



"Sturz ist nicht gleich Sturz" - Sicherheitstechnische Grundlagen im Seilgarten

Sturz in dynamisches Kletterseil				onLINE
Gewicht des Kletterers:	->	80kg		
ausgegebene Seillänge:	->	10,00m		
Sturzhöhe:	->	5,00m		
Sturzfaktor:		0,50		
Fangstoß max		5,5kN	5,5kN	7,0 g-Wert
Fangstoß mittel		5,2kN	5,2kN	6,6 g-Wert
Fangstoß min		5,0kN	5,0kN	6,3 g-Wert
max. Fallgeschwindigkeit:				35,66km/h

\* Berechnungsmodelle: siehe unten

Sturz in statisches Sicherungselement			
Gewicht des Kletterers	->	80 kg	
Sturzhöhe:	->	0,80m	
Fangstoß		6,3kN	640kg
g-Wert		8,0	

**Beispiele:**  
 a) Ein Kletterer (80kg) im Seilgarten - TopRopeSicherung - stürzt 8 Meter. Die ausgegebene Seillänge beträgt 24 Meter. Bei dem Sturzfaktor von 0,33 beträgt der Fangstoß ca. 4,4kN - das sind etwa das 5,6-fache seines Körpergewichts.  
 b) Ein Kletterer (80 kg) stürzt 4 Meter. Die ausgegebene Seillänge beträgt 4 Meter. Bei diesem Sturzfaktor von 1 beträgt der Fangstoß kritische 7 kN - das sind ca. das 7-fache seines Körpergewichts.  
 c) Szenario wie im Beispiel b), nun aber 40 kg Körpergewicht: Sturzfaktor 1. Der Fangstoß beträgt ca. 4,8 kN. Bezogen auf das Körpergewicht des Kletterer sind das ca. das 12-fache.

**Beispiel:**  
 Ein 80 kg-Kletterer übersteigt die letzte Sicherung um 40 cm und stürzt. Der Fangstoß ist bei statischem Sicherungsseil: 640 kg = 6,3 kN

**Anmerkungen:**  
 Bei einem Seil ohne Dehnung wird die kinetische Energie bei einem Sturz ungebremst und abrupt auf den Kletterer (und das Sicherungssystem) übertragen. Schon bei geringer Fallhöhe ist die dabei plötzlich einwirkende Bremskraft (Fangstoßkraft) größer als 6 kN.

Teste mithilfe der obigen Berechnungshilfe selbst:  
**Je höher der Sturzfaktor und das Gewicht, desto härter der Fangstoß.**

Der Fangstoß:

Die Kraft, die im Moment der maximalen Seildehnung auftritt, nennt man Fangstoß oder Fangstoßkraft. Es ist die maximale Kraft (der "Ruck", die max. Bremskraft), die auf den Kletterer einwirkt, wenn ein Sturz abgefangen wird. Der menschliche Körper ist in der Lage **12 kN** aufzufangen - aber dies schon mit schweren Verletzungen. Die EN-Normen schreiben vor, dass **höchstens 6 kN** (600 kg oder 0,6 t) Fangstoß zulässig sind. Dieses ist der angenommene Grenzwert, ab dem der menschliche Körper die auf ihn einwirkenden Kräfte nicht mehr unverletzt aufnehmen kann. Natürlich muss auch das Material, jedes Glied in der Sicherungskette, muss den Fangstoß aushalten, ohne zu brechen

**Im Falle eines Sturzes darf ein Anwender niemals einen Fangstoß über 6 kN ausgesetzt werden!**

Der g-Wert:

Der g-Wert (Kraft/Gewicht) gibt an, dem Wievielfachen des Körpergewichtes eine bestimmte Kraft entspricht. Da die Belastbarkeit des menschlichen Körpers etwa proportional zu seinen Gewicht ist, ist der "g-Wert" sehr aussagekräftig über die relative Härte des Sturzes. Ein Fangstoß von 9g heißt: Ein 80kg schwerer Kletterer fühlt dann 720kg auf sich lasten.  
 Bei sehr kurzen Belastungszeiten unter 0,5 Sekunden werden **20 g** als die menschliche Belastungsgrenze beim Sturz in aufrechter Körperhaltung angesehen ( in waagerechter Körperhaltung - wie beim Hüftgurt möglich - wird die Belastungsgrenze wohl deutlich darunter liegen). Belastungen (auch kurzfristige) ab **10 g** sind für den Menschen generell gefährlich.  
 Beim gleichen Sturz in das Seil bedeutet dieses, dass ein schwerer Kletterer mit wenig "g-Wert" belastet wird als ein leichter Kletterer, obwohl die absoluten Kräfte (Fangstoß) beim Schweren höher sind.

Der Sturzfaktor:

**Die "Härte des Sturzes"** hängt bei dynamischen Seilen nicht von der Fallhöhe ab, sondern vom Sturzfaktor. Damit wird das Verhältnis zwischen der Sturzhöhe und der ausgegebener Seillänge angegeben (Sturzhöhe : Seillänge).  
 Kletterseile (Bergseile, dynamische Seile) sind wie Fangstoßdämpfer. Sie nehmen durch Dehnung Sturzenergie auf, um die Fangstoßkräfte gering zu halten. Je weiter ein Seil sich dehnen kann, desto besser kann die abzufangende Fallenergie von dem Seil absorbiert und die Einwirkung auf den Körper des Kletterers reduziert werden.  
 Da leuchtet es schnell ein, dass es einen Unterschied macht, ob ich 4 Meter stürze und dabei 20 Meter Seil ausgegeben wurde (Sturzfaktor = 4/20, also 0,2), welches meine Fallenergie aufnehmen kann oder ob bei diesem Sturz nur 10 Meter Seil (Sturzfaktor: 0,4) zur Energieaufnahme zur Verfügung stehen. Rein rechnerisch kann der **Sturzfaktor max. 2 betragen**, was einer "Vollbremsung" gleicht. Der Faktor 2 ist also der höchstmöglicher Sturzfaktor eines gesicherten Kletterers - der in der Praxis so nie vorkommen darf.  
 Grundsätzlich ist die "Härte" des Sturzes bei gleichem Sturzfaktor gleich - egal aus welcher Fallhöhe wir stürzen. Der kleine Unterschied bei gleichem Sturzfaktor zwischen einem Sturz aus 20 Meter und einem 5 Meter Sturz besteht allein darin, dass die Fangstoßkraft beim höheren Sturz länger auf den Körper einwirkt.  
 Linktipp: Eine nette Animation zum Sturzfaktor findet sich auf der Website von BEAL.  
[http://www.bealplanet.com/portail-2006/index.php?page=facteur\\_chute&lang=de](http://www.bealplanet.com/portail-2006/index.php?page=facteur_chute&lang=de)

**Die auftretenden Fangstoßkraft ist direkt proportional zum Sturzfaktor. Je höher der Sturzfaktor, desto härter der Fangstoß.**

**Beispiele verschiedener Sturzfaktoren:**

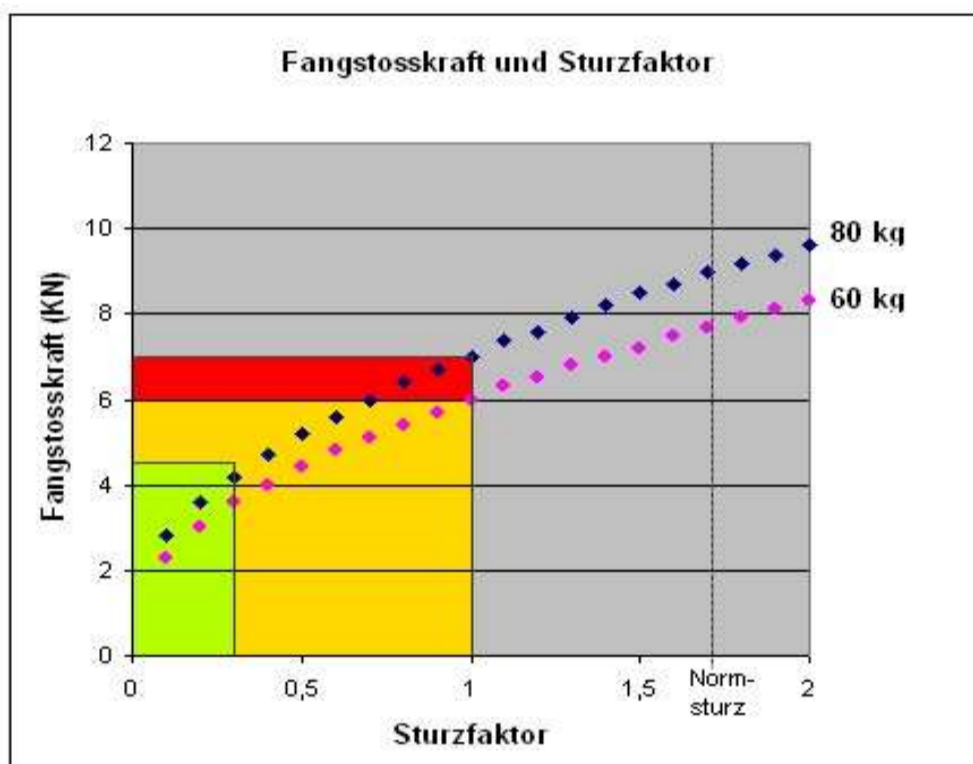
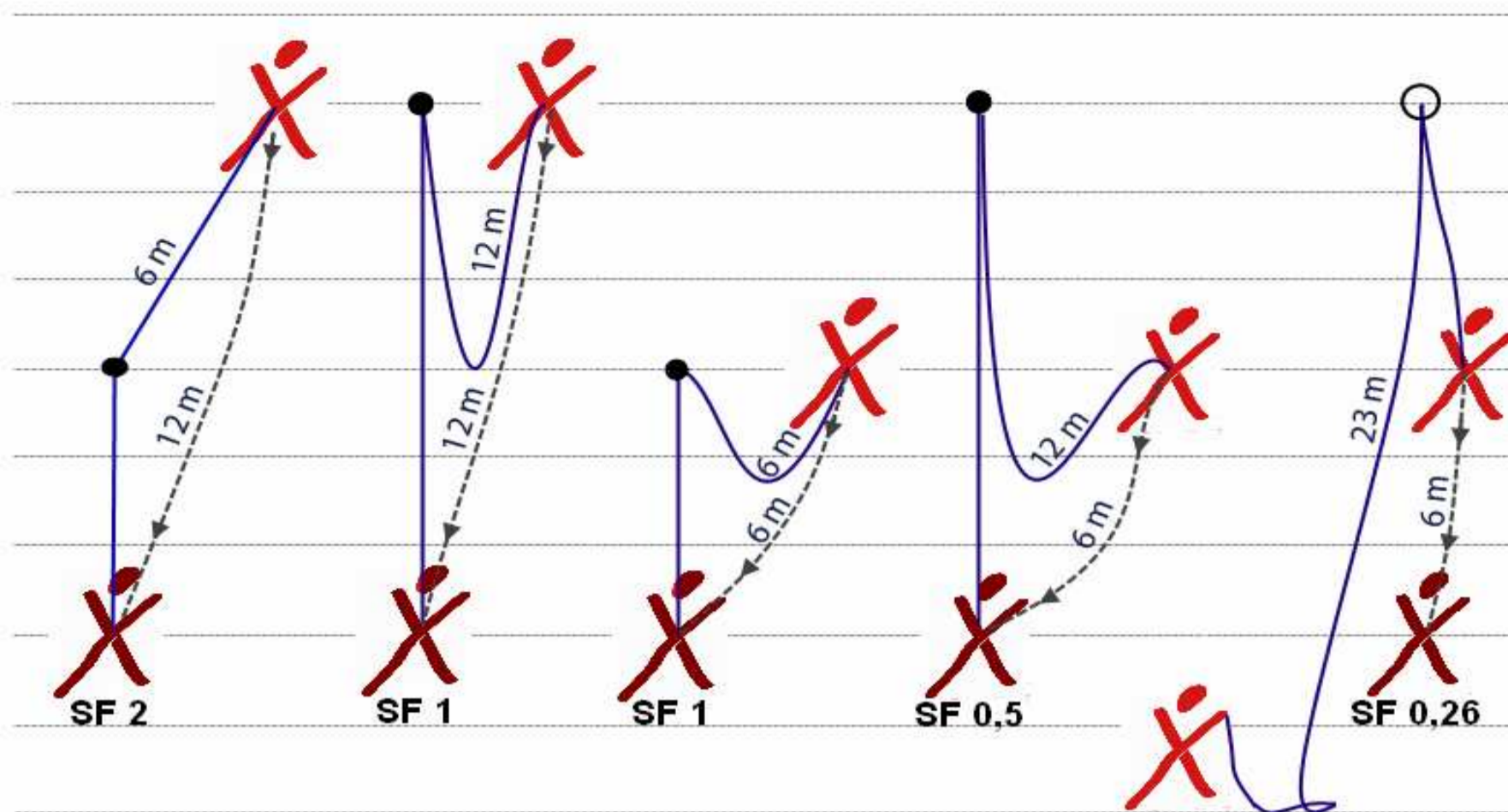


Abb. 1

**Fangstoss, Sturzfaktor und Körpergewicht**  
 Das Diagramm zeigt die Fangstoßkräfte (in Kilonewton) in Abhängigkeit vom Sturzfaktor und dem Körpergewicht. Ausgegangen wurde bei unseren Berechnungen vom freien Fall in ein fixiertes Seil (statische Sicherung) mittlerer Härte.  
 Die obenstehende Abb.1 zeigt deutlich, dass bei höheren Sturzfaktoren der Einfluss des Körpergewichtes auf den Fangstoß zunehmend größer wird.  
 In Seilgärten (grüner Bereich) wird der Sturzfaktor 1 (gelber Bereich) niemals erreicht - handelt es sich doch immer um Toprope-Sicherungen, die unterhalb dieses Wertes liegen. In der Praxis sind uns unter extremsten Bedingungen ("Todesprung") gemessene Werte bis 4,4kN bekannt.

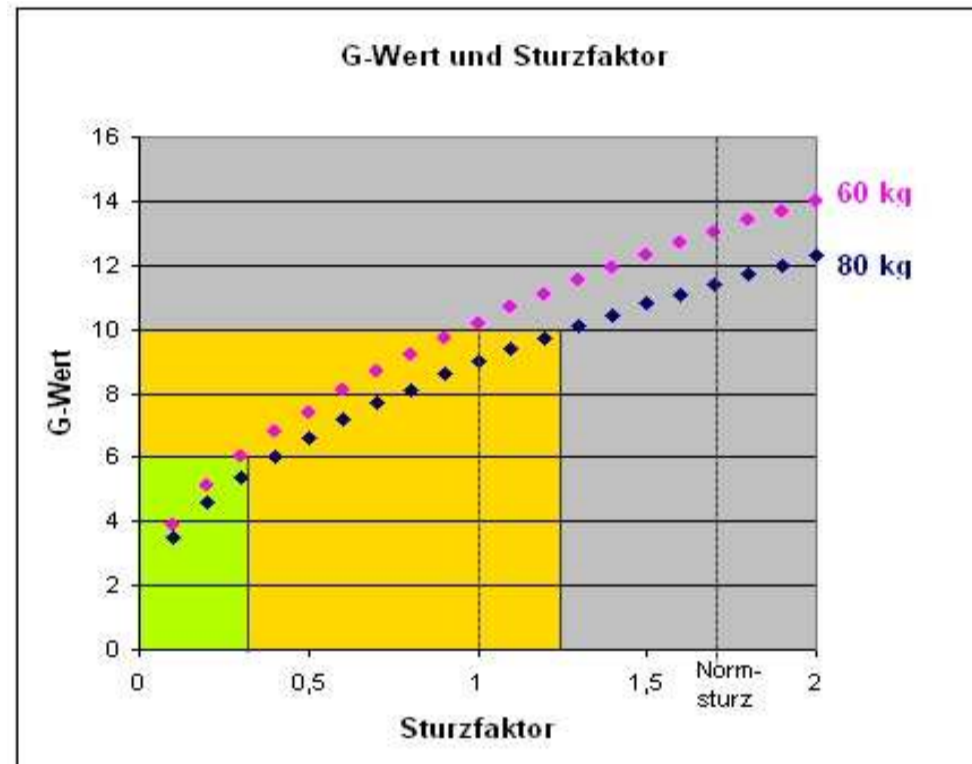


Abb. 2

**G-Wert und Sturzfaktor**  
 Die Abbildung 2 verdeutlicht, dass bei Stürzen die relative Belastung (g-Wert=Lastvielfache) bei schwereren Kletterern geringer ist als bei leichteren Körpern.  
 Bei höheren Sturzfaktoren wird der Einfluss des Körpergewichtes auf den g-Wert zunehmend größer.  
 Kurzfristige Belastungen (unter 0,5 Sekunden) unter 10g gelten noch als ungefährlich - siehe gelber Bereich.  
 In Seilgärten (grüner Bereich) werden maximal 6g erreicht - dieses auch nur bei extremsten Sprüngen und für den Bruchteil einer Sekunde.  
 g-Werte im Vergleich: Kinderschaukel max. 2,5g, Schleudersitz ca. 15-20g, Achterbahn typisch (max) 4 (6)

**Die Dynamische Sicherung:**

Beim Sturz mit dynamischer Sicherung werden die Fangstoßkräfte deutlich geringer ausfallen. Die Härte des Sturzes wird hier durch die Bremskraft des Sicherungsgerätes erheblich gemildert. Selbst bei einem Sturz mit Sturzfaktor 2 wird zum Beispiel bei Verwendung einer HMS nur etwa 1/3 (ca. 3,5 kN) der Fangstoßkraft auf den Kletterer einwirken, als dieses bei einer statischen Sicherung der Fall wäre.

**Typische Bremskraftwerte:**

	Zug nach unten	Zug nach oben
HMS	3,5 kN	2,7 kN
Abseilachter	1,4 kN	2 - 2,5 kN
GriGri	7 - 9 kN	

>>> Dieser Wert kann unter realen Sturzbedingungen als "statisch" betrachtet werden.

**Stürze im Seilgarten:**

Die auftretenden Kräfte sind in Seilgärten relativ gering (i.d.R. 0,9 kN - 1,4 kN), handelt es sich doch um Toprope-Sicherungen. Der höchstmögliche denkbare Sturzfaktor liegt bei 0,99, in der Regel aber unter 0,5. Selbst beim sog. "Todesprung" errechnen wir einen Sturzfaktor von ca. 0,4 und damit einen Fangstoß um 4,3 kN. Dieser Wert wurde in uns bekannten praktischen Versuchen bereits gemessen. Das alles ist für den menschlichen Körper unbedenklich - aber dennoch sehr erlebnisreich:-)  
 Auf die Umlenkung wirkt max. die doppelte Kraft des Fangstoßes - also ca. 9 kN. Diese Energie kann nur dann bedenklich werden, wenn das Oberseil, auf dem die Umlenkung angebracht ist, zu wenig Durchhang hat. Siehe dazu unsere anderen Berechnungshilfen (Excel-Dateien).

**Der Normsturz:**

Um die Qualität und Eigenschaften (Festigkeit, Dehnungsverhalten, Sturzzahl...) von Seilen vergleichen zu können, werden Seile dem sog. Normsturz unterzogen. Der Normsturz ist ein in EN-892 definierter Sturz, bei dem ein bestimmtes Gewicht (80 kg) aus einer bestimmten Höhe (4,80 m) herabfällt und vom ausgegebenen Seil (2,80m) abgebremst wird. Das fixierte Seil wird dabei in einem Karabiner (30 cm nach der Fixierung) umgelenkt. Es handelt sich also um einen statischen Sturz mit dem Sturzfaktor ca. 1,71.  
 Hierbei darf ein bestimmter Fangstoß (Einfachseile: 12 kN beim ersten Sturz) sowie eine bestimmte Dehnung (max. 40%) nicht überschritten werden.  
**Einfachseile** werden beim Normsturz mit einem Gewicht von 80 kg getestet. Sie müssen mindestens 5 Stürze halten. Der maximal zulässige Fangstoß beim ersten Sturz beträgt 12 kN. Die meisten dynamischen Bergseile weisen einen deutlich geringeren Fangstoß als 12 kN auf.  
*Beispiel: Das technische Merkblatt eines dynamischen Seils enthält folgende Kennzahlen:*  
 Sturzzahl: 13 - 15 bedeutet, dass dieses Seil 13-15 Normstürze aushält.  
 Fangstoss: 9,8 kN bedeutet, dass bei diesem Seil im Normsturz ein Fangstoß von 9,8 kN gemessen wird.  
 Die Fangstoßdehnung (beim ersten Normsturz) liegt bei modernen Kletterseilen typischerweise zwischen 28 % und 35 %. Bei einem normalen Sportklettersturz mit einem Sturzfaktor von 0,3 liegt die dynamische Dehnung in der Größenordnung um 15 %.

Rechenmodell:

Unsere Rechenmodelle sind nur Annäherungen an die Wirklichkeit. Nicht berücksichtigt wurden Luftwiderstand und denkbarer Reibungswiderstand bei Umlenkungen, sowie Absorption durch andere Materialien im Sicherungssystem.

Ausgegangen wurde vom freien Fall und zwar in ein fixiertes Seil. (Man spricht hier von einer statischen Sicherung).

**1. Rechenmodell:** Die 1. Spalte unserer Berechnungen der Fangstoßkraft wird mithilfe der Seilfederkonstanten 0,000045 - 0,000035 ermittelt.

$$F_{\max} = mg + \sqrt{m^2g^2 + \frac{2mg}{k} \times \frac{h}{L}}$$

F<sub>max</sub> max. Fangstoß  
m Erdschwerebeschleunigung 9,81m/s<sup>2</sup>  
g Gewicht  
k Elastizitätskonstante (Federkonstante), ca. 0,00017 - 0,000023 N-1  
h/L Sturzfaktor  
Quelle: [Bergundsteigen.at](http://Bergundsteigen.at): [energie ist gleich kraft mal Weg, Teil 2](#)

**2. Rechenmodell:** Die 2. Spalte unseres Rechenmodells basiert auf folgender Formel:

$$F_{\max} = G \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot M \cdot f}{G}} \right)$$

F<sub>max</sub> max. Fangstoß  
G Gewicht  
M Seilmodul - bei Bergseilen zwischen 20 bis 30 KN  
f Sturzfaktor  
Quelle: [Bergsteigen und Klettern - was sagt die Physik dazu](#)

**Fallgeschwindigkeit:** Bei der Fallgeschwindigkeit und damit auch bei der Sturzdauer spielt das Gewicht keine Rolle.

$$\sqrt{2gh}$$

Fallhöhe	Sturzdauer	Fallgeschwindigkeit
5m	1,01 sec	35,66km/h
10m	1,43 sec	50,43km/h
20m	2,02 sec	71,31km/h
40m	2,86 sec	100,85km/h
60m	3,50 sec	123,52km/h
80m	4,04 sec	142,63km/h

\* Die Luftreibung wurde bei den Berechnungen vernachlässigt



onLINE

[www.online-seilgarten.de](http://www.online-seilgarten.de)

#### Urheberschutz und Nutzung:

Wir räumen Ihnen ganz konkret das Nutzungsrecht ein, sich eine private Kopie für persönliche Zwecke anzufertigen. Nicht berechtigt sind Sie dagegen, die Materialien zu verändern und /oder weiter zu geben oder gar selbst zu veröffentlichen. Die Urheberrechte für die Berechnungsformeln, Texte, Zeichnungen und Fotos liegen bei: onLINE-Seilgarten / Andreas Dudda.

#### Haftungshinweis:

Trotz sorgfältiger Kontrolle übernehmen wir keine Haftung für die Richtigkeit der Kräfteberechnung.

Weiterführende Links zum Thema:

[Sturzfaktor und auftretende Kraft](#)

[Bergsteigen und Klettern - was sagt die Physik dazu](#)

[Energie ist gleich Kraft mal Weg](#)