Messbericht Totmannanker

Zugversuch zur Bestimmung der maximalen Tragfähigkeit

Version:
1.0

Datum:
13.04.2022

Autor:
Christof Baeriswyl

Management Summary:
Der vorliegende Messbericht untersucht die Belastung von Totmannankern. Dazu wurde ein 2m-Rundholz 1.30m tief ins Erdreich vergraben, mit einem Drahtseil umwickelt und in Zugrichtung belastet. Der Bericht geht auf die Frage ein, ob die maximale Tragfähigkeit von real aufgebauten Totmannankern den theoretischen Modellen der einschlägigen Literatur entsprechen. Die Testresultate waren eindrücklich – einfache Totmannanker aus einem Rundholz sind hervorragend geeignet, um Lasten von mehreren Tonnen inklusive angenehmer Sicherheitsreserven im Boden zu verankern.

1 Messaufgabe

Der vorliegende Messbericht untersucht die Belastung von Totmannankern. Dazu wurde ein 2m-Rundholz 1.30m tief ins Erdreich vergraben, mit einem Drahtseil umwickelt und in Zugrichtung belastet.

Mit dem Messversuch soll insbesondere auf folgende zwei Fragestellungen eingegangen werden:

1. Beträgt die Tragfähigkeit eines Totmannankers aus Rundholz wirklich mehrere Tonnen (z.B. 80kN), wie in der Literatur beschrieben (vgl. [1]) ? Welche Tragfähigkeit erreichen wir konkret auf einem viel genutzten Zeltlagerplatz in Büsserach?
2. Erfahrungsgewinn – welche Empfehlungen können wir für die Jugendarbeit machen, worauf ist besonders zu achten beim Aufbau eines Totmannankers?

Die Messungen wurde am 09.04.2022 in Schlossguet, Büssearch auf einem Zeltlagerplatz durchgeführt.

1.1 Theoretische Berechnung

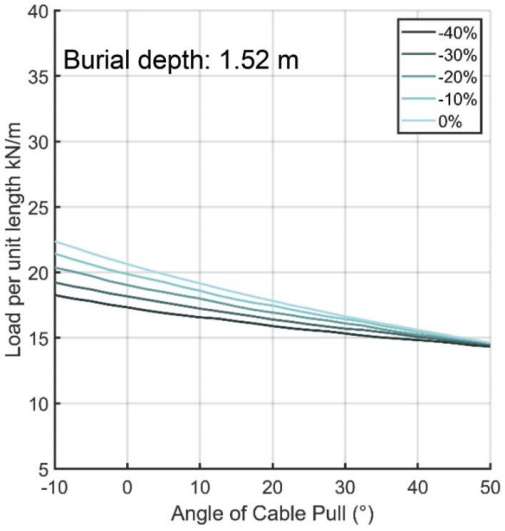


Abbildung 1: Theoretische Modellierung der Tragfähigkeit eines Totmannankers nach [1]; Für weichen Ton und einem Zugwinkel von 35° ergibt sich eine maximale Belastung von 15kN pro Meter Rundholz.

Die Berechnung der maximalen Tragfähigkeit ist naturgegeben stark bodenabhängig. Wir verwenden den Design-Approach von [1] und definieren als Worst-Case den Bodentyp *weicher Ton*. In Abbildung 1 ist die maximale Belastung pro Meter Rundholz ersichtlich für eine Grabtiefe von 1.52m in Abhängigkeit des Zugwinkels; Details zur Berechnung und Auslegung des Rundholzes sind im Anhang zu finden.

[1] Belart, Francisca, Ben Leshchinsky, and Jeff Wimer. "Deadman anchoring design for cable logging: a new approach." *Canadian Journal of Forest Research* 50.3 (2020): 342-357.

2 Messobjekt

Das Messobjekt besteht jeweils aus zwei Komponenten. Ein Rundholz Ø22-25cm, Länge 2m, wird 1.3m vergraben. Eine Drahtseilstruppe, Länge 8m, wird anderthalbmal mittig um das Rundholz gewickelt und gelangt in einem Schlitz aus dem Erdreich. Die beiden Enden der Drahtseilstruppe werden dann gemeinsam in die weitere Zugvorrichtung eingehängt. Mit zwei dünnen Holzstäben kann der Anker zusätzlich gesichert werden, vgl. Abbildung 2 und Abbildung 3. In unserem Aufbau waren diese Holzstäbe nicht vorhanden.

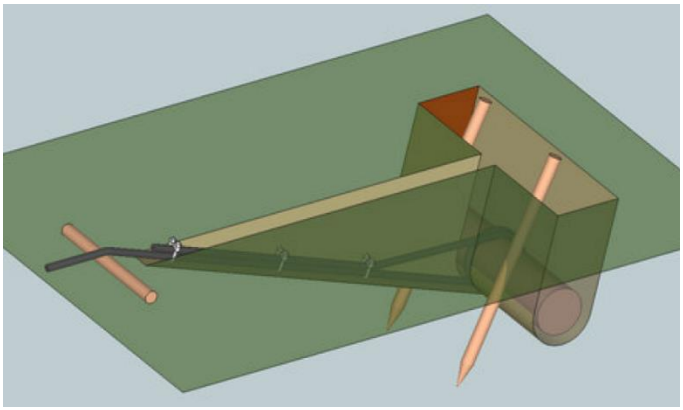


Abbildung 2: Schematische Zeichnung eines Totmannankers

Abbildung 3: Foto des Grabes (links) und des eingelegten Rundholzes (rechts) vor dem Zuschütten des Grabes. Die Drahtseilstruppe ist mittig angelegt; das Rundholz hat einen Durchmesser von 22cm und eine Gesamtlänge von 2.09m.

3 Messaufbau

3.1 Schematische Zeichnung des Messaufbaus

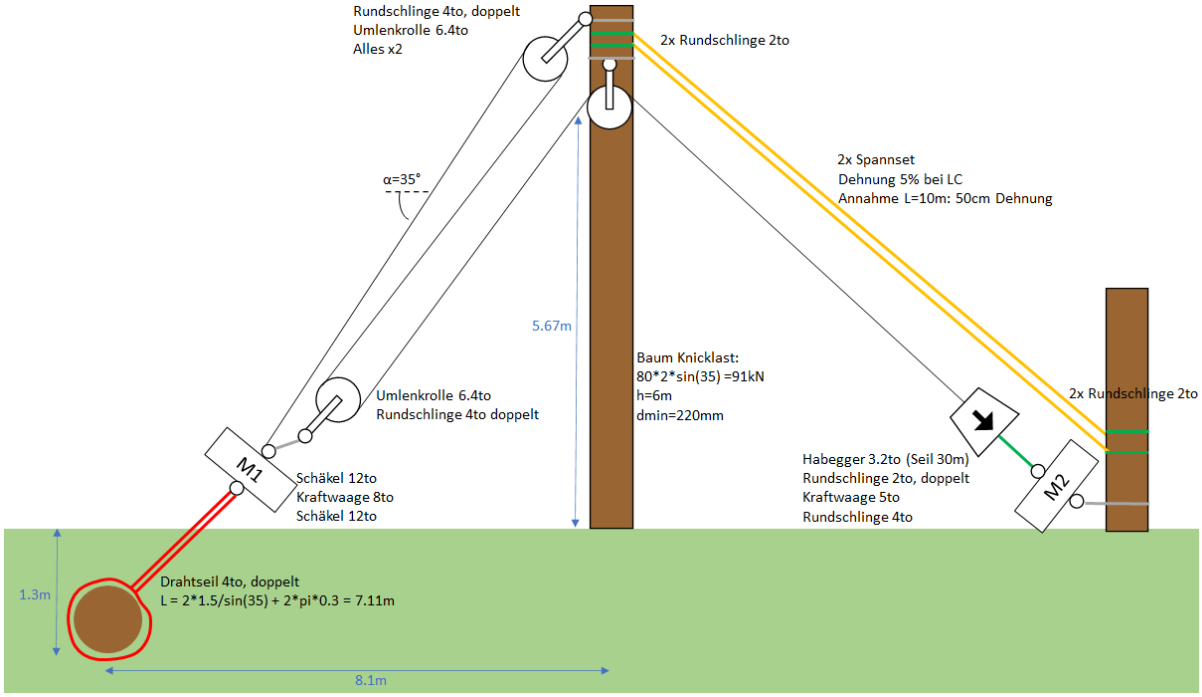


Abbildung 4: Schematische Zeichnung des Messaufbaus. Der Totmannanker wird auf eine Tiefe von 1.3m eingegraben und ist per Drahtseilstruppe mit dem Kraftmesssgerät M1 verbunden. Damit eine Kraft von 80kN appliziert werden kann, wird mit einem 35kN-Drahtseilzug (Habegger) mittels drei Umlenkrollen ein 3:1 Flaschenzug realisiert. Ein Abspannwinkel α von 35˚ wird verwendet. Die beiden hinteren Zurrgurte (Spannset) dienen der Rücksicherung des Baumes für das Kräftegleichgewicht der Horizontalkräfte.

3.2 Messprozedur

1. Totmannanker eingraben und Messaufbau realisieren
2. Eine Gesamtkraft F1 von 1kN applizieren, um das System vorzuspannen.
3. F1 sukzessive erhöhen, sodass sich ein Kraftaufbau von 10kN/min ergibt.
4. Bis zum Rausriss oder Kräftemaximum fortfahren.

3.3 Messmittelliste

Bez.	Bezeichnung	Typ
M1	Kraftmessgerät	BKR electronics 12tx10kg, Fab.No 20/2/06, 869A
M2	Kraftmessgerät	PCE-CS 5000HD CRANE SCALE, MAX 5000kg, OT01

3.4 Umgebungsbedingungen

Ort: Schlossguet, Büsserach, 2’607’409 / 1'248’185
Umgebungstemperatur: Aussenbedingungen, 10˚C

3.5 Fotos des Messaufbaus

Abbildung 5: Gesamtübersicht Messaufbau. Rechts ist der vergrabene Totmannanker; am Baum in der Bildmitte wird das Drahtseil umgelenkt, und am rechten Baum per 3.5to-Drahtseilzug (Habegger) die Zugkraft aufgebaut.

Abbildung 6: Detail Kraftmessgerät. Links: 4to-Drahtseilstruppe, zum Totmannanker reichend; mitte: Kraftmesgerät mit 12to-Schäkeln und obigem Anschluss an den Flaschenzug; rechts: belastetes System bei einer Gesamtkraft von 30.4kN

Abbildung 7: Detail Umlenkung am Baum. Das Drahtseil wird dreifach umgelenkt, sodass sich drei Seilstränge in Richtung Totmannanker ergeben, und ein Seilstrang in Richtung Drahtseilzug. Zur Kompensation der Horizontalkräfte sind zwei Zurrgurte (Spannset) angebracht. Das orange Seil diente zum Materialhochzug.

Abbildung 8: Detail hinterer Baum. Drahtseilzug (Habegger) 3.5to, zweites Kraftmessgerät zur Überprüfung der maximalen Arbeitslast des Drahtseilzuges, sowie die beiden Zurrgurte zur Kompensation der Horizontalkräfte.

4 Messresultate

4.1 Belastungsgrenzen

Prüfmuster	1
Rundholz	Länge 2.09m, Ø22cm
Grabtiefe	1.30m
Maximalkraft	80.4 kN (≅ 8 to)
Testabbruch aufgrund	Maximal mögliche applizierbare Kraft des Messaufbaus erreicht.

5 Interpretation der Messresultate

5.1 Vergleich mit den theoretischen Werten

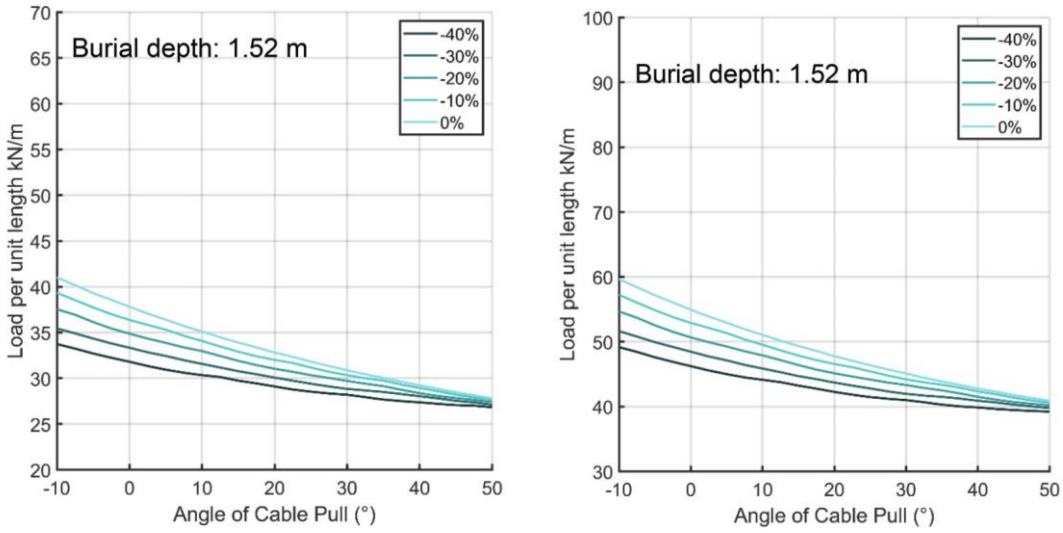


Abbildung 9: Theoretische Modellierung der Tragfähigkeit eines Totmannankers nach [1] für festen Ton (links) und steifen Ton (rechts).

Abbildung 9 zeigt die theoretische Tragfähigkeit nach [1] für festen und steifen Ton. Bei einem Zugwinkel von 35˚ ergibt sich eine theoretische maximale Belastung von 60kN (fester Ton) und 90kN (steifer Ton) für ein Rundholz von 2m und eine Grabtiefe von 1.52m.
Wir haben den Anker mit 80kN belastet ohne sichtliche Veränderung/Verschiebung des Ankers oder der Drahtseilenden. Die Tiefe war 1.30m.
Da eine Klassifizierung unseres Bodens nicht vorliegt, können die theoretischen Werte nicht direkt überprüft werden: einerseits ist es möglich, dass wir einen weicheren Boden als in Abbildung 9 hatten und die theoretischen Werte eine hohe Sicherheitsreserve haben, doch andererseits ist es auch möglich, dass wir einen härteren Boden hatten und die theoretischen Werte zu hoch angesetzt sind.
Unabhängig von den theoretischen Werten lässt sich mit der ermittelten minimalen Tragfähigkeit von 80kN und den Fotos in Abbildung 3 ein Transfer zu anderen Ausgangsorten realisieren und somit eine mögliche untere Grenze der minimalen Tragfähigkeit abschätzen.

5.2 Verschiebung des Totmannankers

Wir haben auf das Aufzeichnen eines Kraft-Weg-Diagrammes verzichtet, da keine wesentliche Verschiebung des Ankers (respektive der Drahtseilenden) sichtbar war. Totmannanker haben im Bezug auf das Erdreich zwei Versagensmechanismen: Der Anker kann entlang des Grabes nach oben gerissen werden (Auftrieb), oder der Erdwiderstand des Blockes vor dem Anker wird überschritten (passives Versagen). Welcher Versagensmechanismus beim Testobjekt zu tragen gekommen wäre, ist unklar, da wir den Test bei 80kN Belastung (Maximalkraft des Testaufbaus) abgebrochen hatten, und noch keine Verschiebung sichtbar war.

5.3 Einschnüren des Drahtseiles in das Rundholz

Eine genaue Betrachtung des Messobjektes und Untersuchung auf Einschnürungen ist noch ausstehend. Wir gehen aktuell davon aus, dass sich das Drahtseil stark in das Rundholz eingeschnürt hat, da wir ähnlichen Druck wie bei Kreisbünden haben:
Als Referenzwerte dienen Kreisbünde mit 5 Windungen: Belastungen von 70kN, aufgeteilt auf 10 Seilstränge, ergibt 7kN pro Seilstrang und bei einem 6mm-Seil entsprechend 1.16 kN/mm, was zu starken Einschnürungen im Rundholz führte.

Beim Totmannanker haben wir eine Belastung von 80kN, aufgeteilt auf 2 Seilstränge, somit 40kN pro Seilstrang und mit dem 20mm-Drahtseil entsprechend 2kN/mm.

6 Fazit und Tipps für die Praxis

Eine geprüfte Belastung von 80kN in einem Boden, wie er auf vielen Zeltlagerplätzen in der Schweiz anzutreffen sind – das ist eindrücklich. Simple Totmannanker aus einem Rundholz, einfach aufzubauen in der Jugendarbeit, sind nach Autorenmeinung hervorragend geeignet, um Lasten von mehreren Tonnen inklusive angenehmer Sicherheitsreserven im Boden zu verankern.

6.1 Rundholz und Grabtiefe

Für Totmannanker in der Praxis können wir folgende Empfehlungen machen:

- Grabtiefe 1.30m
- Rundholz: Länge 2m, Durchmesser 22cm
- Drahtseil per Schlitz in 45°-Winkel herausführen (je nach Abspannsituation)
- Maximal gesicherte Arbeitslast (WLL): 30kN (3 to), in Böden wie in Abbildung 3 gezeigt.

6.2 Drahtseil

Gut geeignet ist ein Drahtseil mit Kauschen an beiden Enden, das anderthalbmal um das Rundholz gewickelt wird, und bei dem beide Enden nach aussen geführt werden. Diese Konfiguration ermöglicht ein einfaches Anschliessen an die Drahtseilenden mit Schäkeln, ist sehr preiswert, und vermeidet unangenehm enge Radien/Knicken des Drahtseiles.
Der Drahtseildurchmesser ist je nach Belastung gemäss Herstellerangaben zu wählen. Die Seilerei Kuert empfiehlt für WLL=3to einen Durchmesser von 12mm (Artikelnummmer 771.110.120, Direktlink).

6.3 Zeitaufwand und Minibagger

Der Zeitaufwand für das Graben und Installieren des Totmannankers betrug 4 Stunden mit 6 Personen, wobei ab einer gewissen Grabtiefe nur noch 1-2 Personen im Grab arbeiten können. Der Einsatz eines Minibaggers kann je nach Anzahl Anker sehr lohnenswert sein.

7 Danksagung

Outdoorsolutions dankt der Jubla Düdingen herzlich für das tatkräftige Mitwirken im Vorfeld und während des Tests und für das Zurverfügungstellen des Testobjektes.

Fribourg, 13.04.2022 / C. Baeriswyl

Anhang

Berechnung Tragfähigkeit

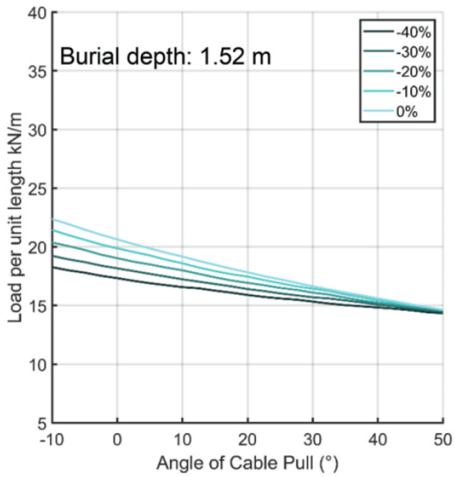
Dimensionierung gemäss "Deadman anchoring design for cable logging: a new approach" von Francisca Belart, Ben Leshchinsky, and Jeff Wimer (2020):

3.3. Design approach

Based on the design parameters presented in the previous sections, design requires two major considerations: soil capacity and cable demand. Soil capacity is the maximum capacity of the soil to support the load of the deadman being pulled before failure, which can be by uplift or pullout, whichever is critical. Cable demand is the loading from a cable that must be resisted in design.

The soil charts may be used to assess soil capacity (Appendix A). First, establish burial depth, which is measured from the bottom of the trench. The trench should likely be notched for similar angles of pull with those of a tower (Fig. 9). Thereafter, determine the properties of the soil, including weight, cohesion, and friction angle, and select similar soil capacity plots. Then, establish the ground slope angle and the cable angle of pull and find the soil capacity value in kilonewtons per metre of log length. Once the soil capacity has been determined, approximate a safe working load of the cable and divide by an arbitrary log length to find the cable system demand. If the soil capacity is smaller than the calculated cable system demand, use the soil capacity to find an adequate log length until soil capacity ($kN \cdot m^{-1}$) is equal to cable system demand ($kN \cdot m^{-1}$). With the known log length and cable system demand, use the log sizing charts (Fig. 8), depending on the species, to establish the required D/L ratios that yield structural stability of the buried deadman. With this ratio and a known log length, the mid-diameter of the log can be determined.

Fig. A6. Soil capacity chart for soft clay. [Colour online.]



Definitionen:

$t := 1{,}52\ m$ (Lochtiefe)

Bodenbeschaffenheit: Soft clay

$\alpha := \operatorname{atan}\left(\frac{10\ m}{12\ m}\right) = 39{,}8056\ °$ (Abspannwinkel Seil)

$q_{max} := 15\ \frac{kN}{m}$ (Maximale Haltekraft des Ankers pro Meter Länge)

Somit wird die Holzlänge:

$$l_{Anker} := \frac{F_{Ankerpunkt}}{q_{max}} = 2\ m$$

Die Sicherstellung des maximalen Biegemomentes erfolgt mit der Holzbautabelle HBT1.
Dazu betrachten wir das Rundholz als Einfeldträger mit Auflagern an den Enden (worst-case) und berechnen das maximale Biegemoment:

$$M_{max} := \frac{F_{Ankerpunkt} \cdot l_{Anker}}{4} = 15\ \mathrm{kN\ m}$$

Der Biegewiderstand eines Kantholzes lässt sich berechnen mit:

$M_{y,rd} := k_m \cdot f_{m,d} \cdot W_y$ (Für Kantholz; $k_m := 1,0$, $f_{m,d} := 14\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{mm}^2}$, $W_y := \frac{b \cdot h^2}{6}$, b = Breite in m, h = Höhe in m)

$$b := \sqrt[3]{\frac{M_{max}}{k_m \cdot f_{m,d} \cdot \frac{1}{6}}} = 0,1859\ \mathrm{m}$$ (für einen quadratischen Querschnitt)

Oder für ein Rundholz:

$$W := \frac{\pi \cdot d^3}{32}$$

$$d := \sqrt[3]{\frac{M_{max}}{k_m \cdot f_{m,d} \cdot \frac{\pi}{32}}} = 0,2218\ \mathrm{m}$$ (für einen runden Querschnitt)