



Erdanker: Experimentelle Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten

Teil 1

Einleitung

Bei Rettungsmaßnahmen im Rahmen von Hilfeleistungseinsätzen können mit Hilfe von temporären Erdankern Festpunkte geschaffen werden, welche die aufzunehmenden Kräfte in den Untergrund einleiten. Diese Erdanker bestehen aus in den Boden eingeschlagenen Stahlstäben (Erdnägeln), die durch Stahllaschen miteinander verbunden sind. Zu den Bauteilen und Anwendungsmöglichkeiten von Erdankern wird auf die einschlägige Fachliteratur, z. B. [1] bis [3], verwiesen. Für das Trag- und Verformungsverhalten der Erdanker spielt die Neigung der Erdnägeln eine entscheidende Rolle.

Hierbei entstanden bei Feuerwehren seit Herausgabe der Feuerwehr-Dienstvorschrift 1 häufig Irritationen (FwDV 1, Kapitel „12.3 Mehrzweckzug“ [1]). Obwohl an einigen Landesfeuerwehrschulen, so auch der Hessischen Landesfeuerwehrschule (HLFS), Zugversuche durchgeführt wurden und die Ergebnisse sich in einer Abbildung der FwDV 1 wiederfanden, gab es in Feuerwehreinheiten Zweifel an deren Richtigkeit. Es widerspricht offensichtlich dem gesunden Menschenverstand Erdnägeln nicht entgegen, sondern in Belastungsrichtung einzuschlagen, um ein günstigeres Trag- und Verformungsverhalten zu erzielen.

Um diese Zweifel auszuräumen und um das Trag- und Verformungsverhalten von Erdankern konkret zu bestimmen wurden an der Hessischen Landesfeuerwehrschule und an dem Institut und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt umfangreiche Untersuchungen durchgeführt.

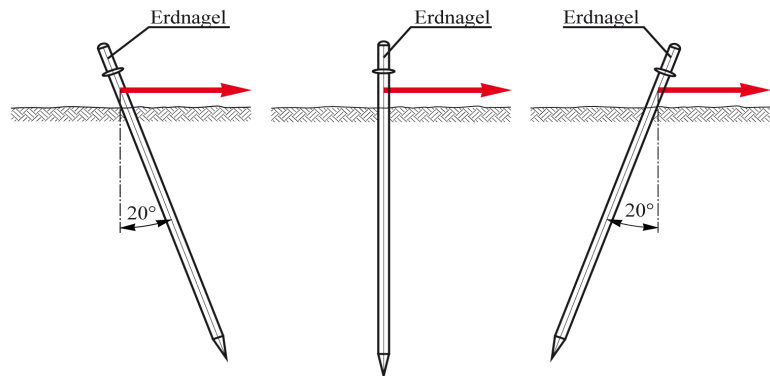


Bild 1: Unterschiedliche Anordnung der Erdnägeln bei den experimentellen Untersuchungen.

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen in zwei grundsätzlichen Bodenarten (Sand bzw. Ton) vorgestellt. Durchgeführt wurden insgesamt 24 Belastungsversuche an Erdankern.

Dabei wurde die Neigung der Erdnägeln variiert:

- 20° zur Vertikalen gegen die Belastungsrichtung,
- senkrecht zur Belastungsrichtung und
- 20° zur Vertikalen in Belastungsrichtung.

Die Belastung der Erdanker wurde durch einen Mehrzweckzug (Z16) [4] bzw. eine maschinelle Zugeinrichtung (MaZE) [5] aufgebracht. Die aufgebrachten Kräfte wurden mit einer Kraftmessdose gemessen. Die durch die Zugbelastung erzeugten horizontalen Verschiebungen des Erdankers wurden in Bezug auf einen unverschieblichen Festpunkt gemessen. In Diagrammen wurden die bei den Versuchen gemessenen Kräfte und die zugehörigen Verformungen als so genannte Kraftverschiebungslinien aufgetragen.

Belastungsversuche in Sand

Das Bodenmaterial des Versuchsfeldes des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der TU Darmstadt ist ein mitteldicht gelagerter Sand. Beispielhaft ist ein Belastungsversuch an einem Erdanker mit 12 in Belastungsrichtung geneigten Erdnägeln in den Bildern 2 (Versuchsbeginn) und 3 (Versuchsende) dargestellt.

Zum Vergleich der Belastungsversuche von Erdankern mit unterschiedlich geneigten Erdnägeln sind in Bild 4 die Kraftverschiebungslinien der jeweils, in den Versuchen ermittelten geringsten aufnehmbaren Kräfte gegenübergestellt. Bei Neigung der Erdnägeln gegen die Belastungsrichtung ist eine weitaus geringere Tragfähigkeit bei gleichzeitig größerer horizontaler Verschiebung als bei vertikal angeordneten oder in Belastungsrichtung geneigten Erdnägeln mobilisiert worden. Bei vertikaler Anordnung der Erdnägeln wird eine fast gleichgroße Tragfähigkeit des Erdankers wie bei in Belastungsrichtung



Bild 2: Erdanker mit 12 in Belastungsrichtung geneigten Erdnägeln in Sand bei Versuchsbeginn.

geneigten Erdnägeln erzielt. Die horizontalen Verschiebungen sind bei vertikaler Anordnung der Erdnägel jedoch um das 2fache größer. Daraus folgt, dass um ca. 20° zur Vertikalen in Belastungsrichtung geneigte Erdnägel das günstigste Trag- und Verformungsverhalten von Erdankern in Sand liefern.



Bild 3: Erdanker mit 12 in Belastungsrichtung geneigten Erdnägeln in Sand bei Versuchsende.

Deshalb wurden zur näheren Untersuchung des Trag- und Verformungsverhaltens zusätzlich Versuche mit nur 6 Erdnägeln durchgeführt, um dadurch einen Vergleich bei unterschiedlicher Neigung der Erdnägel bis zum Tragfähigkeitsverlust zu ermöglichen.

Beispielhaft wird das Ende eines Be-

lastungsversuchs an einem Erdanker mit 12 gegen die Belastungsrichtung geneigten Erdnägeln in Bild 6 dargestellt.

Zum Vergleich der Belastungsversuche von Erdankern mit unterschiedlich geneigten Erdnägeln sind in den Bildern 7 und 8 die Kraftverschiebungslinien der jeweils geringsten

Belastungsversuche in Ton

Das Bodenmaterial des Versuchsfeldes der Hessischen Landesfeuerweherschule ist ein halbfester, mitteplastischer Ton. Zunächst wurden Versuche mit 12 Erdnägeln durchgeführt. Die Belastung der Erdanker erfolgte mit Hilfe der maschinellen Zugeinrichtung (MaZE) eines Hilfeleistungslöschfahrzeuges (HLF) und einer losen Rolle (Bild 5).

Aufgrund des für diese Versuchsanordnung zu geringen Eigengewichtes des HLF und der damit zu geringen Haftreibung konnten die Versuche mit 12 Erdnägeln bei vertikaler und in Belastungsrichtung geneigten Erdnägeln nicht bis zum vollständigen Tragfähigkeitsverlust der Erdanker durchgeführt werden. Maximal konnten so Kräfte bis ca. 70 kN aufgebracht werden.

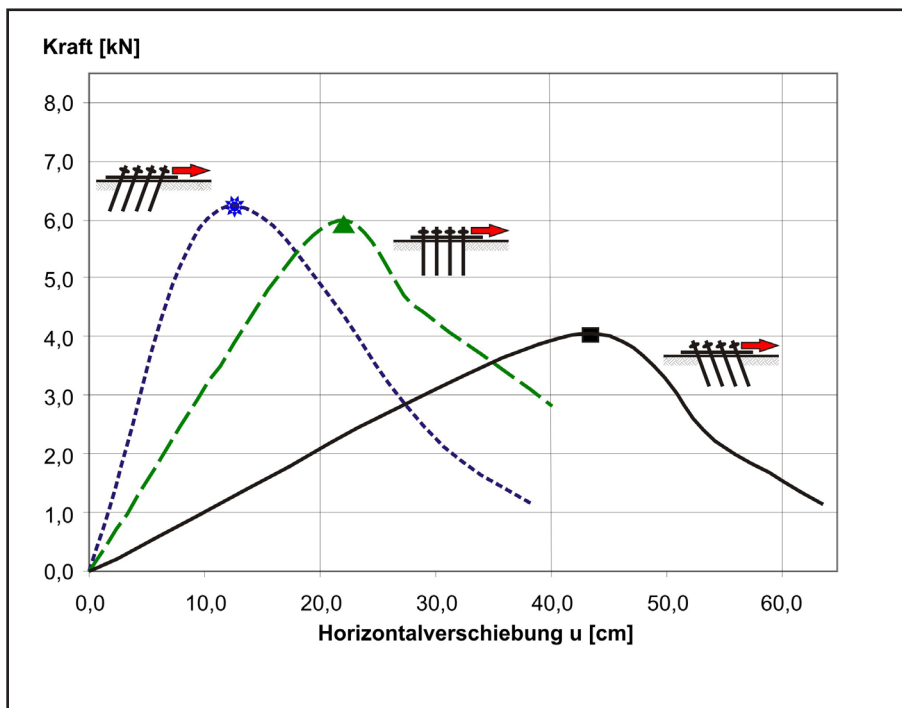


Bild 4: Vergleich der Kraftverschiebungslinien von Erdankern mit 12 Erdnägeln mit unterschiedlicher Neigung in Sand.



Zusammenfassung

Durch die umfassenden Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass Erdanker mit um 20° zur Vertikalen in Belastungsrichtung geneigten Erdnägeln das günstigste Trag- und Verformungsverhalten aufweisen. Die Untersuchungen zeigen aber auch, dass in Abhängigkeit von der Bodenart deutliche Unterschiede im Trag- und Verformungsverhalten zu erwarten sind. In Bild 9 (Seite 4) sind die Ergebnisse eines Belastungsversuches an einem Erdanker in Sand sowie eines Belastungsversuches an einem Erdanker in Ton dargestellt. Bei beiden Erdankern waren die 12 Erdnägeln um 20° zur Vertikalen in Belastungsrichtung geneigt.



Bild 5: Versuchsanordnung bei Erdankern mit 12 Erdnägeln (links) und bei Versuchsdurchführung verschobenem Unterlegkeil (rechts).

aufnehmbaren Kräfte gegenübergestellt. Bild 7 (Seite 4) zeigt die Versuche an Erdankern mit 12 Erdnägeln. Bild 8 (Seite 4) zeigt die Versuche an Erdankern mit 6 Erdnägeln.

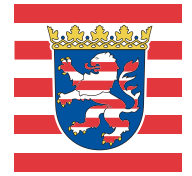
Bei Neigung der Erdnägeln gegen die Belastungsrichtung ist eine weitaus geringere Tragfähigkeit bei gleichzeitig größerer horizontaler Verschiebung als bei vertikal oder in Belastungsrichtung geneigten Erdnägeln mobilisiert worden. Da die Erdanker nur bis zu einer versuchsbedingten, maximal erzielbaren Belastung von 70 kN belastet werden konnten, wird

zur Beurteilung des Trag- und Verformungsverhaltens die horizontale Verschiebung herangezogen. Aus den Bildern 7 und 8 wird ersichtlich, dass die vertikale Anordnung der Erdnägeln größere Verschiebungen von Erdankern zur Folge hat, als dieses bei in Belastungsrichtung geneigten Erdnägeln der Fall ist.

Wie auch bei den Versuchen im Sand weisen Erdanker im Ton mit um ca. 20° zur Vertikalen in Belastungsrichtung geneigten Erdnägeln das günstigste Trag- und Verformungsverhalten auf.



Bild 6: Erdanker mit 12 gegen die Belastungsrichtung geneigten Erdnägeln in Ton kurz vor dem Tragfähigkeitsverlust (links) und danach (rechts).



Teil 2

Einleitung

Bei Rettungsmaßnahmen im Rahmen von Hilfeleistungseinsätzen können mit Hilfe von temporären Erdankern Festpunkte geschaffen werden, welche die aufzunehmenden Kräfte in den Untergrund einleiten. In dem Teil 1 des Beitrages zu diesem Thema (Heft 10/2011) wurde gezeigt, dass die Neigung der Erdnägel für das Trag- und Verformungsverhalten der Erdanker eine entscheidende Rolle spielt. Das günstigste Trag- und Verformungsverhalten von Erdankern wird mit um 20° zur Vertikalen in Belastungsrichtung geneigten Erdnägeln erzielt. In diesem Teil 2 werden die Versuchsergebnisse erläutert und die sachgerechte Installation von Erdankern beschrieben.

Erläuterungen zum Trag- und Verformungsverhalten von Erdankern

Durch Aufteilen der horizontalen Belastung eines Erdankers in auf die Erdnägel wirkende Quer- und Normalkräfte kann das Trag- und Verformungsverhalten erläutert und durch Vergleich der mobilisierbaren Erdwiderstandsbereiche belegt werden. Die Darstellung in Bild 10 zeigt beispielhaft einen Erdanker mit einem um 20° zur Vertikalen gegen die Belastungsrichtung geneigten Erdnagel mit der Aufteilung der horizontalen Belastung H in den Querkraftanteil Q und den Normalkraftanteil N . Die Wirkungsrichtung der deutlich größeren Kraft Q weist aus dem Boden heraus.

Die Darstellung in Bild 11 zeigt beispielhaft einen Erdanker mit einem um 20° zur Vertikalen in Belastungsrichtung geneigten Erdnagel mit der Aufteilung der horizontalen Belastung H in den Querkraftanteil Q und den Normalkraftanteil N . Die Wirkungsrichtung der deutlich größeren Kraft Q weist in den Boden hinein.

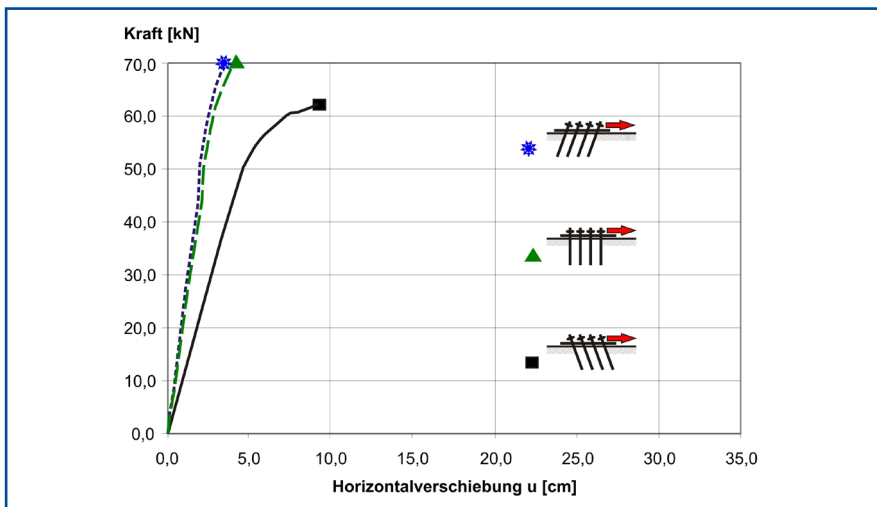


Bild 7: Vergleich der Kraftverschiebungslinien von Erdankern mit 12 Erdnägeln mit unterschiedlicher Neigung in Ton.

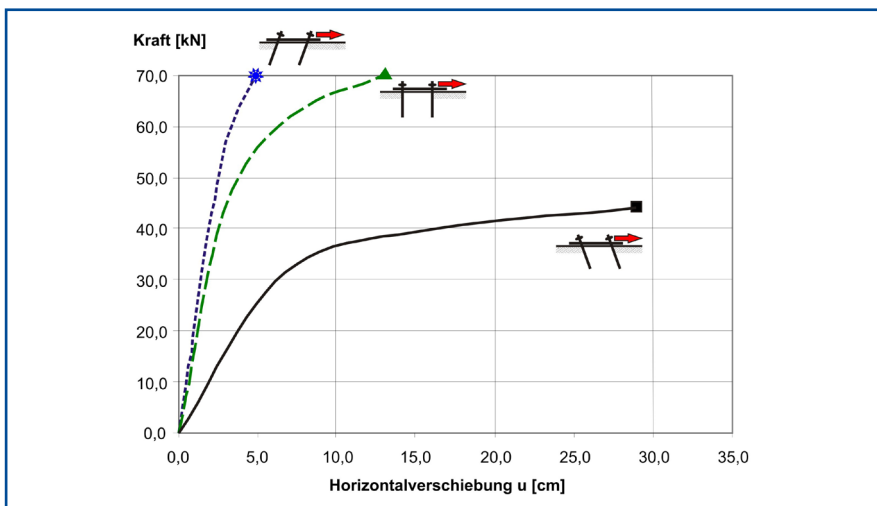


Bild 8: Vergleich der Kraftverschiebungslinien von Erdankern mit 6 Erdnägeln mit unterschiedlicher Neigung in Ton.

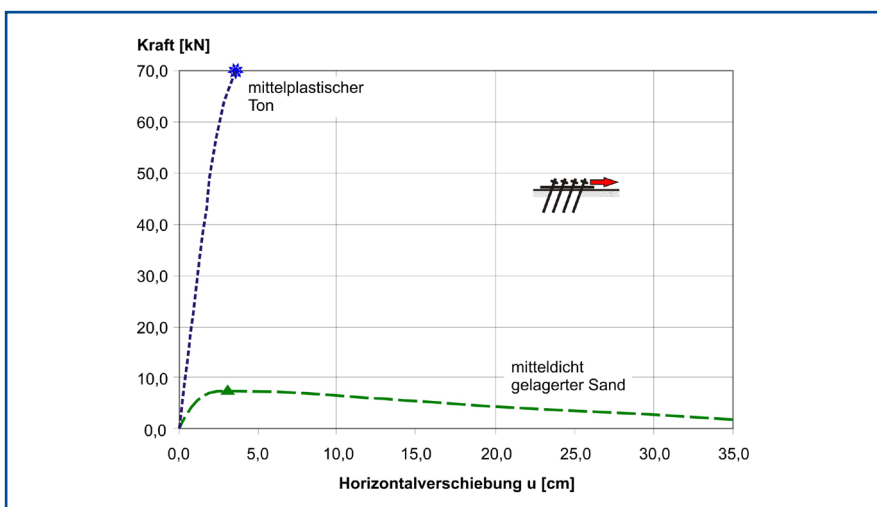


Bild 9: Vergleich des Trag- und Verformungsverhaltens von Erdankern mit 12 um 20° zur Vertikalen in Belastungsrichtung geneigten Erdnägeln in Sand und in Ton.



Die Erklärung liefern die mobilisierbaren Erdwiderstandsbereiche [6]. In Bild 12 sind diese Erdwiderstandsbereiche (gelb hinterlegte Flächen) für einen um 20° zur Vertikalen gegen die Belastungsrichtung geneigten Erdnagel (oben) und einen um 20° zur Vertikalen in Belastungsrichtung geneigten Erdnagel (unten) dargestellt. Grundlage für die Konstruktion der Bereiche bilden die in Laborversuchen ermittelten Bodenparameter, wie z. B. der Reibungswinkel des Bodens. Von diesem Reibungswinkel hängt die Geometrie des mobilisierbaren Erdwiderstandsbereiches maßgebend ab.

Es ist ersichtlich, dass der mobilisierbare Erdwiderstand im unteren Fall deutlich größer ist als im oberen. Die Anordnung des Erdnagels mit einer Neigung von 20° zur Vertikalen in Belastungsrichtung ermöglicht demnach die Mobilisierung größerer Erdwiderstände als die Neigung der Erdnagel um 20° zur Vertikalen gegen die Belastungsrichtung.

Es ist zu beachten, dass größere als die angegebene Neigung der Erdnagel in Belastungsrichtung keine wesentliche Verbesserung des Trag- und Verformungsverhaltens zur Folge hat. Im Extremfall werden die Normalkräfte der Erdnagel so groß, dass nicht der Erdwiderstand, sondern die bei geringen Einbindetiefen der Erdnagel im Boden kleinere Mantelreibung maßgebend wird.

Installation von Erdankern

Grundlage für die Installationshinweise von Erdankern mit Erdnägeln bilden die durchgeführten experimentellen (Belastungsversuche) und theoretischen Untersuchungen. Demnach weisen Erdanker mit um 20° zur Vertikalen in Belastungsrichtung geneigten Erdnägeln das günstigste Trag- und Verformungsverhalten auf. Bild 13 zeigt die empfohlene Anordnung der Erdnagel für die maximale Tragfähigkeit eines Erdankers, so wie sie auch in der FwDV 1 vorgegeben wird [1].

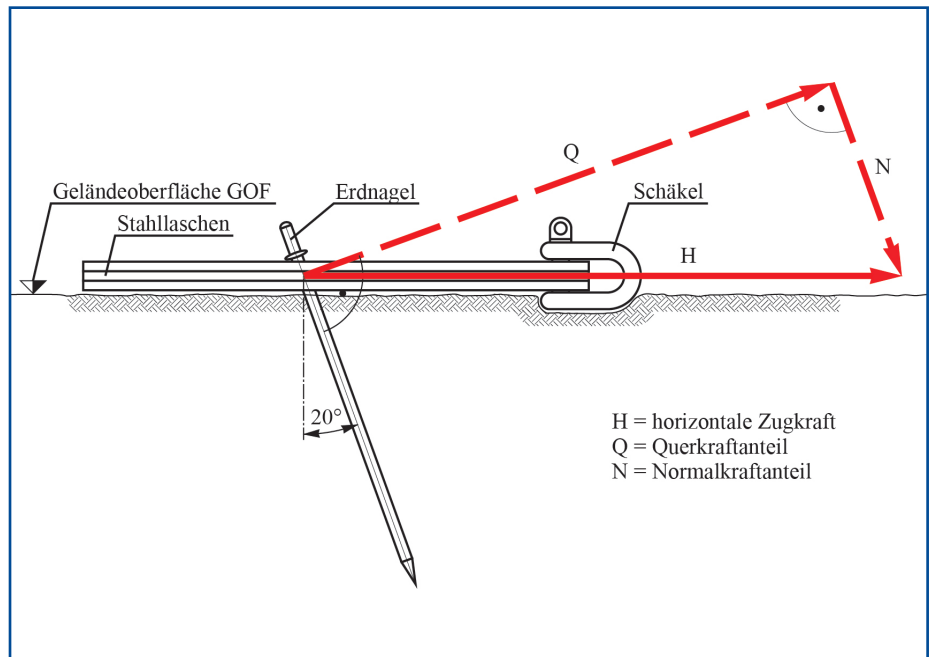


Bild 10: Einwirkende Kräfte an einem Erdanker mit gegen die Belastungsrichtung geneigtem Erdnagel.

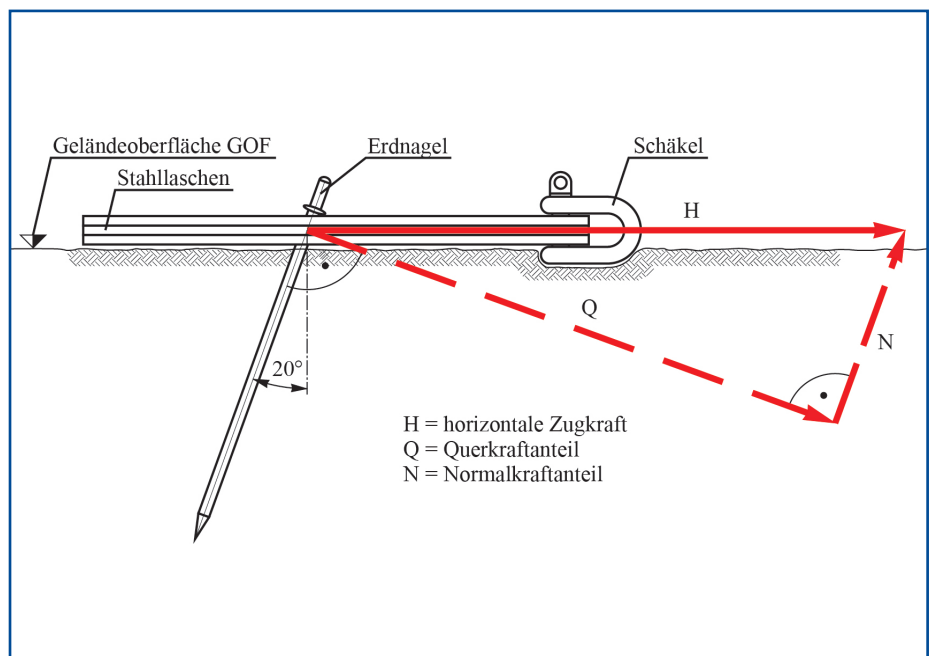


Bild 11: Einwirkende Kräfte an einem Erdanker mit in Belastungsrichtung geneigtem Erdnagel.



Zusammenfassung

Die Hessische Landesfeuerwehrschule hat in Zusammenarbeit mit dem Institut und der Versuchsanstalt für Geotechnik der TU Darmstadt umfangreiche, anspruchsvolle experimentelle und theoretische Untersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass Erdanker mit um 20° zur Vertikalen in Belastungsrichtung geneigten Erdnägeln das günstigste Trag- und Verformungsverhalten aufweisen. Darüber hinaus wurde auch belegt, dass das Trag- und Verformungsverhalten von Erdankern stark von der Bodenart abhängt.

Literatur

[1] Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung der Innenminister und -senatoren der Länder (2007):

Feuerwehr-Dienstvorschrift 1: Grundtätigkeiten im Lösch- und Hilfeleistungseinsatz (Stand September 2006)

[2] Tretzel, F. (2005): Leinen, Seile Hebezeuge. Die Roten Hefte, Heft 3b, Kohlhammerverlag, Stuttgart.

[3] Bundesanstalt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (1985): Bergung im Selbstschutz.

[4] DIN 14800-5: Feuerwehrtechnische Ausrüstung für Feuerfahrzeuge – Teil 5: Mehrzweckzüge. Beuth Verlag, Berlin (2005)

[5] DIN 14584: Feuerfahrzeuge – Zugeinrichtungen mit maschinellem Antrieb – Anforderung, Prüfung. Beuth Verlag, Berlin (2002)

[6] DIN 4085: Berechnung des Erddruckes. Beuth Verlag, Berlin (2007)

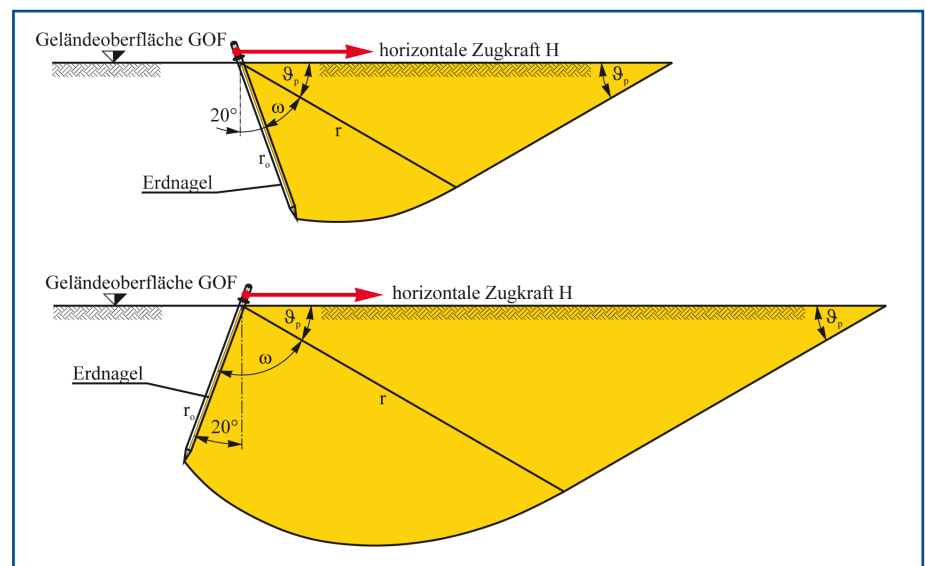


Bild 12: Vergleich der mobilisierbaren Erdwiderstandsbereiche für gegen (oben) und in (unten) Belastungsrichtung geneigte Erdnägeln.

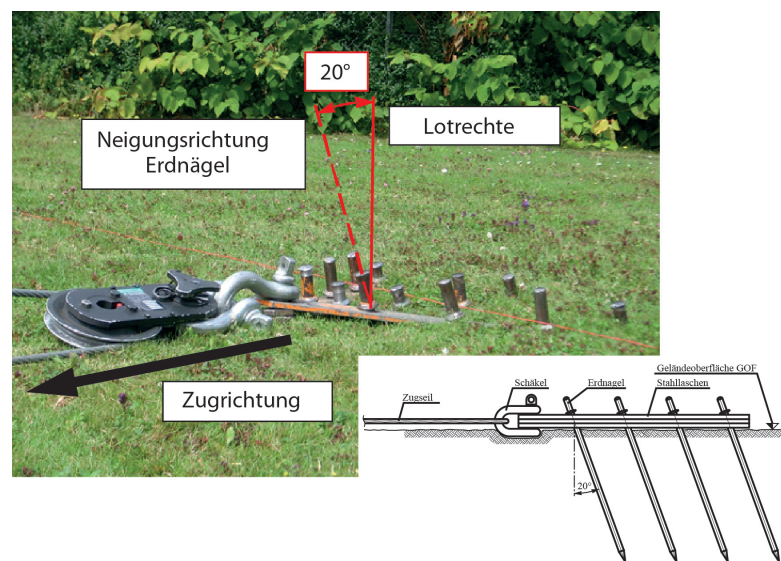


Bild 13: Anordnung der Erdnägeln für maximale Tragfähigkeit.

Text und Bilder:

Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach,
Dipl.-Ing. Steffen Leppla

Dipl.-Ing. Silvio Burlon,
Dipl.-Phys.-Ing. Martin Reitz,
Dipl.-Ing. Volker Heerd

Technische Universität Darmstadt, Institut und Versuchsanstalt für Geotechnik

Hessische Landesfeuerwehrschule