Ausgabe der Ergebnisse .....</b>	<b>5</b>
Das Ausgabe GUI .....	5
Die MATLAB Figuren.....	6
Die Textdateien .....	12
<b>4. Anhang .....</b>	<b>17</b>
Physikalisches Modell.....	17
Numerische Aspekte .....	17
Literatur .....	17

# Liste der Figuren

2-1. Das Eingabe Graphic User Interface .....	2
2-2. Eine fehlende Eingabe erzeugt eine Fehlermeldung .....	3
3-1. Das Ausgabe Graphic User Interface. Darstellung der Wanderlast und des Bergprofiles.....	5
3-2. Ausgabe GUI: Darstellung der Tragseilspannung. ....	6
3-3. Tragseilverschiebung .....	7
3-4. Seilspannung für das Leerseil.....	8
3-5. Tragseilspannung .....	9
3-6. Stützen - Normalkraft.....	10
3-7. Zugseilspannung (Wagenkomponente) .....	11
3-8. Bodenabstand der Wanderlast .....	12



# Kapitel 1. Einleitung

## Einleitung

Diese Dokumentation enthält Informationen zum Seilbahnberechnungsprogramm Rope. Rope berechnet die Seilkonfigurationen für Trag- und Zugseile, wenn eine Punktlast im Spannungsfeld vorhanden ist, wobei das Seil an den Enden fest verankert angenommen wird. Weiters berechnet Rope Seildurchhänge, Seilspannungen, Winkel etc. Es ist besonders für die Auslegung von Materialseilbahnen geeignet. Das Programm wurde von der Firma CPE, Lana, Italy entwickelt. [www.cphysics.com](http://www.cphysics.com). 2009 - 2014.

**Dank.** An dieser Stelle auch einen Dank für vielfältige Unterstützung: E. Oberhuber (Algund), F. Wenin, M. Kuperian (Firma Moosmair Materialseilbahnen, St. Martin in Passeier), H. Thaler. Für finanzielle Unterstützung danken wir dem Amt für Forschung und Innovation in Südtirol.

# Kapitel 2. Eingabe der Parameter

## Das Eingabe GUI

Das Eingabe Fenster (GUI) erlaubt die Eingabe sämtlicher für die Berechnung notwendiger Daten. Man beachte die physikalischen Einheiten, die an den Eingabefeldern neben der Benennung stehen. Sämtliche Eingaben werden vor dem Start der Rechnungen auf gröbere Inkonsistenzen geprüft. Bei fehlerhaften Einträgen oder sonstigen Problemen erscheint eine Warnung bzw. Fehlermeldung. Der im Feld Projekt Titel eingetragene Titel erscheint als erweiterter Titel in den Ordnern results-Titel. Das Eingabefeld Anzahl Stützstellen enthält die Zahl der für die Berechnung verwendeten Wanderlastpositionen. In Voreinstellung ist diese gleich 100. Die Berechnung des Zugseiles läuft unabhängig von der Berechnung des Tragseiles ab (Entkoppelung durch die Annahme eines stark vorgespannten Zugseiles, E. Czitary).

Figur 2-1. Das Eingabe Graphic User Interface

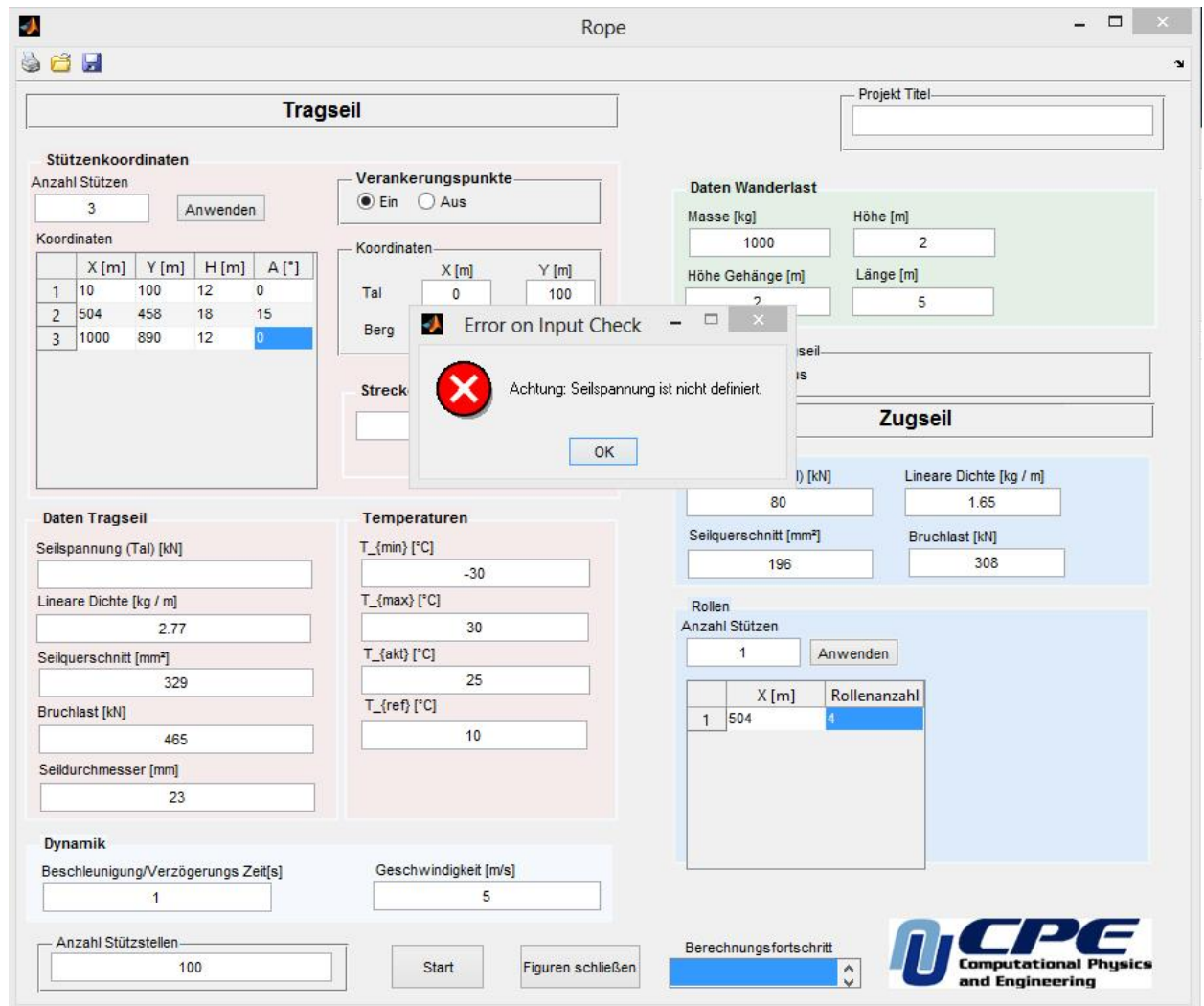
The screenshot shows the 'Rope' software interface with the following sections and data:

- Stützenkoordinaten:** Anzahl Stützen: 3. Anwenden.
- Koordinaten:** Table with columns X [m], Y [m], H [m], A [°].

	X [m]	Y [m]	H [m]	A [°]
1	10	100	12	0
2	504	456	18	15
3	1000	890	12	0
- Verankerungspunkte:** Ein (selected), Aus. Koordinaten: Tal (X: 0, Y: 100), Berg (X: 1012, Y: 890).
- Streckenlast [kN / m] bei T\_{akt}:** 0.
- Daten Wanderlast:** Masse [kg]: 1000, Höhe [m]: 2, Höhe Gehänge [m]: 2, Länge [m]: 5.
- Berechnung Zugseil:** Ein (selected), Aus.
- Zugseil:** Daten Zugseil: Seilspannung (Tal) [kN]: 80, Lineare Dichte [kg / m]: 1.65, Seilquerschnitt [mm²]: 196, Bruchlast [kN]: 308.
- Rollen:** Anzahl Stützen: 1. Anwenden. Table with columns X [m], Rollenanzahl.

	X [m]	Rollenanzahl
1	504	4
- Daten Tragseil:** Seilspannung (Tal) [kN]: 100, Lineare Dichte [kg / m]: 2.77, Seilquerschnitt [mm²]: 329, Bruchlast [kN]: 465, Seildurchmesser [mm]: 23.
- Temperaturen:** T\_{min} [°C]: -30, T\_{max} [°C]: 30, T\_{akt} [°C]: 25, T\_{ref} [°C]: 10.
- Dynamik:** Beschleunigung/Verzögerungs Zeit[s]: 1, Geschwindigkeit [m/s]: 5.
- Anzahl Stützstellen:** 100.
- Buttons:** Start, Figuren schließen.
- Progress Bar:** Berechnungsfortschritt 100 %.
- Logo:** CPE Computational Physics and Engineering.

Figur 2-2. Eine fehlende Eingabe erzeugt eine Fehlermeldung



Bei der Koordinaten - Angabe sei hingewiesen:

- Falls Verankerungspunkte "Aus" gewählt wird, sind die X - und Y Werte die Kopfkoordinaten der Stützen.
- Falls Verankerungspunkte "Ein" gewählt wird, erscheinen weitere Felder. Die X und Y Koordinaten sind jetzt die Fußpunktkoordinaten der Stützen, H die Höhe (Länge) der Stütze und A der Winkel der Stütze gegenüber der Vertikalen, wobei  $A > 0$  bedeutet, dass die Stütze nach links geneigt ist.
- Beim Zugseil muß folgendes beachtet werden: die x- Koordinaten entsprechen denen der Stützen, wobei für zwei Stützen das Feld leer bleibt. Dies gilt auch, falls Verankerungspunkte angegeben werden. Das Zugseil läuft durch die gleichen Koordinaten wie das Tragseil (eine praktisch notwendige Verschiebung nach unten wird hier vernachlässigt). Die angegebene Prozedur ist zwar für die derzeitige Version etwas umständlich, ist aber unerlässlich für eine spätere Berücksichtigung von Seilreitern.

## Einlesen des Profiles

Das Bergprofil wird als Textdatei "profile.txt" im Ordner "profile" abgespeichert. Es handelt sich dabei um zwei Spalten von real numbers, die die x- und y-Koordinaten darstellen (wie unten beispielsweise dargestellt). Es müssen mindestens zwei Punkte angegeben werden. Wenn keine Datei vorhanden ist, wird automatisch aus den Stützenkoordinaten ein einfaches Profil erstellt.

```
0    100
10   100
123  156
200  187
334  200
504  456
814  609
1000 890
1012 890
```

Die Profildaten werden verwendet, um den Bodenabstand der Wanderlast zu ermitteln. Im Ausgabe GUI ist bei gegebenen Abmessungen der Wanderlast eine punktweise Bodenabstandsanalyse möglich.

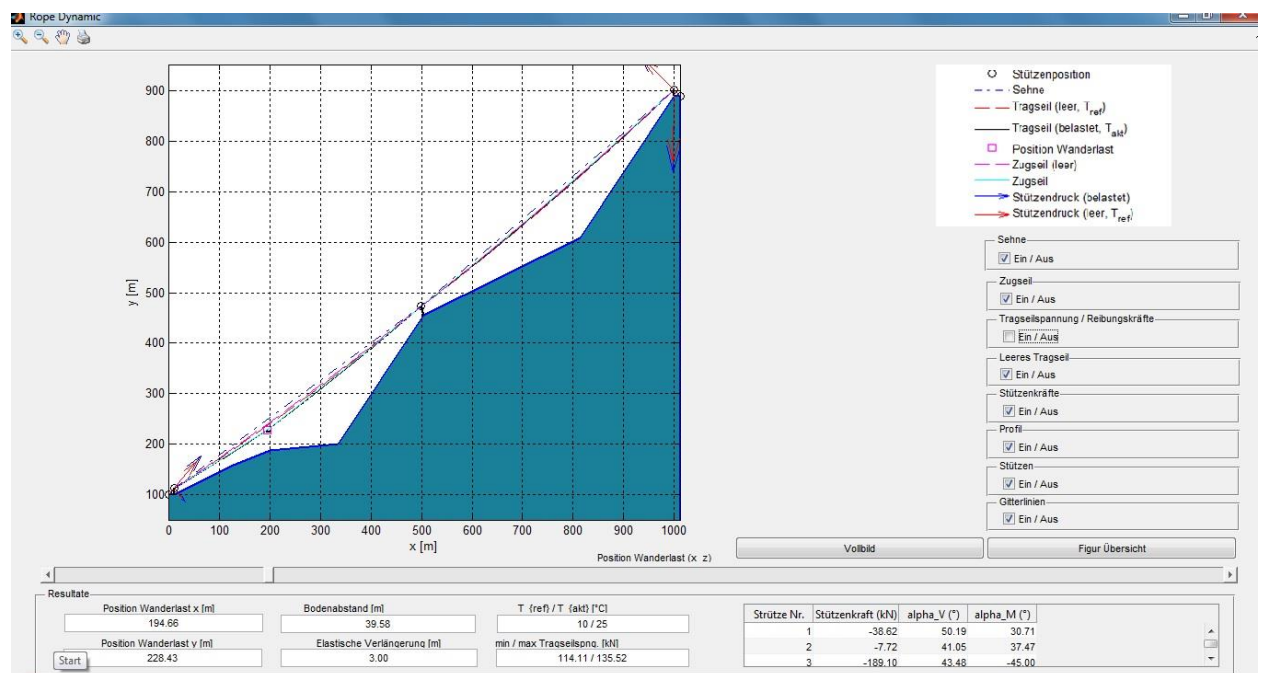


# Kapitel 3. Ausgabe der Ergebnisse

## Das Ausgabe GUI

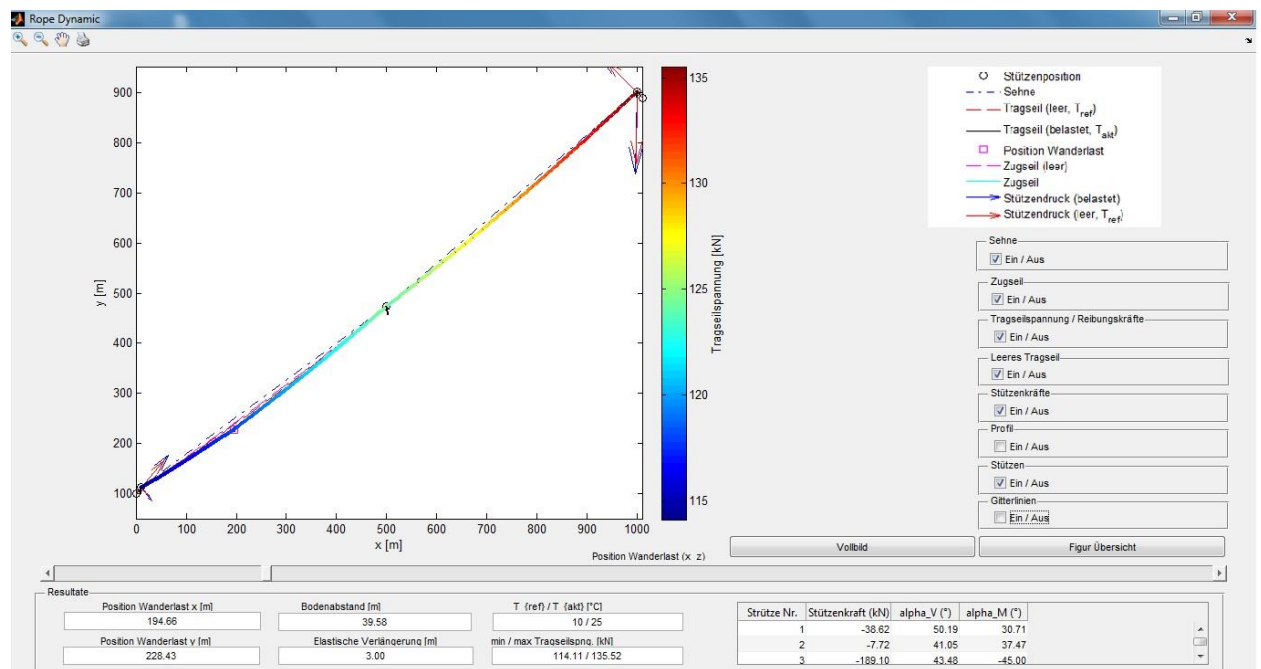
Das Ausgabe GUI erscheint, nachdem alle Rechnungen abgeschlossen sind. Damit ist es möglich, interaktiv die Position der Wanderlast innerhalb der Linie zu verschieben und dabei alle wichtigen berechneten Parameter zu kontrollieren. Es kann so als Planungswerkzeug dienen, da Bodenabstände, Seilspannungen etc. für jede berechnete Position laufend angezeigt werden. Wichtige Größen, wie Stützendrucke, Seilreibungskräfte, etc. lassen sich in der grafischen Darstellung zu - und wegschalten.

**Figur 3-1. Das Ausgabe Graphic User Interface. Darstellung der Wanderlast und des Bergprofils.**



Im Ausgabe GUI können Bodenabstände, Stützenkräfte und Tragsseilspannung etc. studiert werden. Sämtliche Informationen sind hier leicht abrufbar. Man beachte, dass die Anzahl der Stützstellen N hier der Auflösung der Wanderlastbewegung entspricht. Für N=100 ergibt das bei einer horizontalen Bahnlänge von 1 km eine Auflösung von 10 m.

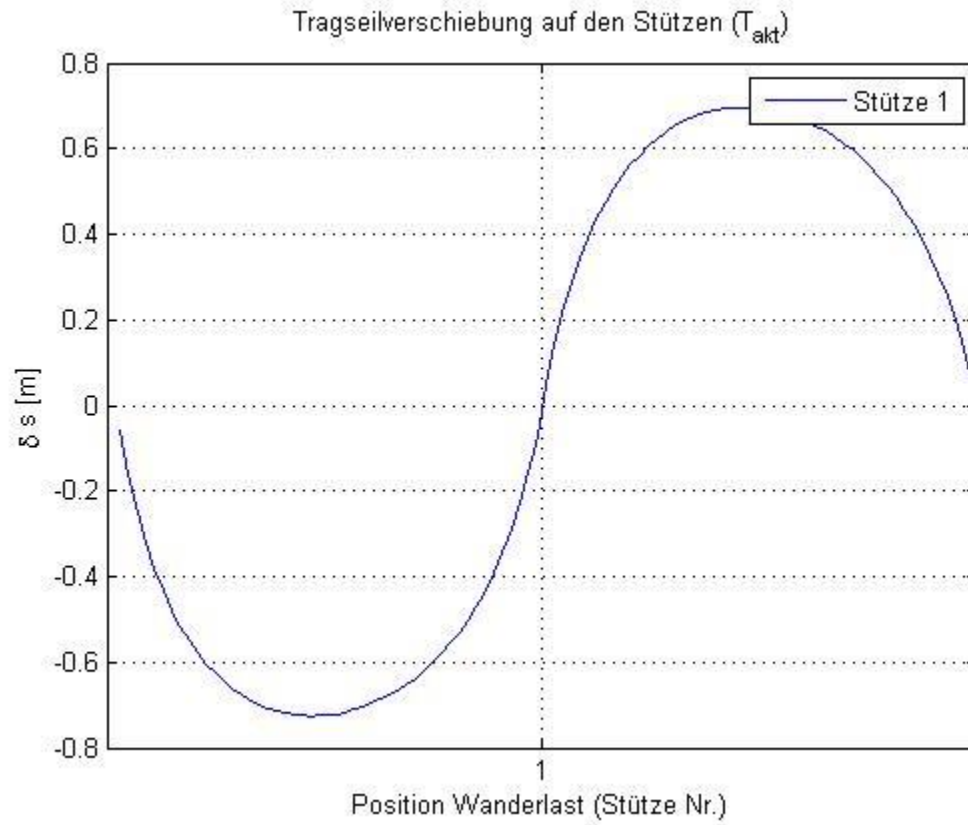
Figur 3-2. Ausgabe GUI: Darstellung der Tragseilspannung.



## Die MATLAB Figuren

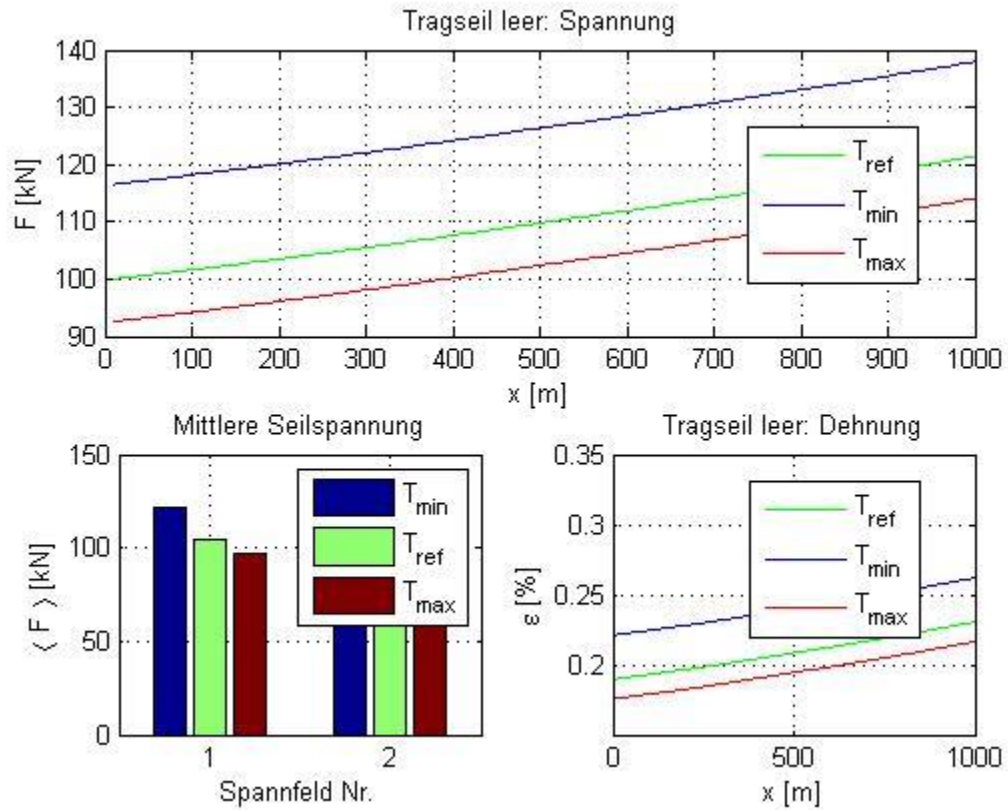
Der größte Teil der Resultate wird in Form von MATLAB Figuren ausgegeben. Sie enthalten die Information in übersichtlicher, themenspezifischer Weise. Wenn kein Bergprofil vorhanden ist, wird ein automatisch erzeugtes Profil angenommen. Exemplarisch seien hier einige Figuren dargestellt und kurz kommentiert.

Figur 3-3. Tragseilverschiebung



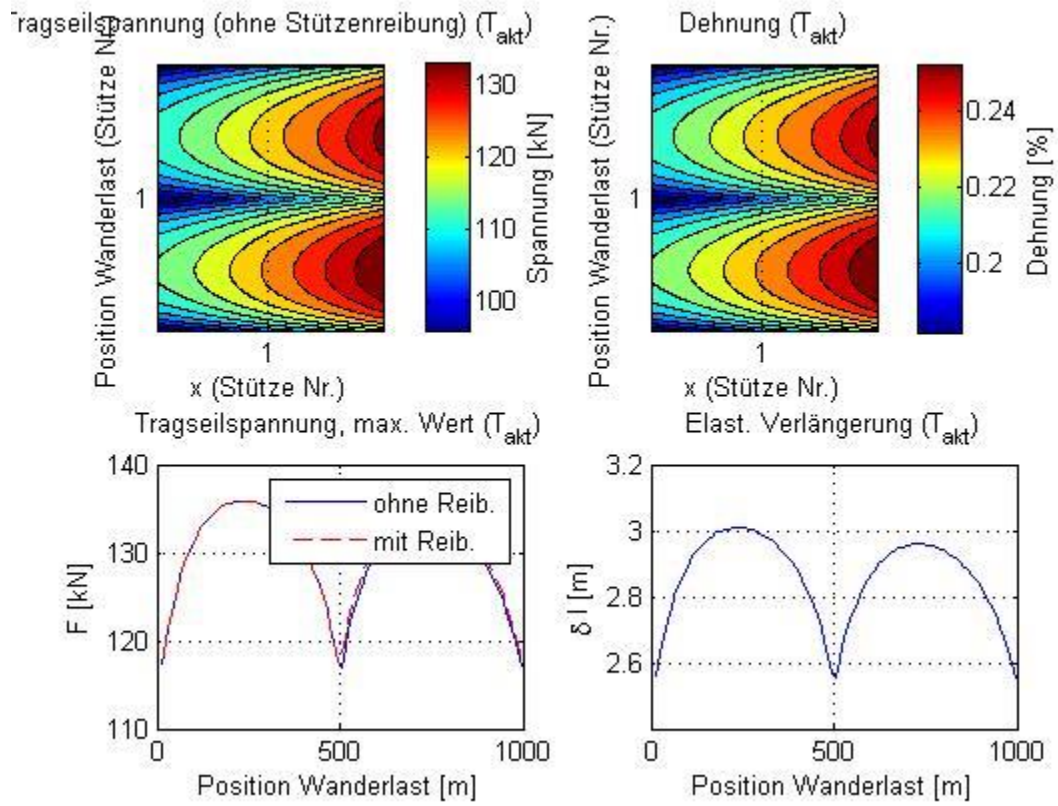
Der Weg des Tragseiles auf den Stützen, während die Wanderlast quasistatisch verschoben wird. Es wird verschwindende Reibung angenommen.

Figur 3-4. Seilspannung für das Leerseil



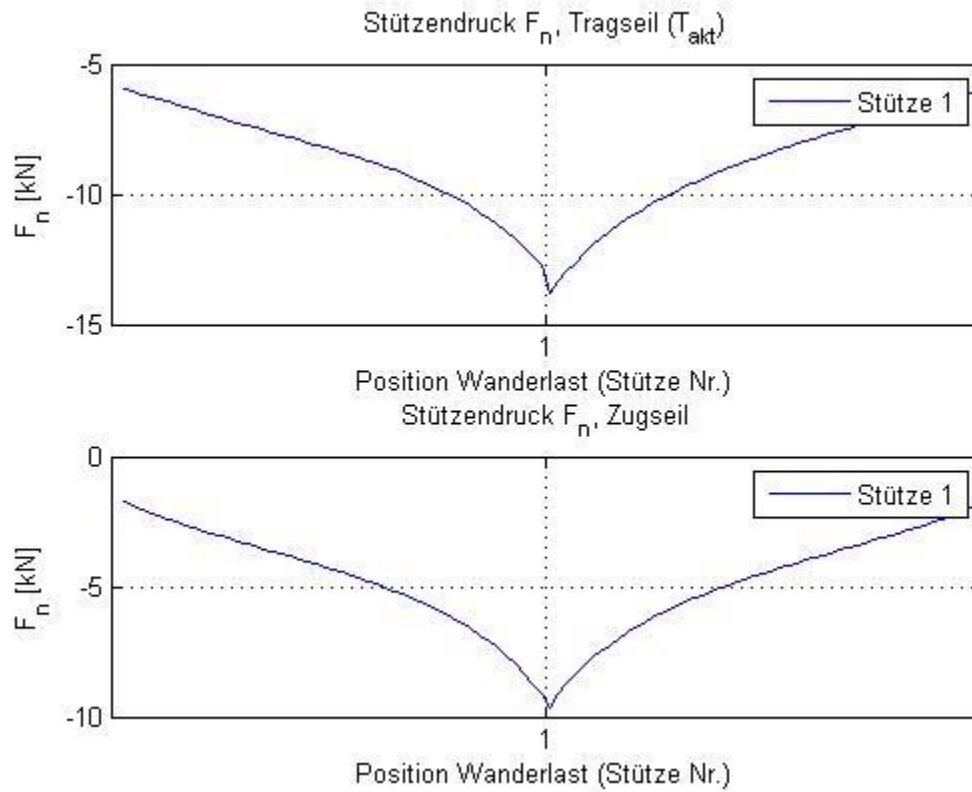
Seilspannung als Funktion der x-Koordinate für verschiedene Temperaturen. Die mittlere Seilspannung ist eine wichtige Kenngröße zur Berechnung der gesamten Seildehnung. Die Berechnung stützt sich auf die "elastische Kettenlinie".

Figur 3-5. Trageislspeannung



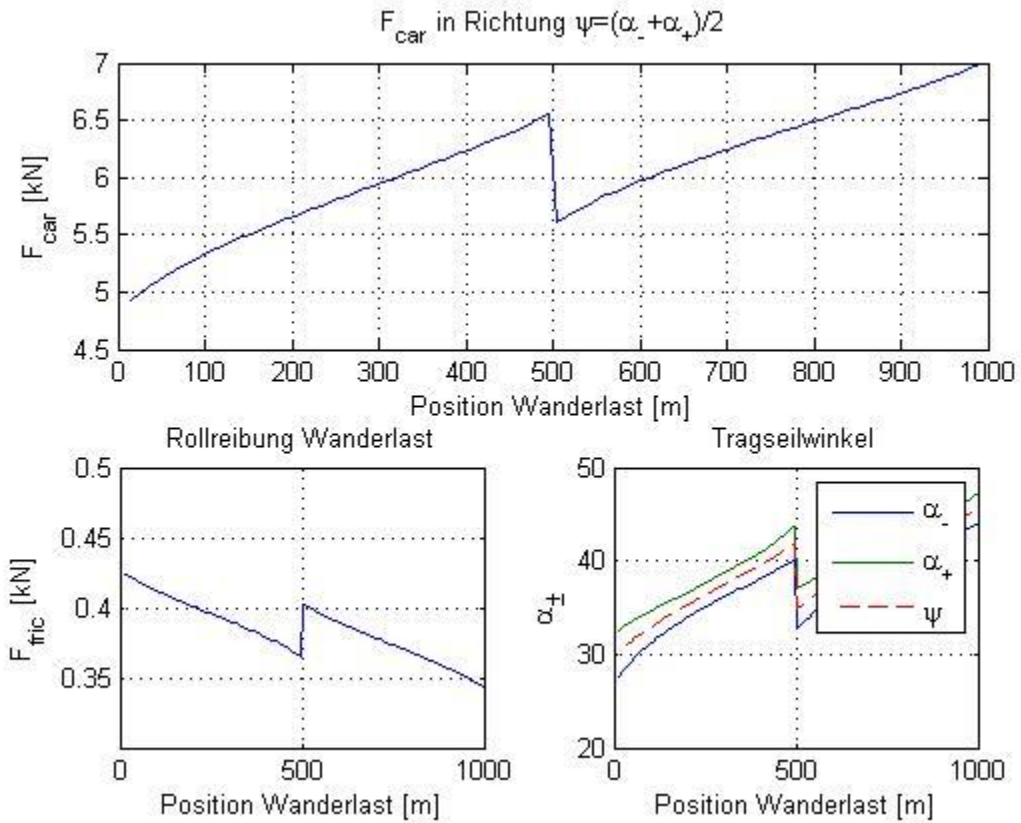
Seil-Speannung und Dehnung bei Belastung. Die Reibungskräfte Trageisil - Stütze sind hier noch außer Acht gelassen.

Figur 3-6. Stützen - Normalkraft



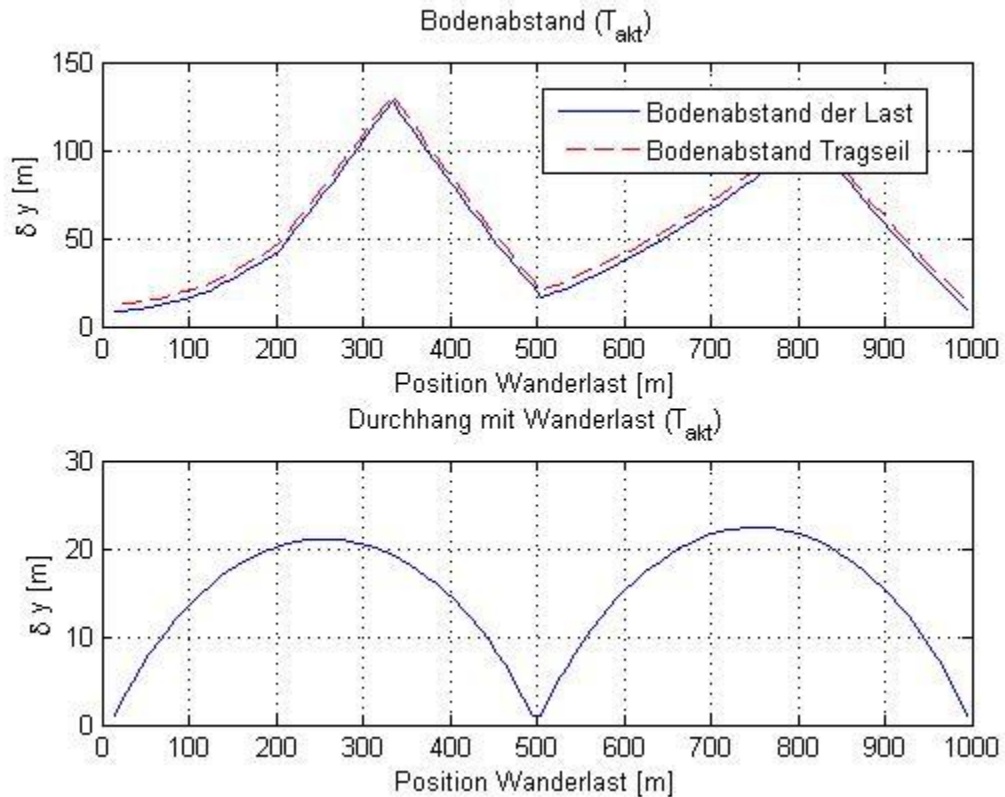
Stützen - Normalkraft bei laufender Wanderlast: wichtig für den Nachweis, dass die Seile während der Fahrt nicht von den Stützen abheben.

Figur 3-7. Zugseilspannung (Wagenkomponente)



Zugseilspannung als Funktion von x an der Stelle der Wanderlast. Die Rollreibung ist bei gegebener Seilkonfiguration freilich sofort berechenbar.

Figur 3-8. Bodenabstand der Wanderlast



Bodenabstände der Wanderlast und des Tragseiles.

## Die Textdateien

Die Textdateien enthalten das Zahlenmaterial einer Seilrechnung. Die Datei "ErgebnisLeerseil.txt" enthält die Ergebnisse für das Leerseil bei der Referenztemperatur (= Montagetemperatur). Die Datei "ErgebnisLeerseilTmax.txt" enthält die Ergebnisse für das Leerseil bei der maximalen Betriebstemperatur. Die Datei "ErgebnisLeerseilTmin.txt" enthält die Ergebnisse für das Leerseil bei der minimalen Betriebstemperatur. Die Datei "ErgebnisWanderlast.txt" enthält die Ergebnisse bei laufender Wanderlast und der aktuellen Temperatur  $T_{akt}$ . Die Datei "ErgebnisZugseilleer.txt" enthält die Ergebnisse für das leere Zugseil. Da ein Spannungswicht angenommen wird, tritt keine Temperaturabhängigkeit auf (die Änderung der linearen Massensichte bei Temperaturänderung wird vernachlässigt). Die Datei "Zusammenfassung.txt" enthält die wichtigsten Daten der Bahn zusammengefasst. Exemplarisch sind hier zwei Dateien dargestellt.

Titel

-----  
 Leeres Tragseil (festverankert). Alle Angaben für die Referenztemperatur.  
 -----

04-Aug-2014

Referenztemperatur  $T_r$  [C]

10



Wärmeausdehnungskoeffizient alpha [1/K]	1.17e-05
Liniendichte d. Seiles in [kg/m]	2.77
Liniengewicht d. Seiles in [kN/m]	0.027174
Elastizitätsmodul d. Seiles [N/mm <sup>2</sup> ]	1.6e+05
Masse des Seiles in [kg]	3505.5
Seilspannung im Tal (Vorgabewert) [kN]	100
Maximale Seilspannung [kN]	121.42
Haftreibungszahl Seil-Stütze	0.15
Gleitreibungszahl Seil-Stütze	0.1

-----  
A) Geometrische Daten  
-----

Gesamte Sehnenlänge [m]	1267.4
Seilquerschnitt [mm <sup>2</sup> ]	329
Seillänge im spannungslosen Zustand [m]	1265.5
Seillänge im gespannten Zustand [m]	1268.2
Elastische Verlängerung in [m]	2.6586
Gesamter Höhenunterschied [m]	790
Gesamter Horizontalabstand [m]	990

-----  
B) Stützenkoordinaten und Seilwinkel (in Grad) bei Stützen.  
alpha<sub>m</sub> = talseitig, alpha<sub>p</sub> = bergseitig  
-----

Stütze	X-Koord [m]	Y-Koord [m]	alpha <sub>m</sub>	alpha <sub>p</sub>
1	10	112	90	32.7
2	499.34	473.39	39.97	37.08
3	1000	902	43.83	90

-----  
C) Komponenten der Auflagerkraft F<sub>x</sub>, F<sub>y</sub>, Betrag der Normalkraft F<sub>n</sub>,  
F<sub>n</sub> = sqrt(F<sub>x</sub><sup>2</sup>+F<sub>y</sub><sup>2</sup>), F<sub>reib</sub>=mu\*F<sub>n</sub>, Seilspannung T bei Stützen in [kN]  
-----

Stütze	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>n</sub>	F <sub>reib</sub>	T
1	84.152	54.022	100	15	100
2	3.4459	-4.3284	5.5325	0.82988	109.82
3	-87.598	-84.083	121.42	18.213	121.47

-----  
D) Spannf. Sehnenlänge Sehnenwinkel Seillänge Durchhang X-Koord. [m]  
-----

Spannf.	Sehnenlänge	Sehnenwinkel	Seillänge	Durchhang	X-Koord. [m]
1	608.32	36.446	608.73	11.99	256.58
2	659.07	40.567	659.45	12.77	751.76

-----  
E) Spannf. DeltaX [m] DeltaY [m] mittl. Spann. [kN]  
-----

1	489.34	361.39	104.77
2	500.66	428.61	115.51

Ergebnisse für das leere Tragseil bei minimaler Temperatur. Eine zusätzliche Streckenlast kann angegeben werden. Die von den CEN - Normen geforderte Berechnung des Tragseiles mit Eismantel kann so im Handumdrehen erledigt werden.

Titel

-----  
 Leeres Tragseil (festverankert). Alle Angaben für die Temperatur T\_min.  
 -----

04-Aug-2014  
 -----

Minimaltemperatur T\_min [C] -30  
 Seilspannung im Tal (abgeleitet) [kN] 116.54  
 Maximale Seilspannung [kN] 137.96  
 -----

A) Geometrische Daten  
 -----

Seillänge im gespannten Zustand [m] 1268  
 Elastische Verlängerung in [m] 3.057  
 Thermische Verlängerung in [m] -0.59226  
 -----

B) Stützenkoordinaten und Seilwinkel (in Grad) bei Stützen.  
 alpham = talseitig, alphap = bergseitig  
 -----

Stütze	X-Koord [m]	Y-Koord [m]	alpham	alphap
1	10	112	90	33.22
2	499.34	473.39	39.5	37.53
3	1000	902	43.43	90

C) Komponenten der Auflagerkraft F\_x, F\_y, Betrag der Normalkraft F\_n,  
 $F_n = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$ ,  $F_{reib} = \mu * F_n$ , Seilspannung T bei Stützen in [kN]  
 -----

Stütze	F_x	F_y	F_n	F_reib	T
1	97.489	63.854	116.54	11.654	116.54
2	2.7035	-3.397	4.3415	0.43415	126.36
3	-100.19	-94.846	137.96	13.796	138.01

D) Spannfh. mittl. Spann.[kN] Seillänge [m] Durchhang [m] X-Koord.[m]  
 -----

1	121.33	608.63	10.35	256.34
2	132.07	659.36	11.16	751.51

E) Tragseil mit zusätzlicher Streckenlast, T = T\_akt  
 -----

Aktuelle Temperatur T\_akt [C] 25  
 Streckenlast in [kN/m] 0  
 Elast. Verläng. des Seiles in [m] 2.903  
 Maximale Seilspannung [kN] 131.65  
 -----

Spannfh.	mittl. Spann.[kN]	Durchhang [m]
1	114.89	10.98
2	125.63	11.76

-----  
 Stütze F\_n [kN]  
 -----

1	110.18
2	2.1421
3	131.65

Zusammenfassung aller wichtigen Daten, insbesondere auch die Nachweise für die Bruchsicherheit der Seile.

```

-----
Titel
-----
05-Aug-2014
-----
Bahnlänge in [m]                1267
Höhendifferenz in [m]          790
Wanderlast in [kg]              1300
-----
Tragseil bei Referenztemperatur
-----
Referenztemperatur T_r [C]      10
Seil Masse/Länge [kg/m]        2.77
Seil - Querschnitt [mm^2]      329
Länge des Seiles spannungsfrei [m] 1298.1
Gesamtmasse Tragseil [kg]      3595.8
Seilspannung Tal [kN]          100
Max. Seilspannung (leer) [kN]  121.42
-----
Maximale Tragseilspannung (belastet) F_max [kN]  142.22
Bruchlast F_trag in [kN]          465
Bruchsicherheit Tragseil F_trag/F_max          3.27
-----
Verankerungskoordinaten Tal X,Y [m]          0          100
Verankerungskoordinaten Berg X,Y [m]        1012         890
-----
Max. Stützendruck F_n [kN], Stützenwinkel [Grad], Stützenhöhe [m]
Stützen - Fußpunktkoordinaten X_fuss und Y_fuss [m]
-----
Stütze      max(F_n)      Winkel [Grad]  Höhe [m]      X_fuss      Y_fuss
-----
1           42.169          0             12            10           100
2           16.176          15            18            504          456
3           198.2            0             12            1000         890
-----
Kontrollwinkel (Tragseil-Extremwerte - Stütze) in [Grad]
-----
Stütze      alpha_Tal_min  alpha_Tal_max  alpha_Berg_min  alpha_Berg_max
-----
1           39.81          39.81          116.1           123.3
2           60.1           65.55          106.3           112.6
3           41.9           46.66          45              45
-----
Zugseil bei Referenztemperatur
-----

```

Maximale Zugseilspannung in [kN]	101.91
Bruchlast $F_{\text{zug}}$ in [kN]	308
Bruchsicherheit Zugseil $F_{\text{zug}}/F_{\text{max}}$	3.02

---

# Kapitel 4. Anhang

## Physikalisches Modell

Den Berechnungen in Rope liegt folgendes Modell zugrunde (M. Wenin, E. Oberhuber):

- Ideal biegsames, elastisches Seil im homogenen Gravitationsfeld mit konstanter linearer Massendichte im spannungsfreien Zustand. Das Seil ist an beiden Enden fest eingespannt.
- Räumlich konstante Temperatur, d. h. keine Dichteschwankungen aufgrund der Temperatur.
- Seil ist reibungsfrei auf Stützen verschiebbar. Die angegebenen Reibungskräfte werden nachträglich berechnet. Hierzu wird ein Ansatz gewählt, der der Haftreibung Rechnung trägt.
- Die Wanderlast wird punktförmig angenommen. Bei allen Berechnung, insbesondere den Kräften und der Motorleistung, nimmt man eine quasistatische Wanderlastbewegung an.
- Das Zugseil wird durch Spanngewicht gespannt. Es übernimmt einen Teil der Last, so dass die Tragseilbelastung nicht der vollen Gewichtskraft der Punktmasse entspricht.
- Es können "beliebig" viele Stützen / Spannfelder berechnet werden.

## Numerische Aspekte

Rope sollte für alle praktisch auftretenden Seilbahnen genaue Resultate liefern. Falls es numerische Probleme gibt, kann man versuchen, die Zahl der Stützstellen (Wanderlastpositionen) von  $N=100$  auf größere Werte zu setzen.

## Literatur

1. E. Czitary, *Seilschwebbahnen*, 2. Auflage, Wien Springer Verlag, 1962
2. St. Liedl, *Bewegungen und Kräfte des Seilsystems und der Fahrzeuge von Seilschwebbahnen im Fahrbetrieb*, Herbert Utz Verlag 1999
3. L. D. Landau, E.M. Lifschitz, *Lehrbuch der Theoretischen Physik, Band VII Elastizitätstheorie*, Verlag Harri Deutsch, 7. Auflage 2010
4. M. Wenin, E. Oberhuber, *Numerical Computation of Cable Curves for Cable Railways*, 2014 (unpublished)
5. CEN - Norm (2009): *Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen für den Personenverkehr. Amtsblatt der EU C51*