

Gespannte Seile

Berechnung der Seilzugkraft bei horizontal gespannten Seilen

Durchhang (f) 3 m



Personenlast (p) 90 kg



Spannweite (l) 20 m



max. Seilzugkraft (Fz)

errechnete Maximalkraft auf Seil und Anschlagpunkte - OHNE Sicherheitsfaktor 1.57 kN156.6 kg

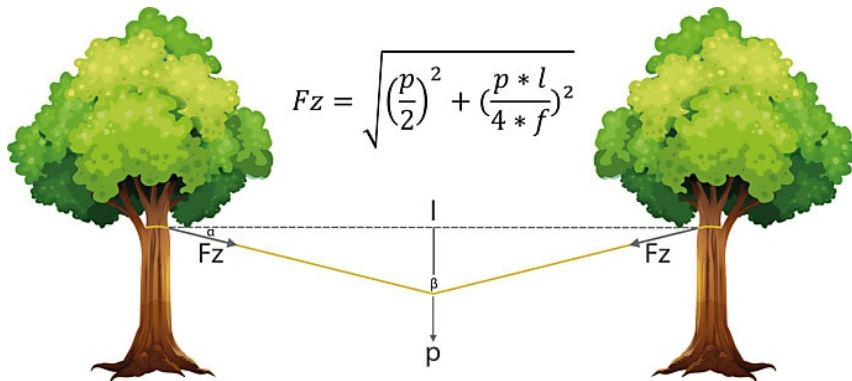
Mindestanforderung (x3)

Diese Kraft müssen Seile, Ankerpunkte, Anschlagmaterialien etc.mind. aushalten! 4.7 kN469.81 kg

Durchhang 15%

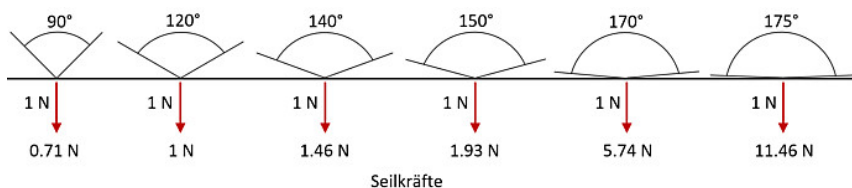
α : 16.7°

β : 146.6°



Das Tragseilprinzip

Die Kräfte steigen gewaltig an, wenn der Winkel des Tragseiles flacher, der Durchhang also geringer wird. Die folgende Darstellung verdeutlicht das «heimtückische» Prinzip der Kraftverstärkung.



Kraftverstärkung

Die Zunahme der Seilkraft bei verändertem Seilwinkel (β) wächst ins Unermessliche. Bei 178° wären es schon das 29-fache und bei 179° bereits das 57-fache der ursprünglich wirkenden Kraft.

Teste selbst:

Winkel (β) 130°

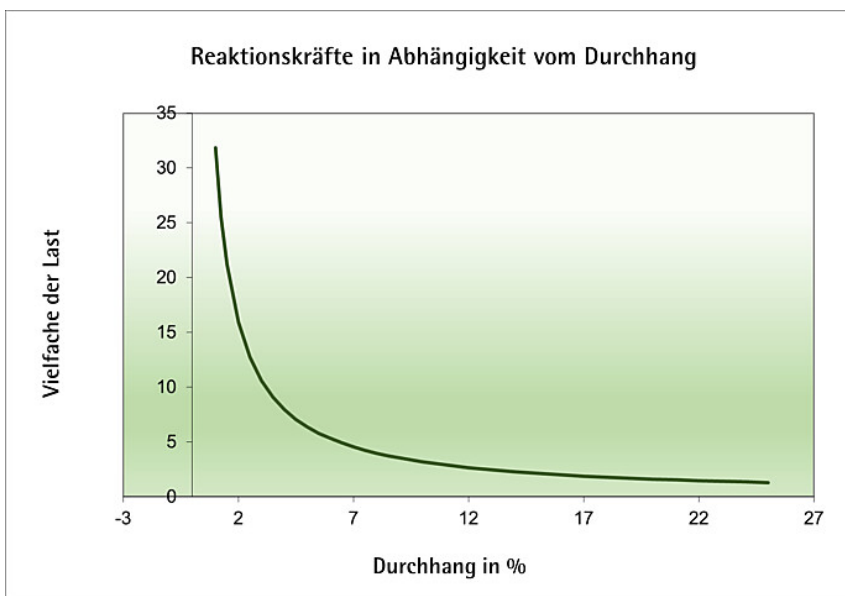


Gewicht 800 kN



Seilkräfte 946.48 kN

Relative geringe Kräfte können also, wenn sie flachwinklig aufgeteilt werden, grosse Reaktionskräfte (F_z) auf die Fixpunkte und auf das Seil zur Wirkung haben. Das nachfolgende Diagramm zeigt nochmals anschaulich, wie sich die Last in Abhängigkeit vom Durchhang vervielfacht.



Variable Faktoren auf Reaktionskräfte und Festigkeit

Bei unseren Berechnungen sind wir von folgenden Randbedingungen ausgegangen: Das Seil ist waagrecht gespannt. Die Fixpunkte sind starr. Die Last hängt statisch im Seil. Das Seilgewicht bleibt unberücksichtigt.

Dennoch korreliert unser Rechenmodell sehr gut mit gemessenen Werten in der Praxis. Für eine Sicherheitsbetrachtung kann man daher von den oben errechneten Werten ausgehen.

Allerdings gibt es einige weitere relevante Faktoren, die Einfluss auf die auftretenden Reaktionskräfte bzw. die Festigkeit des Systems haben können und daher im Einzelfall berücksichtigt werden müssen:

1. Der Anschlagwinkel und bei Einsatz von Seilen:
2. Die Verwendung von Knoten und
3. Das Alter von Seilen

1. Der Anschlagwinkel

Es gilt zu Bedenken, dass durch ungünstige, extreme (flache) Winkel, den die beiden Enden der Bandschlingen am Baum bilden können, die Zugkraft hier nochmals vergrössert wird.



So besser nicht!

Die Seilkraft (F_z) wirkt auf die beiden Enden der Bandschlingen. Durch den sehr flachen Winkel (über 120°) werden die Kräfte **nun nochmals grösser** als die eigentliche Zugkraft (F_z), die am Karabiner zieht!

Ausserdem ist dieser HMS-Karabiner nicht für solche «seitlich ziehenden» Kräfte konstruiert und wird wesentlich eher an seine Grenzen stossen.

Beispielrechnung:

Das Statikseil wird mit 5 kN vorgespannt und an einer Seite mit einer Bandschlinge und Karabiner fixiert (siehe Bild links). Nach dem «Setzen» des Seils liegen vermutlich noch ca. 4,5 kN als stabile Vorspannung vor.

Aufgrund des ungünstigen, flachen Winkels der Bandschlinge – hier 150 Grad – treten in unserem Beispiel nun ca. 8,7 kN als Zugkräfte auf, die an beide Enden der Bandschlinge und auf beide Querseiten des Karabiners zerren! **Bei solchen Querkraften ist die Bruchlast vieler Karabiner erreicht!**

Besser wäre es daher in diesem Beispiel, eine längere Bandschlinge zu nehmen, sodass ein spitzerer Winkel entsteht.

2. Die Verwendung von Knoten

In der Praxis zeigt sich, dass die Vorspannung durch ein Zusammenziehen von Knoten, das Setzen von Seilen und Anschlagmitteln nach Belastung deutlich geringer sind als vor der Belastung. Dadurch ergeben sich natürlich grössere Durchhänge und geringere Reaktionskräfte. Aber Vorsicht!

Die Kehrseite der Medaille: **Ein geknotetes Seil büsst ca. 20 - 50 % seiner Höchstzugkraft ein! Unsauber gelegte Knoten noch mehr!**

3. Das Alter von Seilen

In Versuchen wurde gemessen, dass sich bei stark gealterten Seilen die Höchstzugkraft **um bis zu 50 % reduziert!** Wird nun ein stark gealtertes Seil verknotet, ergibt sich daraus im schlechtesten Fall eine **Reduzierung der Höchstzugkraft von ca. 75 %** (50 % Alterung + 50 % Verknotung aus den verbleibenden 50 % der Höchstzugkraft).

Beispielrechnung:

Es wird eine Seilbrücke gebaut. Spannweite: 20 Meter – geschätzter Durchhang 1 Meter (also 5%) bei Personenlast 80 kg.

Daraus ergibt sich eine errechnete Seilzugkraft von ca. 4 kN. Durch Wippen der Person treten schnell deutlich höhere Kräfte auf, sodass wir mit dem 2,5fachen rechnen müssen, also $4 \text{ kN} \times 2,5 = 10 \text{ kN}$. Unter Berücksichtigung des geforderten Sicherheitsfaktors von 3 laut EN ist damit die Sicherheitsreserve eines guten 11mm-Statikseiles (Bruchlast 33 kN) schon fast erreicht.

In der Praxis können wir zwar damit rechnen, dass sich die Knoten setzen und sich das Seil dehnt, sodass sich der Durchhang auf ca. 1,8 Meter (9%) erhöhen wird. Dieses hat eine deutliche Verringerung der Seilzugkräfte zur Folge, nun mehr nur noch ca. 2,2 kN. Auf der anderen Seite wird aber die Höchstzugkraft des Seiles durch die Knoten bis zu 50 % reduziert (verbleiben 16,5 kN) und im worst case bei alten Seilen gar bis zu 75% (8,25 kN verbleibende Höchstzugkraft des Seiles).

Beim Wippen der Person können schnell 5,6 kN als Reaktionskräfte auftreten – bei Beachtung des Sicherheitsfaktors von 3 ergibt sich dann eine Mindestforderung von 16,8 kN. **Ein Nachspannen des Seiles ist daher nicht unkritisch.**