



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Gefahrenprävention

Merkblatt zur Anwendung der erweiterten Zugprobe im Lawinen- und Steinschlagverbau



Stand: Oktober 2014

Impressum

Herausgeber

Abteilung Gefahrenprävention, Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt,
Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autor

Reto Störi, tur gmbh Davos

Begleitung

BAFU, Reto Baumann, Abteilung Gefahrenprävention, Bern,
EKLS, Expertenkommission Lawinen und Steinschlag

Review

EKLS, Stefan Margreth, SLF Forschungseinheit Warnung und Prävention

Titelfoto

Ankerprüfung Lawinenverbauung Munt Lü, Val Müstair (2006),
tur gmbh Davos, Reto Störi

INHALTSVERZEICHNIS

GLOSSAR FACHAUSDRÜCKE.....	2
1 ZUSAMMENFASSUNG	3
2 GRUNDLAGEN	4
3 EINBAU PRÜFANKER FÜR AUSZIEHVERSUCHE.....	5
4 VORGEHENSWEISE AUSZIEHVERSUCHE.....	6
5 BESTIMMUNG REFERENZKURVE	6
6 ERWEITERTE ZUGPROBE.....	10
7 BEURTEILUNG QUALITÄT / BESTIMMUNG TRAGRESERVE.....	10
8 DOKUMENTATION	13
BEILAGE A: BEISPIEL LAWINENVERBAUUNG LAS BLAIS.....	14
BEILAGE B: BEISPIEL STEINSCHLAGSCHUTZVERBAUUNG SCALASCIA.....	23
BEILAGE C: EINBAUSCHEMA VERSUCHSANKER.....	33
BEILAGE D: SCHEMA PRÜFEINRICHTUNG	34
BEILAGE E: VORLAGE FELDPROTOKOLL AUSZIEHVERSUCHE (4 LASTSTUFFEN)	35
BEILAGE F: VORLAGE FELDPROTOKOLL “ERWEITERTE ZUGPROBEN”	37
BEILAGE G: EINGABE SCILAB	38
BEILAGE H: KORREKTURFAKTOR EINBAUWINKEL.....	39

Glossar Fachausdrücke

Anfangskraft	Kraft, bei welcher die Nullmessung der Verschiebung vorgenommen wird.
Ankerlänge	Länge zwischen Ankerkopf und Endpunkt Anker.
Ausziehversuch	Beim Ausziehversuch wird der Versuchsanker stufenweise höher gespannt und sein Kraft-Verformungsverhalten, wird registriert. Prüfung nach SIA 267/1, 7.2.1.
Bauwerksanker	Anker, der seine Funktion im Bauwerk erfüllt.
Bruchkraft	Kraft, bei welcher der äussere Tragwiderstand des Ankers erreicht ist.
Einbauwinkel	Winkel zwischen Ankerachse und Geländeoberfläche.
Erweiterte Zugprobe	Prüfverfahren zur Beurteilung der Tragreserve.
Fliesslast	Last, bei welcher die Fliessspannung des Stahls (Ankers) erreicht ist.
Freie Ankerlänge	Länge zwischen Ankerkopf und Beginn der Verankerungslänge, welche sich aus der statischen und bodenmechanischen Berechnung ergibt.
Gebrauchslast	Last im Gebrauchszustand (ohne Multiplikation mit Sicherheitsfaktor)
Verbundlösung	Bereich in der Verankerungslänge (L_v), welcher kein Verbund zwischen Zugglied und Mörtelsäule aufweist.
Versuchsanker	Speziell ausgebildeter Anker, an welchem durch Versuche Grundlagen für die Wahl, Dimensionierung und Qualitätsprüfung der Bauwerksanker gewonnen werden.
Prüfkraft	Max. Kraft, auf welcher ein Anker geprüft wird.
Tragreserven	Vorhandene Reserve gegenüber der Gebrauchslast.
Zugprobe	Qualitätsprüfung nach SIA 267/1, Abschnitt 7.2.3.
Zugglied	Ankerteil zur Übertragung der Ankerkraft vom Ankerkopf auf die Verankerungslänge

1 Zusammenfassung

Seit den achziger Jahren werden Schutzbauwerke im Lawinen- und Steinschlagverbau mit sogenannten ungespannten Boden- und Felsankern (Nägeln) mit Vollverbund eingebaut. Die Dimensionierung und die Qualitätsprüfung von Nägeln erfolgten seit 2007 gemäss der SIA Norm 267/1. Ausziehversuche an Versuchsankern haben den Zweck, die erforderliche Ankerlänge zu bestimmen. Zugproben werden an bestehenden Ankern bzw. an Bauwerksankern durchgeführt und sind zur Qualitätsprüfung gedacht. Beide Prüfungen, sowohl Ausziehversuche als auch Zugproben, sind in der SIA Norm 267/1 (2013) in den folgenden Abschnitten ausführlich erläutert:

- Ausziehversuche Kapitel Prüfungen 7.2, Abschnitt 7.2.1
- Zugproben Kapitel Prüfungen 7.2, Abschnitt 7.2.3

In den letzten sechs Jahren wurden im Auftrag des BAFU Zugproben nach SIA Norm 267/1 an bestehenden Ankern unterschiedlichen Alters durchgeführt und dokumentiert. Die Resultate der Qualitätsprüfungen zeigten, dass die Kriterien bzw. Richtwerte nach der SIA Norm 267/1 bei vielen Zugproben nur zum Teil erfüllt werden. Weiter wurde festgestellt, dass geprüfte Anker, die vor 1995 eingebaut wurden, tendenziell eine deutlich kleinere Gesamtsicherheit als 2 aufweisen. Die SIA Norm 267/1 und die technische Richtlinie verlangt mit einem Lastfaktor von 1.5 und einem Widerstandsbeiwert von 1.35 eine Gesamtsicherheit von 2.0. Mit den immer grösser werdenden Ankerlasten, im Speziellen bei Schnee- und Steinschlagnetzen, die im Bereich von 300 bis 500kN liegen, sind Zugproben mit den geforderten Prüfkräften nach SIA Norm 267/1 nur beschränkt und nur mit grossem Aufwand möglich. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Zugprobe nach SIA Norm 267/1 zur Qualitätsprüfung von Ankern im Lawinen- und Steinschlagverbau nicht ausreichend ist und dem Projektleiter oder dem Prüfingenieur zu wenige Informationen zur Beurteilung der noch vorhandenen Tragsicherheit liefert.

In den letzten drei Jahren wurde im Auftrag des BAFU eine erweiterte Zugprobe für den Lawinen- und Steinschlagverbau entwickelt. Dieses Prüfverfahren erlaubt unter kleinen Prüfkräften eine Aussage über die vorhandenen Tragreserven eines Bauwerkankers zu machen. Ziel der erweiterten Zugprobe ist, die Qualität eines bestehenden oder neuen Bauwerkankers nicht anhand der Kriterien nach SIA Norm 267/1, sondern anhand der Bestimmung der Tragreserve zu beurteilen. Die Zugprobe nach SIA Norm 267/1 ist auch mit dem neuen Prüfverfahren immer noch möglich. Die erweiterte Zugprobe soll nicht nur alten, bestehenden Ankern, sondern auch an neuen Bauwerksankern Anwendung finden.

Das neue Prüfverfahren basiert auf einer vorgängig mit Ausziehversuchen bestimmten Referenzkurve. Durch den direkten Vergleich zwischen den Kraft-Verschiebungskurven aus der erweiterten Zugprobe und der Referenzkurve kann die Tragreserve bestimmt werden. Zur Bestimmung einer Referenzkurve sind Ausziehversuche nach SIA Norm 267/1 Versuchsankern notwendig. In alten bestehenden Verbauungen können auch bestehende Bauwerksanker verwendet werden. Diese Bauwerksanker müssen bis zum Bruch belastet werden und sind folglich zerstört.

Damit die erweiterte Zugprobe zum gewünschten Ziel führt, ist das richtige Vorgehen, welches in dieser Wegleitung im Detail beschrieben wird, entscheidend. Das Verfahren soll bei den Schutzbauten verbreitet Anwendung finden. Dies ist nur möglich, wenn die örtlichen Spezialisten gute Kenntnisse über das Verfahren verfügen.

Die folgende Wegleitung wurde von der Firma tur gmbh Davos, im Auftrag des BAFU, erarbeitet.

2 Grundlagen

Normen	SIA Norm 267 Geotechnik (2013) SIA Norm 267/1 Geotechnik Ergänzende Festlegungen (2013)
Richtlinien	[1] Richtlinie über Typenprüfung von Schutzbauten gegen Steinschlag (BUWAL 2001), Ergänzung zu Kapitel 7 „Fundationen“, „Verankerung und Fundation von Schutznetzen gegen Steinschlag“ (Entwurf Juni 2008) [2] „Lawinenverbau im Anbruchgebiet“, Technische Richtlinie als Vollzugshilfe 04/07, BAFU Bundesamt für Umwelt Bern
Berichte	[3] Schlussbericht Tragfähigkeit von Ankern - AP 1, Bericht Nr. A4300.01.03. AP1 [4] Schlussbericht Tragfähigkeit von Ankern - A2, Bericht Nr. B201012
Software	[5] SCILAB

3 Einbau Prüfanke für Ausziehversuche

Damit die erweiterte Zugprobe angewendet werden kann, müssen vorgängig sogenannte Versuchsanker für Ausziehversuche im vorgesehenen Verbauungsperimeter eingebaut werden. Grundsätzlich entsprechen die Vorversuche immer noch den Ausziehversuchen nach SIA 267/1 Abschnitt 7.2.1. Beim Einbau der Versuchsanker sind einige wesentliche Punkte zu berücksichtigen, die unten aufgeführt sind. In der *Beilage C* ist ein Einbauschema für einen Versuchsanker ersichtlich.

Anzahl Versuchsanker

Die Richtlinie [2] empfiehlt pro Untergrund mit vergleichbaren geotechnischen Eigenschaften mindestens drei Versuchsanker einzubauen.

Kriterien Standortwahl

Folgende Kriterien sind für die Standortwahl zu beachten:

- Innerhalb des Verbauungsperimeters, im Bereich der Werkreihen
- Über den gesamten Perimeter verteilen, damit die Inhomogenität des Baugrunds erfasst wird
- In Abschnitten mit potentiellen Lockergesteinsschichten (Auswahl anhand einer visuellen Beurteilung)
- An Standorten mit unterschiedlichen Ankerkräften (Gebrauchslasten) (systembedingt, unterschiedliche Werkhöhen oder Energieklassen)
- In durchnässten Abschnitten, wenn repräsentativ für Verbauungsabschnitte
- Auf Kuppen und in Mulden

Ankerlängen

Für die Wahl der Ankerlängen sind Kenntnisse der systembedingten Ankerkräfte und eine erste Annahme des äusseren Tragwiderstandes notwendig. Da gemäss Richtlinie [2] die minimale Ankerlänge im Lockergestein 3.0m sein muss, sind für die Versuchsanker Längen von < 3.0m ungeeignet. Erfahrungsgemäss haben sich bei Ausziehversuchen Ankerlängen zwischen 3.0m bis 8.0m bewährt. Zu empfehlen sind zwei verschiedene Ankerlängen. Pro Ankerlänge sollten mindestens zwei Versuchsanker eingebaut werden.

Damit die Versuchsanker und die Bauwerksanker vergleichbar sind, sollten diese möglichst gleich eingebaut werden. Dies gilt hauptsächlich für die Wahl der freien Ankerlänge, des Zugliedes, des Bohrdurchmessers und des Einbauwinkels.

freie Ankerlänge

Beim Bauwerksanker handelt es sich um einen Vollverbundanker, wobei die Verbundlänge ab einer Einbindetiefe von 1.0m angenommen wird. Der oberste Meter wird als nichttragend angeschaut. Es empfiehlt sich daher bei Ausziehversuchen eine möglichst kurze freie Ankerlänge zu wählen. Aus Erfahrung eignet sich eine freie Ankerlänge von 1.0m bis maximal 1.5m.

Typ Versuchsanker

Die Wahl des Versuchsankers ist abhängig vom Verankerungssystem. Seilanker, Stabanker oder vorinjizierte Anker haben ein unterschiedliches Tragverhalten bzw. Verformungsverhalten. Deshalb ist es zwingend notwendig, die Ausziehversuche mit demselben Ankertyp durchzuführen, welcher für die Bauwerksanker eingesetzt wird.

Bohrdurchmesser

Der Bohrdurchmesser ist je nach Bohrverfahren und Korrosionsschutzstufe 90mm bis 130mm.

Einbauwinkel

Der Einbauwinkel eines Ankers ist entscheidend für den äusseren Tragwiderstand. Ausziehversuche werden im Regelfall mit Versuchsankern durchgeführt, welche ca. 90° zur Bodenoberfläche geneigt sind (*vgl. Beilage C*). Mit diesem Einbauwinkel lassen sich Anker mit Lasten bis zu 400kN prüfen. Bei einer höheren Prüfkraft nimmt der Aufwand zu. Die Einbauwinkel von Bauwerksankern hingegen variieren zwischen 85° und 45°. Diese Abweichung muss mit einem Korrekturfaktor (*vgl. Beilage H*) berücksichtigt werden.

4 Vorgehensweise Ausziehversuche

Vorbereitungsarbeiten	<p>Folgende Vorbereitungsarbeiten sind durch die Projektleitung oder den Prüfingenieur zu begleiten und auszuführen:</p> <ul style="list-style-type: none">• Ankertyp, Ankerlängen und Anzahl definieren• Eventuell separate Submission für Einbau Prüfanke erstellen• Standorte der Prüfanke festlegen• Begleitung der Bohr- und Injektionsarbeiten → detaillierte Bohrprotokolle
Versuchsanordnung / Laststufen	<p>Die Prüfanke sind gemäss Abschnitt 7.2.1 (Ausziehversuche) der SIA Norm 267/1 zu prüfen, wobei der Tragwiderstand wie folgt bestimmt wird:</p> <p>Um brauchbare Daten für die gesuchte Referenzkurve des neuen Prüfverfahrens zu erhalten, müssen die Prüfanke bis zum Bruch belastet werden. Weil der Bruch nicht in jedem Fall während des Versuchs erreicht wird, entspricht idealisiert die Prüfkraft F_{pv} der Ankerbruchlast. Die erforderliche Anzahl Laststufen lässt sich somit a priori nicht festlegen. Insbesondere die Kraftinkremente in der Nähe der Ankerbruchlast müssen von Fall zu Fall bestimmt werden. Die Prüfkraft soll nicht höher als 90% der Fließlast des Zuggliedes betragen. Mit der Wahl von mindestens vier Stufen, welche nach SIA 267/1, Abschnitt 7.2.1 den Bereich bis zur Prüfkraft gleichmässig abdecken, lässt sich die Bruchlast theoretisch ermitteln, falls sie im Versuch nicht erreicht wird. Die Anfangskraft ist mit 10% der Gebrauchslast der Bauwerksanker zu wählen.</p> <p>Alle anderen Vorschriften der Norm SIA 267/1, Abschnitt 7.2.1, sind für dieses Versuchsprogramm zu übernehmen. Sie regeln insbesondere, wann eine Laststufe abgebrochen werden darf und wann der Tragwiderstand eines Ankers erreicht ist (Kriechmass, vgl. <i>Beilage A und B</i>).</p>

5 Bestimmung Referenzkurve

Eingangsdaten	<p>Als Eingangsdaten zur Bestimmung einer Referenzkurve eines bestimmten Bodentyps braucht man mindestens drei Messpunkte (Nullpunkt und zwei Kraftstufen) aus den Ausziehversuchen. Hier ist entscheidend, welcher Versuchsanker bzw. welcher Ausziehversuch durch den Prüfingenieur als repräsentativ für den vorliegenden Bodentyp beurteilt wird. Diese Beurteilung erfordert Erfahrung und ist wegweisend für den weiteren Verlauf beim neuen Prüfverfahren. Ein Messpunkt ist durch die Verformungen (inkl. Kriechverformungen) bei einer bestimmten Kraftstufe definiert.</p>
Ausgleichung nach Gauss	<p>Unter einer Ausgleichskurve versteht man die Kurve, welche sich einer Anzahl vorgegebener Messpunkte „optimal“ anpasst. Die nichtlineare Ausgleichung erfolgt nach dem Gauss'schen Prinzip der kleinsten Quadrate. Damit man eine Ausgleichskurve nach Gauss bestimmen kann, muss zunächst ein Funktionstyp gewählt werden, welcher der Referenzkurve zugrunde gelegt werden soll.</p>

Form Referenzkurve

In unserem Fall haben wir eine Funktion (Kurve) der Form

$y = a + b * \tanh(c * x)$ gewählt, worin x die Verschiebung und y die Zugkraft am Anker bedeuten.

Die Wahl dieser Kurve beruht auf zwei Gründen:

- Die Kurve strebt schnell gegen eine horizontale Asymptote, welche als untere Grenze der Ankerbruchlast definiert werden kann.
- Sie hat nur drei Parameter, womit sie mit drei Messpunkten bestimmt ist (Nullpunkt und Verschiebung bei zwei Kraftstufen).

Ermittlung der Parameter

Die Ermittlung der Parameter bzw. Ausgleichsrechnung erfolgt mit dem frei zugänglichen Programm SCILAB. Die Anleitung für die Eingaben ist in der *Beilage G* ersichtlich.

Erläuterung der Parameter

Die Parameter a , b und c sind Referenzparameter, welche die Lage und den Verlauf der Referenzkurve beschreiben. Sie haben einen direkten Bezug zur Versuchsanordnung und dem Bodentyp.

Der Parameter a steht für die Anfangskraft. Im Regelfall entspricht dieser Parameter 10% der Gebrauchslast des Bauwerkankers.

Der Parameter b entspricht der Bruchkraft abzüglich der Anfangskraft.

Der Parameter c definiert den Verlauf der Kurve (Steigung und Krümmung) und beschreibt das Verformungsverhalten des Ankers. Beeinflusst wird dieser Parameter von der Ankerlänge, des Ankertyps, der Einbauart und schliesslich vom Baugrund bzw. Bodentyp. Folglich ist der Parameter c für gleiche Anker einer Bodenklassifikation gleich resp. ähnlich.

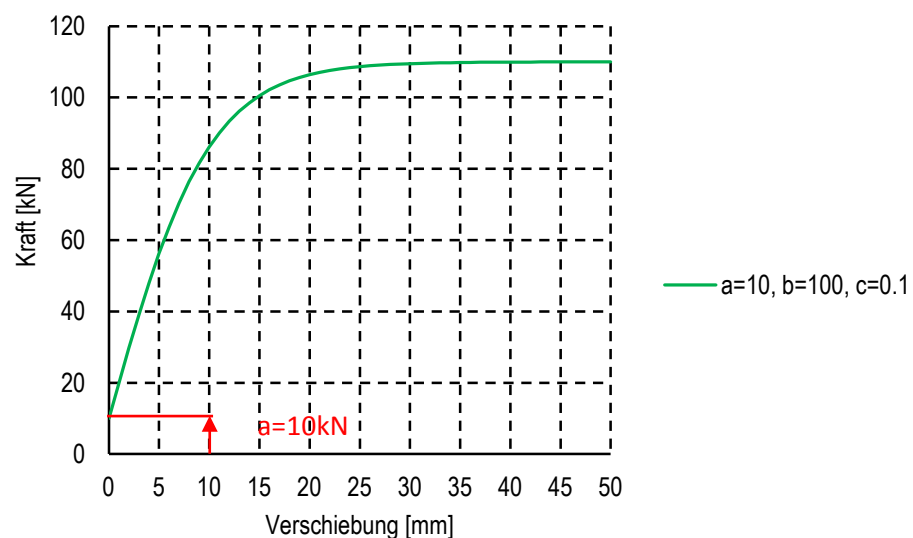


Abb.1: Der Parameter a entspricht der Anfangskraft

In *Abbildung 1* ist eine willkürlich gewählte Kurve $y = 10 + 100 * \tanh(0.1 * x)$ abgebildet. Bei einer Kraft von $y = 10\text{kN}$, entspricht die Verschiebung $x = 0\text{mm}$. Dieser Wert entspricht dem Parameter a .

Die Anfangskraft des Versuchs definiert den Nullpunkt der x -Achse.

Durch Änderung des Parameters a lassen sich Versuche mit unterschiedlicher Anfangskraft aneinander anpassen.
Es muss allerdings beachtet werden, dass die Verschiebung erst ab der Anfangskraft berücksichtigt werden darf (z.B. $a = 10\text{kN}$).

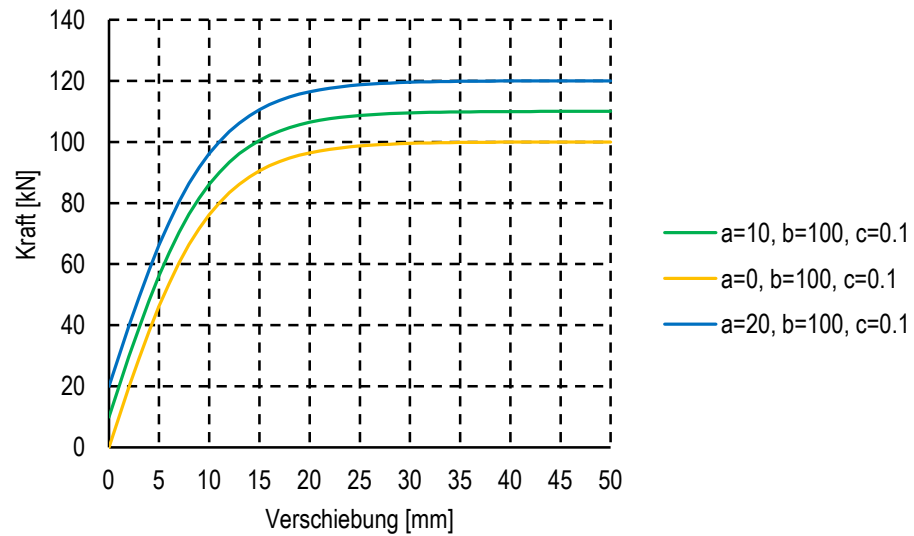


Abb. 2: Identische Kurven wie Abb. 1 mit unterschiedlichem Parameter a

Die *Abbildungen 3* und *4* illustrieren die Bedeutung des Parameters b : $y = b$ gibt die Lage der horizontalen Asymptote an.
Summiert man die Parameter a und b , erhält man den Absolutwert der Asymptote.
Dieser Wert wird als Bruchlast des Ankers definiert.

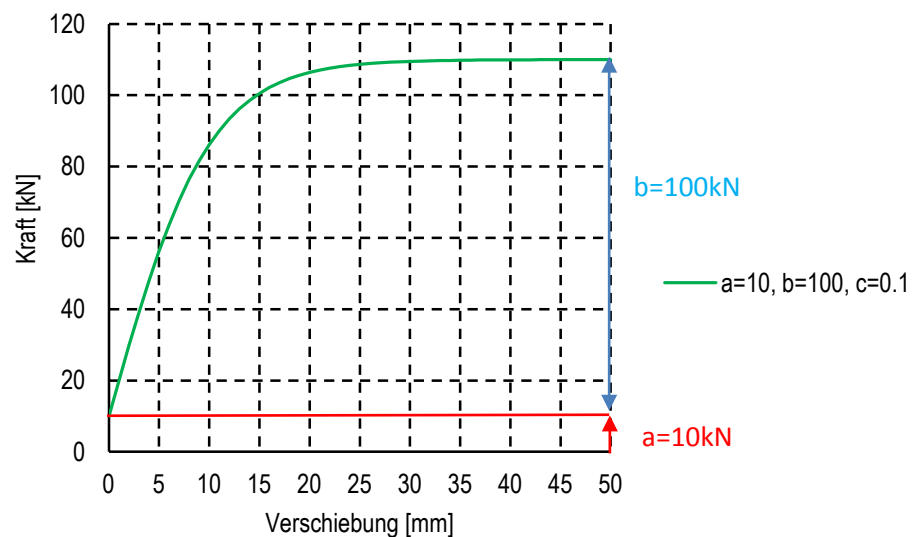


Abb. 3: Kurve mit Parameter $b = 100\text{kN}$

Durch Änderung des Parameters b lässt sich die gesuchte Bruchlast anpassen. Auf diese Weise können Sicherheitsfaktoren eingefügt und Ausziehversuche mit zu hohen Prüfkräften angepasst werden. In der *Abbildung 4* ist in grüner Farbe wiederum die Ausgangskurve von *Abbildung 1* eingetragen, dazu zwei Kurven mit verändertem Parameter b (z.B. gelb = Prüfkräft 60kN).

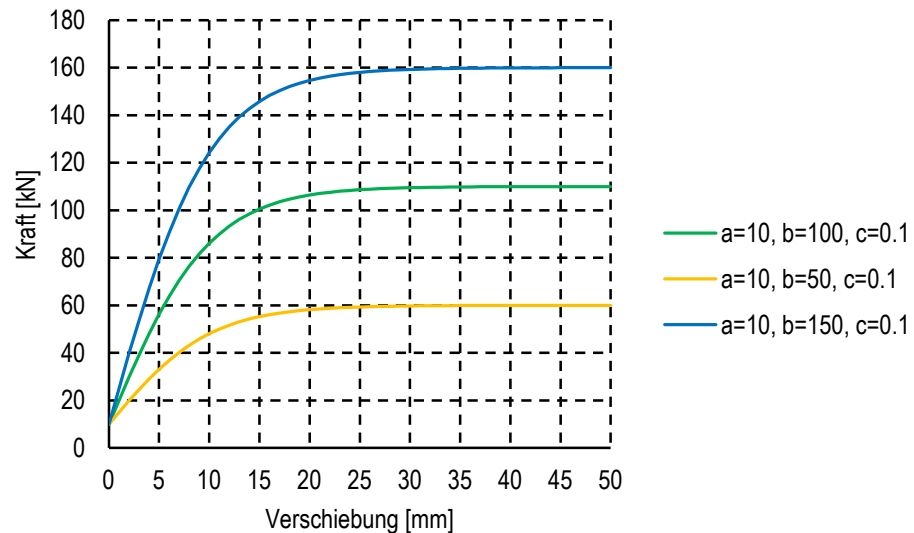


Abb. 4: Identische Kurven wie in *Abb. 3* mit unterschiedlichem Parameter b

Die *Abbildung 5* zeigt nochmals die gleiche Kurve wie in *Abbildung 1* (grüne Kurve), zusätzlich aber noch Kurven mit $c = 0.05$ und $c = 0.2$, um den Einfluss des Parameters c zu verdeutlichen. Je grösser der Parameter c , desto grösser wird die Steigung der Kurve in X-Richtung, d.h. die Verschiebung wird kleiner.

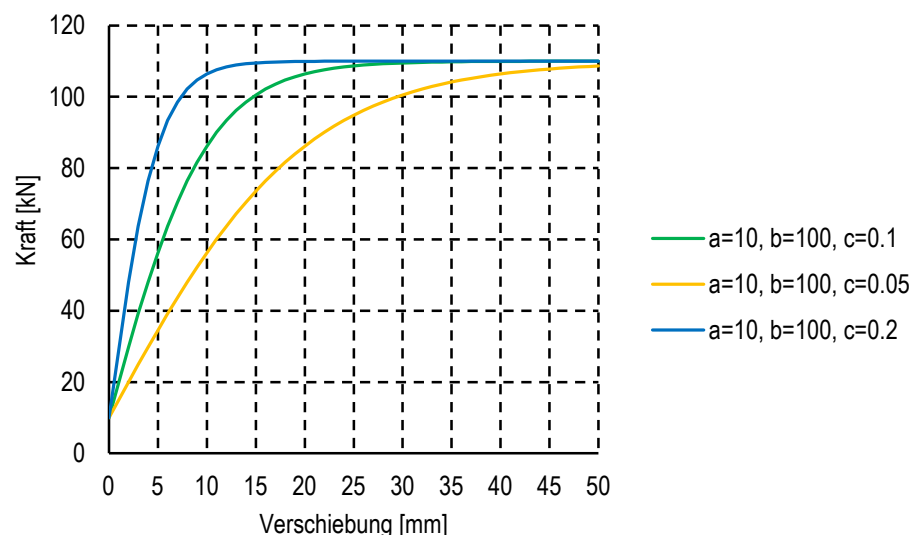


Abb. 5: Kurven mit unterschiedlichem Parameter c

Nachfolgend wird eine Grössenordnung des Parameters c für drei unterschiedliche Böden (Klassifikation nach Richtlinie [2]) angegeben:

- **sehr locker gelagerter Boden:** **$c=0.02$ bis 0.05**
- **schlechter Boden:** **$c=0.05$ bis 0.08**
- **mittlerer Boden:** **$c=0.08$ bis 0.12**

6 Erweiterte Zugprobe

Prüfkraft Grundsätzlich ist der Durchführung der erweiterten Zugprobe (Qualitätsprüfung nach dem neuen Prüfverfahren) bis auf eine Ausnahme identisch mit dem Verfahren gemäss SIA Norm 267/1, Abschnitt 7.2.3. Die Ausnahme besteht darin, dass mit einer kleineren Prüfkraft geprüft werden kann (bis anhin gemäss SIA Norm 267/1 Prüfkraft F_p mindestens gleich wie Bemessungswert des Tragwiderstands R_d des Ankers). Zur Beurteilung der Tragfähigkeit eines Ankers nach der neuen Methode ist eine Prüfkraft von ca. 60% der Gebrauchskraft F_k ausreichend. Dies hat den Vorteil, dass Verbauungssysteme mit sehr hohen Ankerkräften $>300\text{kN}$ mit einer mobilen, kompakten Prüfeinrichtung geprüft werden können. Durch die reduzierte Prüfkraft fällt die Rissbildung in der Mörtelsäule geringer aus. Der Bauwerksanker wird weniger geschwächt.

Laststufen Es sind drei Kraftstufen anzusetzen, wobei auf jeder Kraftstufe die aufgebrachte Kraft 15 Minuten gehalten werden muss. Deshalb wird das neue Prüfverfahren auch „Erweiterte Zugprobe“ (EZP) genannt. Für einen Bauwerksanker mit einer charakteristischen Ankerlast von 500kN würden die Kraftstufen unten aufgeführt. Die Prüfkraft F_p vom 300kN entspricht in diesem Beispiel 60% der charakteristischen Ankerlast F_k von 500kN .

Anfangskraft F_a :	30kN	(10% von 300kN)
Erste Zwischenkraft F_1 :	120kN	(40% von 300kN)
Zweite Zwischenkraft F_2 :	210kN	(70% von 300kN)
Prüfkraft:	300kN	(100% von 300kN)

7 Beurteilung Qualität / Bestimmung Tragreserve

Beurteilung Qualität nach SIA 267/1 Der grösste Unterschied zwischen der Qualitätsprüfung nach SIA Norm 267/1, Abschnitt 7.2.3 und nach der erweiterten Zugprobe (EZP) liegt in der Höhe der Prüfkraft und bei den Beurteilungskriterien.

Für die Beurteilung nach SIA Norm 267/1 sind folgende drei Richtwerte massgebend:

Richtwert 1: Verschiebungszunahme Δl zwischen 5 und 15 Minuten muss $\leq 0.5\text{mm}$ sein (Kriechverformung)

Richtwert 2: Die bleibende Verschiebung Δl_{bl} muss $\leq 5.0\text{mm}$ sein

Richtwert 3: Verbundlösung $l_f - l_{fr} \leq 1.0\text{m}$

Wenn diese drei Richtwerte nach SIA Norm 267/1, Abschnitt 7.2.3 eingehalten werden, darf in der Regel ein einwandfreier und kraftschlüssiger Verbund zwischen Anker und Baugrund als nachgewiesen betrachtet werden.

Mit dieser Beurteilung kann aber nicht direkt eine Aussage über die Tragreserven gemacht werden.

**Beurteilung
Qualität bzw.
Bestimmung
Tragreserve
nach EZP**

Beim neuen Prüfverfahren wird das Tragverhalten des Bauwerksankers mit einer gemäss 5 bestimmten Referenzkurve beurteilt. Mit diesem Verfahren ist es möglich, die Qualität und die Tragreserve eines Bauwerkankers abzuschätzen.

Die Tragreserve eines Bauwerkankers ist wie folgt definiert:

$$\text{Tragreserve } (n) = \frac{\text{mit Referenzkurve abgeschätzte Bruchkraft}}{\text{charakteristische Ankerkraft}}$$

Für die Beurteilung nach der erweiterten Zugprobe sind folgende drei Richtwerte massgebend:

Richtwert 1:	$n \geq 2.0$	→ erfüllt
Richtwert 2:	$1.35 \leq n < 2.0$	→ toleriert
Richtwert 3:	$n < 1.35$	→ ausserhalb Toleranzgrenze

Interpretation Richtwerte:

- Entspricht die Tragreserve dem Richtwert 1, gilt der Anker als einwandfrei. Ein kraftschlüssiger Verbund zwischen Anker und Baugrund ist gewährleistet.
- Entspricht die Tragreserve dem Richtwert 2, wird der Anker toleriert, sofern es sich um Einzelfälle handelt. Sind mehrere Bauwerksanker betroffen, sind Massnahmen zu prüfen.
- Entspricht die Tragreserve dem Richtwert 3, sind Massnahmen anzuordnen:
 1. Überprüfen der Messung (ev. Messung mit zwei unabhängigen Messeinrichtungen)
 2. Überprüfen Einzelfall oder Systemfehler → weiterer Bauwerksanker prüfen
 3. Entscheid Projektleitung zusammen mit Prüfenieur → Anker ersetzen und Ankerlänge anpassen.

Zusätzliches Kriterium, welches bei der Interpretation zu berücksichtigen ist:

- Versuchsverlauf → Kriechmass: Verschiebungszunahme Δl zwischen 5 und 15 Minuten (Kriechverformung)

Anhand eines theoretischen Beispiels werden drei Bauwerksanker V1, V2 und V3 von 4.0m mit einer charakteristischen Ankerlast von 91kN auf ihre Tragreserven untersucht. Nach der Richtlinie [2] ist die Ankerlänge für eine Gesamtsicherheit von 2 (Tragreserve $n = 2.0$) zu dimensionieren. Dies entspricht in unserem Fall einer Bruchkraft von 182kN. Die Gesamtsicherheit ≥ 2.0 (Tragreserve $n \geq 2.0$) ist erreicht, wenn die Kurve des untersuchten Bauwerksankers oberhalb der Referenzkurve mit einer Asymptote von 182kN zu liegen kommt.

In der nachfolgenden *Abbildung 6* sind zur Beurteilung der Tragreserven zwei Referenzkurven A und B und die drei Kurven V1, V2 und V3 von erweiterten Zugproben (Qualitätsprüfungen) dargestellt. Die Referenzkurve A steht für eine Tragreserve $n = 2.0$ und die Referenzkurven B für $n = 1.35$. Aus der *Abbildung 6* ist ersichtlich, dass der Bauwerksanker V1 erfüllt und der Bauwerksanker V2 innerhalb der Toleranzgrenze liegt. Der Bauwerksanker V3 erfüllt den Richtwert 3 nicht und liegt ausserhalb der Toleranzgrenze.

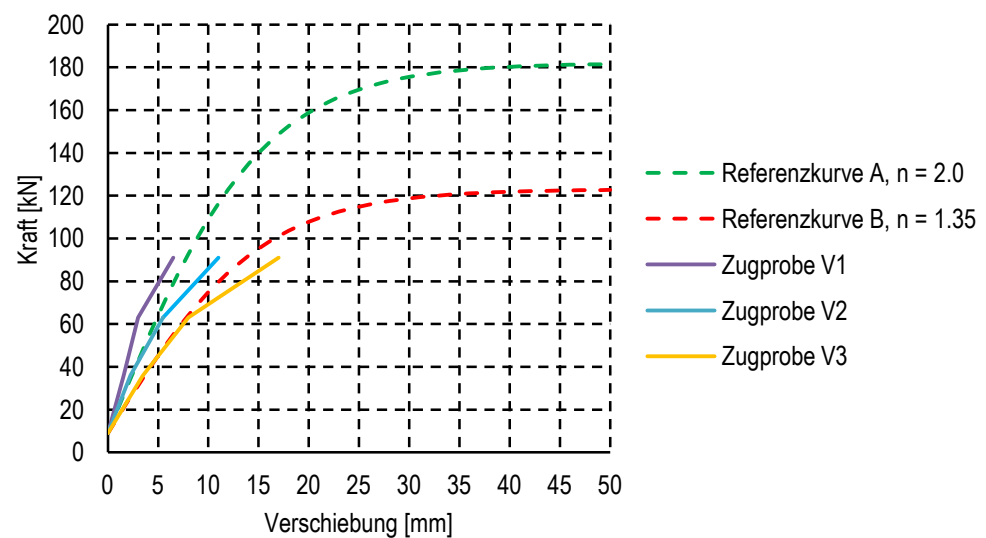


Abb. 6: Darstellung Tragreserven Bauwerksanker V1, V2 und V3

Die Parameter a, b, c, die Lasten sowie Tragreserven für die einzelnen Kurven sind in der *Tabelle 1* zusammengetragen.

Tab. 1: Übersicht Parameter, Lasten und Tragreserven

Kurve	Parameter			charakt. Ankerlast	Bruchlast	Tragreserve
	a	b	c			
A	9kN	173kN	0.0659		182kN	$n = 2.00$
B	9kN	114kN	0.0659		123kN	$n = 1.35$
V1	9kN			91kN		$n \geq 2.00$
V2	9kN			91kN		$n \geq 1.35$
V3	9kN			91kN		$n < 1.35$

8 Dokumentation

Dokumentation Daten und Parameter

Ziel der Dokumentation ist es, die gesammelten Daten und die daraus resultierenden Parameter einem bestimmten Bodentyp zuzuordnen. Folgende Angaben sind hierfür relevant:

- Allgemeine Projektangaben
- Angaben zur Bodenklassifikation nach Geologischer Karte und wenn möglich nach USCS-Bodenklassifikation
- Verbauungssystem (charakteristische Ankerkräfte)
- Ankertyp
- Ankerlänge
- Freie Ankerlänge
- Verformungen für mindestens drei Laststufen
- Parameter a, b, und c
- Bruchlast

Zusätzliche Angaben:

- Bohrverfahren / Leistungen
- Bohrdurchmesser
- Ankermörteltyp
- Injektionsverfahren (Mörtelpumpe / Druck)
- Abbindezeit Mörtel
- Typ Gewebesack / Strumpf
- Übersichtsplan Ankerprüfungen mit Bezeichnung Anker
- Bohrprotokolle

Grundsätzlich sind all diese Angaben Bestandteil eines vollständigen Prüfberichts. Der Prüfbericht ist projektspezifisch in der Dokumentation des ausgeführten Werkes zu archivieren.

Beilage A: Beispiel Lawinenverbauung Las Blais

- Ausgangslage** Im vorliegenden Beispiel wird anhand der Lawinenverbauung Las Blais, oberhalb Pontresina, im Kanton Graubünden, die konkrete Anwendung des neuen Prüfverfahrens erläutert. Die bestehende Stützverbauung Las Blais wird in den nächsten Jahren durch neue Stahlwerke ersetzt und ergänzt. Für die Dimensionierung der Ankerlängen hat die Projektleitung vor dem Baustart im Jahre 2011 Ausziehversuche angeordnet und für die Qualitätssicherung während der Ausführung periodische Zugproben durchgeführt. Im Beispiel werden die erweiterten Zugproben von 2012 und 2013 erläutert.
- Baugrund** Im Bereich des Projektperimeters besteht der Baugrund primär aus feinkörnigem Moränenmaterial. Vereinzelt ist mit einzelnen Blöcken (Findlingen mindestens 0.1m bis max. 1.0m Durchmesser) zu rechnen. Der Felshorizont liegt tendenziell tiefer als 6.0m ab OK Terrain.
- Verbauungstyp** Die neuen Stahlwerke vom Typ VA-BT 3.0/2.5/1.1 sind mit Zuganker und Mikropfahl verankert. Die charakteristischen Ankerkräfte lauten wie folgt:
- Bergseitiger Zuganker 91kN
 - Talseitiger Zuganker 46kN
 - Talseitiger Mikropfahl (Druckanker) 205kN
- Versuchsanker** Aufgrund der oberflächennahen Baugrundaufschlüsse hat die Projektleitung zusammen mit dem insgesamt acht Prüfungen Prüfingenieur im Bereich mit überwiegend Lockermaterial angeordnet. Die Anker wurden, mit je vier 4.0m und 6.0m Länge aus Swiss GEWI B500, mit einem Durchmesser von 32mm gewählt. Die Wahl der Ankerlängen basiert auf der Annahme, dass in diesem Boden mit einem äusseren Tragwiderstand $R_{a,k}$ von ca. 35 bis 55kN/m zu rechnen ist. Gebohrt wurden sämtliche Anker mit 105mm Durchmesser ohne Verrohrung. HATE-Strümpfe oder Gewebesäcke wurden keine eingesetzt. Die Bohr- und Injektionsarbeiten wurden durch den Prüfingenieur begleitet (Aufnahmen Bohrprotokolle). Detaillierte Bohrprotokolle sind entscheidend für die spätere Bestimmung und Interpretation einer Referenzkurve. Die Versuchsanker wurden ca. 90° zur Bodenoberfläche und mit einer freien Ankerlänge von 1.50m eingebaut.
- Ausziehversuche** Alle acht Versuchsanker wurden nach SIA Norm 267/1, Abschnitt 7.2.1 geprüft. Die Prüfkraft wurde zu 90% der Fließlast des Ankers angesetzt (364kN). Mit der Wahl von vier Laststufen, welche nach SIA Norm 267/1, Abschnitt 7.2.1 den Bereich bis zur Prüfkraft gleichmässig abdecken, lässt sich die Bruchlast anhand des Kraft-Verschiebungsdiagramms grob abschätzen, falls der Bruch im Versuch nicht erreicht wird.

Die Resultate sind in der *Tabelle A.1* zusammengestellt.

Tab. A.1: Übersicht Resultate Ausziehversuche

Versuch	Einbindetiefe Ankerlänge	Bruchlast	Charakt. äussere Tragwiderstände pro Laufmeter	Bodentyp
V1	5.90m	~325kN	55kN/m	2
V2	3.90m	~200kN	51kN/m	2
V3	5.90m	~450kN	76kN/m	2
V4	5.90m	~180kN	31kN/m	2
V5	3.90m	~175kN	45kN/m	2
V6	3.90m	~500kN	128kN/m	1

V7	3.90m	~570kN	146kN/m	1
V8	5.90m	~390kN	66kN/m	2
Mittelwert ohne Standardabweichung Boden Typ 2			54kN/m	2

Bodentyp 1: Lockergesteinsboden mit Blöcken >0.50m

Dem Bodentyp 1 wurden folgende Versuchsanker zugeordnet:
V6 und V7

Bodentyp 2: Lockergesteinsboden mit faustgrossen Blöcken und / oder mit sehr feinkörnigem Kiessand

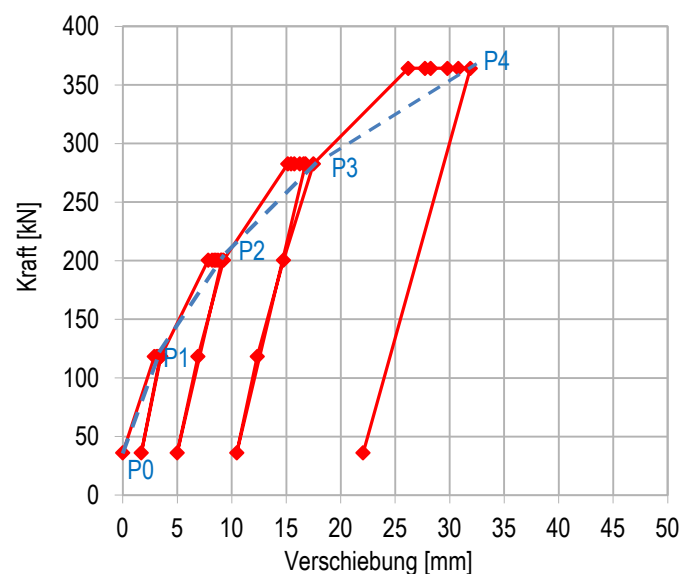
Dem Bodentyp 2 werden folgende Versuchsanker zugeordnet:
V1, V2, V3, V4, V5 und V8

Aufgrund der Resultate der Kraft-Verschiebungsdiagramme, Kriechdiagramme und den Bohrprotokollen wurden die Versuche V1 und V2 für die Ermittlung der Referenzkurve gewählt.

Folgende Kriterien waren entscheidend für die Wahl der Versuche V1 und V2:

- Beide Anker wurden dem schlechteren Bodentyp 2 zugeordnet (gemäss Angaben im Bohrprotokoll)
- Die Bruchlasten konnten anhand des Kraft-Verschiebungsdiagramms und des Kriechdiagramms bestimmt werden bzw. die Bruchlast wurde schon während dem Versuch erreicht (Kriechmass >2mm zwischen Laststufe 3 und 4)
- Die ermittelten Bruchlasten für die Versuche V1 und V2 liegen im Bereich des Mittelwerts für den Bodentyp 2.

Die Versuche V6 und V7 ergaben sehr hohe Tragwiderstände. Aufgrund der Kraft-Verschiebungsdiagramme ist anzunehmen, dass diese Anker (V6 und V7) in Blöcke eingebunden waren. Deshalb sind diese Anker nicht aussagekräftig für einen reinen Lockergesteinsboden (Bodentyp 2).



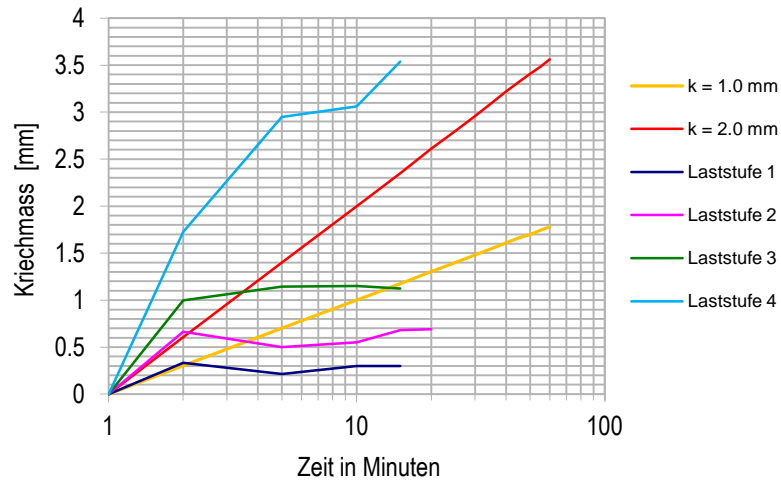


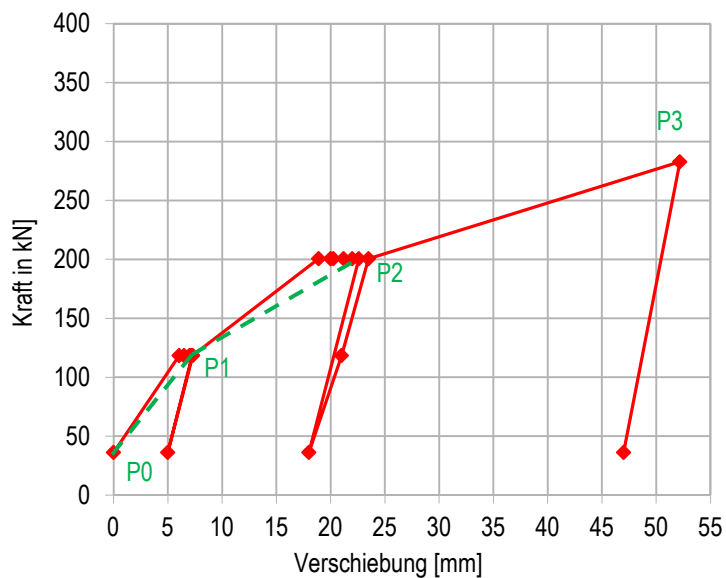
Abb. A.1: Kraft- Verschiebungsdiagramm und Kriechdiagramm von Versuch 1

Messpunkte für Referenzkurve

Für die Bestimmung einer Referenzkurve brauchen wir die Messpunkte P0 bis P4 mit den dazugehörigen Kraft- und Verschiebungswerten.

Tab. A.2: Zusammenstellung Messpunkte Versuch 1 und Versuch 2

Punkt	Versuch 1		Versuch 2	
	Kraft	Verschiebung	Kraft	Verschiebung
P0	36.2kN	0.00mm	36.2kN	0.00mm
P1	118.4kN	3.45mm	118.4kN	7.25mm
P2	200.6kN	9.10mm	200.6kN	22.60mm
P3	282.8kN	16.77mm	282.8kN	
P4	364.2kN	31.90mm	364.2kN	



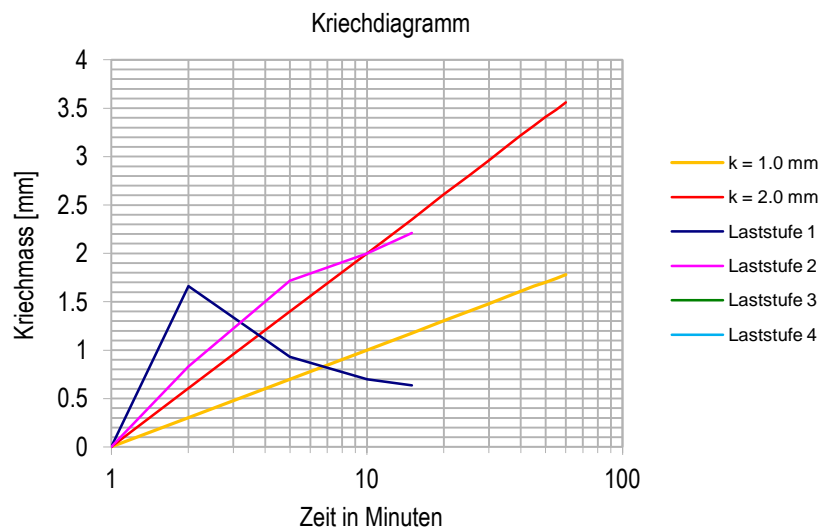


Abb. A.2: Kraft- Verschiebungsdiagramm und Kriechdiagramm von Versuch 2

Für den Versuch V2 wurde der Messpunkt P3 für die Referenzkurve nicht mehr berücksichtigt. Einerseits liegt der Bruch anhand des Kriechdiagramms nahe der Laststufe 2 (Kriechmass ~2mm) und andererseits konnte die Last von ca. 283kN beim Messpunkt P3 nur kurz gehalten werden und eine Verformungsmessung (Kriechverformung) war nicht mehr möglich. Durch die Berücksichtigung von P3 hätte man eine zu optimistische Referenzkurve erhalten. Des Weiteren zeigt das Beispiel mit dem Versuch V2, dass es möglich ist eine Referenzkurve mit nur drei Messpunkten zu bestimmen.

Eingabe im SCILAB

Nun erfolgt die Eingabe der einzelnen Messpunkte P0 bis P4 im SCILAB. Die Eingabeschritte sind im Detail in der *Beilage G* erläutert.

**Ausgabe im
SCILAB**

Als Ausgabe erhält man die Referenzkurve mit den dazu gehörenden Parametern a, b und c.

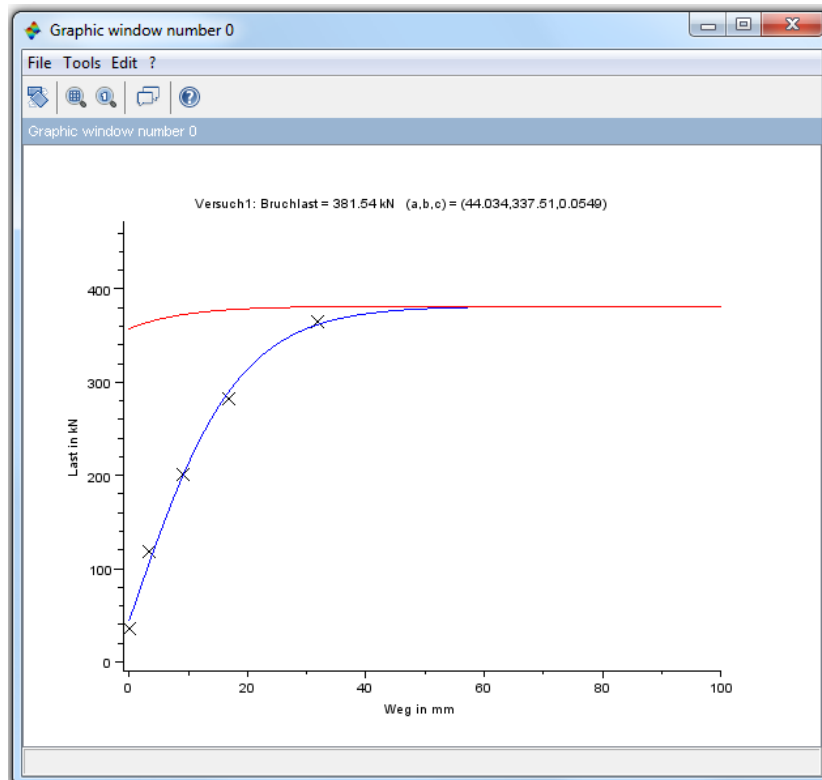


Abb. A.3: Referenzkurve für Versuch 1

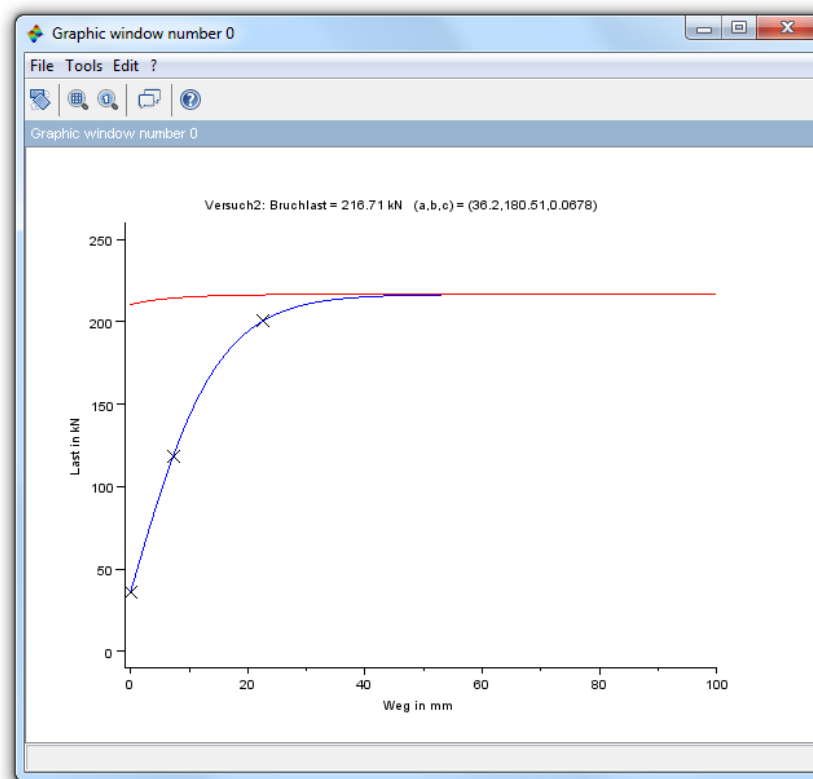


Abb. A.4: Referenzkurve für Versuch 2

Ausgabe Parameter

In der *Tabelle A.3* sind die Parameter a , b und c sowie die ermittelten Bruchlasten mit den dazugehörigen Ankerlängen zusammengefasst.

Tab. A.3: Übersicht Ankerlängen, Bruchlasten und Parameter

	Versuch 1	Versuch 2
Einbindetiefe / Ankerlänge	5.90m	3.90
Bruchlast	381.5kN	216.7kN
Parameter a	44.0kN	36.2kN
Parameter b	337.5kN	180.5kN
Parameter c	0.0549	0.0678

Mit den drei Parametern und der Funktion $y = a + b \cdot \tanh(c \cdot x)$ ist es nun möglich, die beiden Referenzkurven für Versuch 1 und Versuch 2 in einem Excel-File darzustellen und für verschiedene Anfangskräfte und Tragreserven anzupassen.

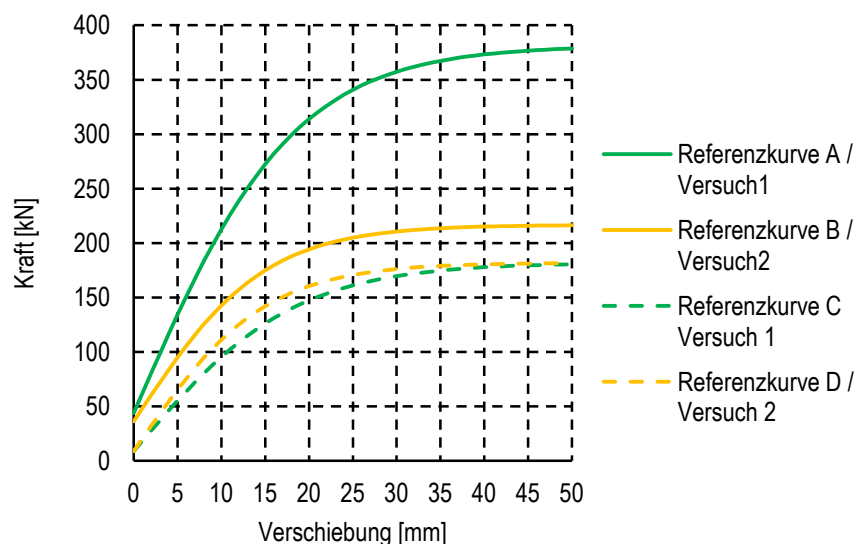


Abb. A.5: Referenzkurven A, B, C und D

Die *Abbildung A.5* zeigt die Referenzkurven A und B, welche aus der Ausgleichung im SCILAB ermittelt wurden. Für die Referenzkurven C und D wurden die Parameter a und b so verändert, dass für einen Anker mit einer charakteristischen Ankerlast (Angabe Werklieferant, Ankerkraft bergseitiger Zuganker) von 91kN eine Tragreserve von $n = 2$ gewährleistet ist. Dies entspricht einer Bruchkraft von 182kN.

Tab. A.4: Übersicht Parameter für die beiden modifizierten Referenzkurven

	Referenzkurve C	Referenzkurve D
Bruchkraft	182kN	182kN
Parameter a	9.0kN	9.0kN
Parameter b	173kN	173kN
Parameter c	0.0549	0.0678

Resultate Zugproben nach SIA 267

In den Jahren 2012 und 2013 wurden periodische Qualitätsprüfungen gemacht. Vier von den insgesamt neun Zugproben wurden im Oktober 2012 an der Werkreihe Nr. 8 durchgeführt. Fünf weitere Zugproben folgten im 2013 an der Werkreihe Nr. 10. Alle geprüften Bauwerksanker wurden anhand der Bohrprotokolle zusammen mit dem Projektleiter ausgewählt. Sämtliche neun Bauwerksanker sind gemäss Bohrprotokoll im Lockergesteinsboden eingebunden. Die Prüfkraft wurde in diesem Fall auf die charakteristische Ankerkraft von 91kN angesetzt.

Zum Vergleich betrachten wir zuerst die Resultate der Zugproben nach den Richtwerten gemäss SIA 267/1, Abschnitt 7.2.3. Die Resultate fallen für die einzelnen Richtwerte unterschiedlich aus.

Richtwert 1: Verschiebungszunahme Δl zwischen 5 und 15 Minuten muss $\leq 0.5\text{mm}$ sein

Richtwert 2: Die bleibende Verschiebung Δl_{bl} muss $\leq 5.0\text{mm}$ sein

Richtwert 3: Verbundlösung $l_f - l_{fr} \leq 1.0\text{m}$

Richtwerte farblich grün markiert sind erfüllt.

Richtwerte farblich rot markiert sind nicht erfüllt.

Die Resultate der durchgeführten Zugproben vom 4. Oktober 2012 und vom 21. August 2013 sind in der folgenden *Tabelle A.5* zusammengefasst:

Tab. A.5: Resultate Richtwerte 1 bis 3

Versuch Nr.	Position Anker	Ankerlänge	Prüfkraft	Richtwert 1	Richtwert 2	Richtwert 3
1. Serie: Qualitätsprüfungen vom 04. Oktober 2012						
V1	WR 8, Werk 4 Anker rechts	4.00m	91kN	0.15mm	3.50mm	2794mm
V2	WR 8, Werk 4 Anker links	4.00m	91kN	0.03mm	0.80mm	2473mm
V3	WR 8, Werk 3 Anker rechts	4.00m	91kN	0.10mm	2.53mm	2721mm
V4	WR 8, Werk 3 Anker links	4.00m	91kN	-0.14mm	0.16mm	2210mm
2. Serie: Qualitätsprüfungen vom 21. August 2013						
V1	WR 10, Werk 2 Anker rechts	4.00m	91kN	-0.02mm	1.17mm	1690mm
V2	WR 10, Werk 2 Anker links	4.00m	91kN	0.17mm	0.62mm	1943mm
V3	WR 10, Werk 1 Anker rechts	4.00m	91kN	0.48mm	6.81mm	3389mm
V4	WR 10, Werk 1 Anker links 2	4.00m	91kN	0.93mm	11.88mm	3885mm
V5	WR 10, Werk 1 Anker links 1	4.00m	91kN	-0.15mm	0.47mm	400mm

**Resultate
Erweiterte
Zugproben**

Nun betrachten wir die Resultate nach der neuen Methode. In der *Abbildung A.6* ist das Kraft-Verschiebungsdiagramm für den Versuch V4 (2013) aufgezeichnet. Diese graphische Darstellung ist für jede Zugprobe vorzunehmen.

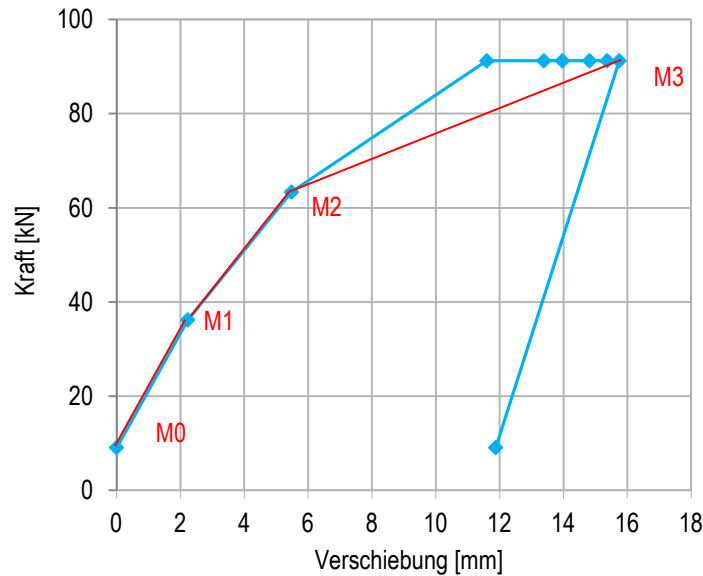


Abb. A.6: Kraft-Verschiebungsdiagramm für Versuch V4

Die Kraft und die Verschiebung (Kriechverformungen bis 15 Minuten) zum jeweiligen Zeitpunkt für den Versuch V4 (2014) sind in der *Tabelle A.6* aufgelistet. Die Messpunkte M0 bis M3 sind die gemessenen Verschiebungen nach 15 Minuten. In unserem Beispiel sind diese 0.00mm, 2.23mm, 5.48mm und 15.75mm. Es ist zu erkennen, dass auf den Laststufen 36kN und 63kN keine Kriechverformung stattgefunden hat.

Tab. A.6: Messwerte Qualitätsprüfung Versuch V4

Kraft in kN	Verschiebungen in mm					
	0	Zeit in Minuten				
		1	2	5	10	15
9.0	0					
36.0	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23	2.23
63.0	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48	5.48
91.0	11.60	13.39	13.97	14.82	15.37	15.75
9.0	11.88					

Wenn man die Messpunkte M0 bis M3 (orange eingefärbte Zellen) für jede einzelne Zugprobe bestimmt hat, werden diese in einer Grafik (*Abbildung 7*) mit der gewählten Referenzkurve verglichen. Durch die Anpassung der Bruchlast kann eine Aussage über die vorhandene Tragreserve jedes einzelnen Bauwerksankers gemacht werden.

In unserem Beispiel sind drei Referenzkurven C mit unterschiedlichen Tragreserven dargestellt. Alle Kurven, ausser für die Bauwerksanker V3 (2013) und V4 (2013), liegen oberhalb der Referenzkurve C mit einer Tragreserve von $n = 2.0$. Der Bauwerksanker V3 (2013) liegt knapp unterhalb. Deutlich schlechter ist der Bauwerksanker V4 (2013) mit einer Tragreserve von ca. $n = 1.4$ (vgl. Abbildung A.7).

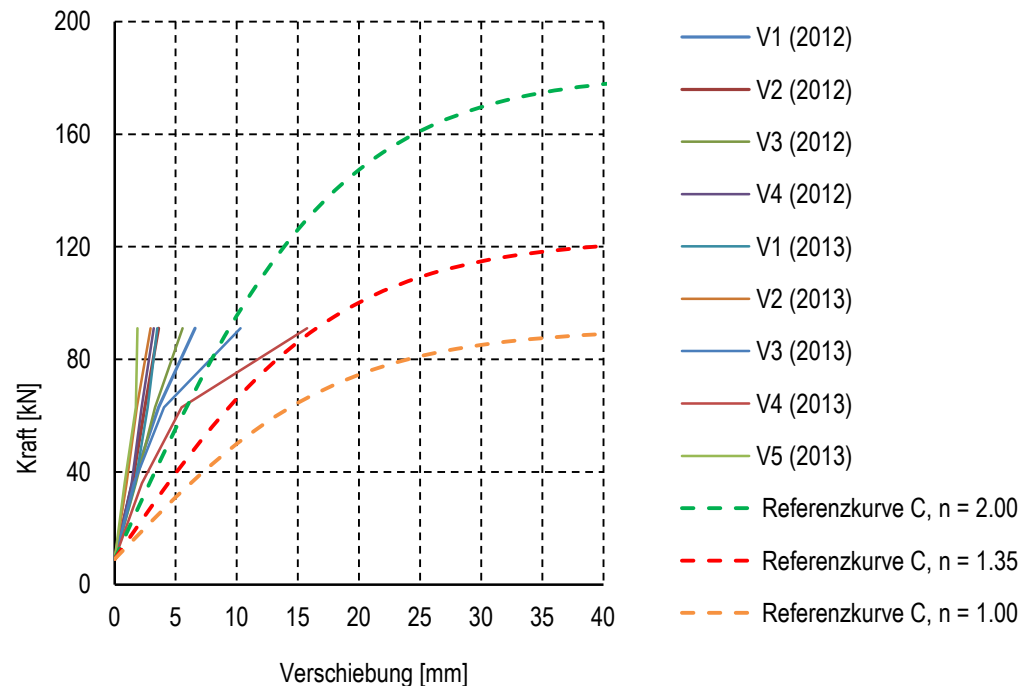


Abb. A.11: Vergleich Zugproben mit den Referenzkurven

Beurteilung / Interpretation

Für die Beurteilung nach der erweiterten Zugprobe sind folgende drei Richtwerte massgebend:

Richtwert 1:	$n \geq 2.0$	erfüllt
Richtwert 2:	$1.35 \leq n < 2.0$	toleriert
Richtwert 3:	$n < 1.35$	ausserhalb Toleranzgrenze

Alle erweiterten Zugproben erfüllen den Richtwert 1 oder liegen innerhalb der Toleranzgrenze (Richtwert 2). Ein kraftschlüssiger Verbund zwischen Anker und Baugrund mit der geforderten minimalen Tragreserve von 35% ist gewährleistet. Aufgrund der Resultate wird die ausgeführte Ankerlänge von 4.0m als ausreichend beurteilt. Eine Anpassung der Ankerlängen ist nicht vorzunehmen.

Beilage B: Beispiel Steinschlagschutzverbauung Scalascia

Ausgangslage Im vorliegenden Beispiel wird anhand der Steinschlagschutzverbauung Scalascia zwischen Le Prese und Miralago im Kanton Graubünden die konkrete Anwendung des neuen Prüfverfahrens erläutert. Die neuen Steinschlagnetze schützen die Kantonsstrasse sowie RhB und den Langsamverkehr auf einer Gesamtlänge von ca. 1380m. Für die Dimensionierung der Ankerlängen hat die Projektleitung vor dem Baustart im Jahre 2013 Ausziehversuche angeordnet. Zugproben wurden im Juli 2014 durchgeführt. Im Beispiel wird die Bestimmung von drei Referenzkurven für drei unterschiedliche Kategorien erläutert.

Baugrund Die oberste Schicht besteht aus Lockermaterial. Darunter befindet sich ein Mix aus Lockermaterial mit Blöcken unterschiedlicher Grössen. Das angetroffene Gestein erwies sich als hart und kompakt. Da es sich um Sturzgebiet handelt, ist davon auszugehen, dass viele Bauwerksanker durch Blöcke verlaufen. Ausserdem können im Perimeter grössere Klüfte auftreten.

Verbauungstyp Die neuen Netze vom Typ RXI 050 und RXI 100 sind mit Zuganker und Mikropfahl verankert. Die charakteristischen Ankerkräfte lauten wie folgt:

	RXI 050	RXI 100
• Bergseitiger Anker	70kN	140kN
• Seitlicher Abspannanker	170kN	230kN
• Talseitiger Anker	60kN	120kN
• Talseitiger Mikropfahl (Druckanker)	30kN	70kN

Versuchsanker Die Standorte der Versuchsanker wurden innerhalb des vorgesehenen Verbauungssperimeters festgelegt. Die Prüfanke wurden in Verbauungsabschnitte mit potentiell viel Lockermaterial gesetzt. Daraus resultierten drei unterschiedliche Standorte mit je vier Prüfanke. Man hat Ankerlängen zwischen 4.0m und 6.0m gewählt.

Alle Anker mussten verrohrt mit Durchmesser 114mm erstellt werden. Für alle Prüfanke wurden Spiralseilanker 18.5mm (Typ Geobrigg) verwendet. Als Bohrlochstützrohr wurde ein Streckmetallrohr mit Durchmesser 70mm eingesetzt. Ausser V5 und V6 wurden alle Versuchsanker mit einem HATE-Gewebestumpf mit Durchmesser 125mm eingebaut. Die Prüfanke wurden ca. 90° zur Bodenoberfläche und mit einer freien Ankerlänge von 1.00m eingebaut. Alle Anker wurden mit Ankermörtel Röfix 995 injiziert. Die Abbindezeit des Ankermörtels betrug >28 Tage.

Ausziehversuche 11 von 12 Prüfkankern wurden nach SIA Norm 267/1, Abschnitt 7.2.1 geprüft. Ein Prüfkanker konnte aufgrund der örtlichen Gegebenheiten nicht geprüft werden. Die Prüfkraft wurde auf 287kN festgelegt. Mit der Wahl von vier Laststufen, welche nach SIA Norm 267/1, Abschnitt 7.2.1 den Bereich bis zur Prüfkraft gleichmässig abdecken, lässt sich die Bruchlast anhand des Kraft-Verschiebungsdiagramms grob abschätzen, falls der Bruch im Versuch nicht erreicht wird (Bruchlasten mit Index [d]).

Die Resultate sind in der *Tabelle B.1* zusammengestellt.

Tab. B1: Übersicht Resultate Ausziehversuche

Versuch	Einbindetiefe/ Ankerlänge	Bruchlast	Charakt. äussere Tragwiderstände R_{ak} pro Laufmeter	Kategorie
V1	4.00m	~480kN ^[d]	120kN/m	2
V2	6.00m	~390kN ^[d]	65kN/m	2
V3	4.00m	~380kN ^[d]	95kN/m	2
V4	6.00m	~460kN ^[d]	77kN/m	2
V5	6.00m	~440kN ^[d]	73kN/m	3
V6	4.00m	~420kN ^[d]	105kN/m	3
V7	4.00m	~140kN	35kN/m	1
V8	4.00m	~250kN	63kN/m	2
V9	4.00m	~105kN	26kN/m	1
V10	4.00m	~215kN	54kN/m	2
V11	4.00m	~150kN	38kN/m	1
Bandbreite äusserer Tragwiderstand R_{ak} Kat. 1			26kN/m bis 38kN/m	1
Bandbreite äusserer Tragwiderstand R_{ak} Kat. 2			54kN/m bis 120kN/m	2
Bandbreite äusserer Tragwiderstand R_{ak} Kat. 3			73kN/m bis 105kN/m	3

Die Versuche haben ganz unterschiedliche Resultate geliefert. Man stellt fest, dass die Kategorie 1 verglichen mit den Kategorien 2 und 3 deutlich tiefere, äussere Tragwiderstände aufweist und die Bandbreite geringer ist. Hier sind die Unterschiede zwischen den Kategorien nicht mehr nur auf den Bodentyp, sondern auch auf den Einsatz von HATE-Strümpfen zurückzuführen. Deshalb sprechen wir nicht mehr von Bodentypen, sondern von Kategorien.

Kategorie 1: nur Lockergesteinsboden **mit** HATE-Strumpf.

Kategorie 2: Lockergesteinsboden und Blöcke **mit** HATE-Strumpf

Kategorie 3: Lockergesteinsboden und Blöcke **ohne** HATE-Strumpf

Das Beispiel zeigt den Einfluss von HATE-Strümpfen in unterschiedlichen Bodentypen.

Aufgrund der Resultate hat man für alle drei Kategorien je eine eigene Referenzkurve zu bestimmen. Für die Bestimmung der Referenzkurve haben wir den Versuch mit dem kleinsten Tragwiderstand der jeweiligen Kategorie gewählt.

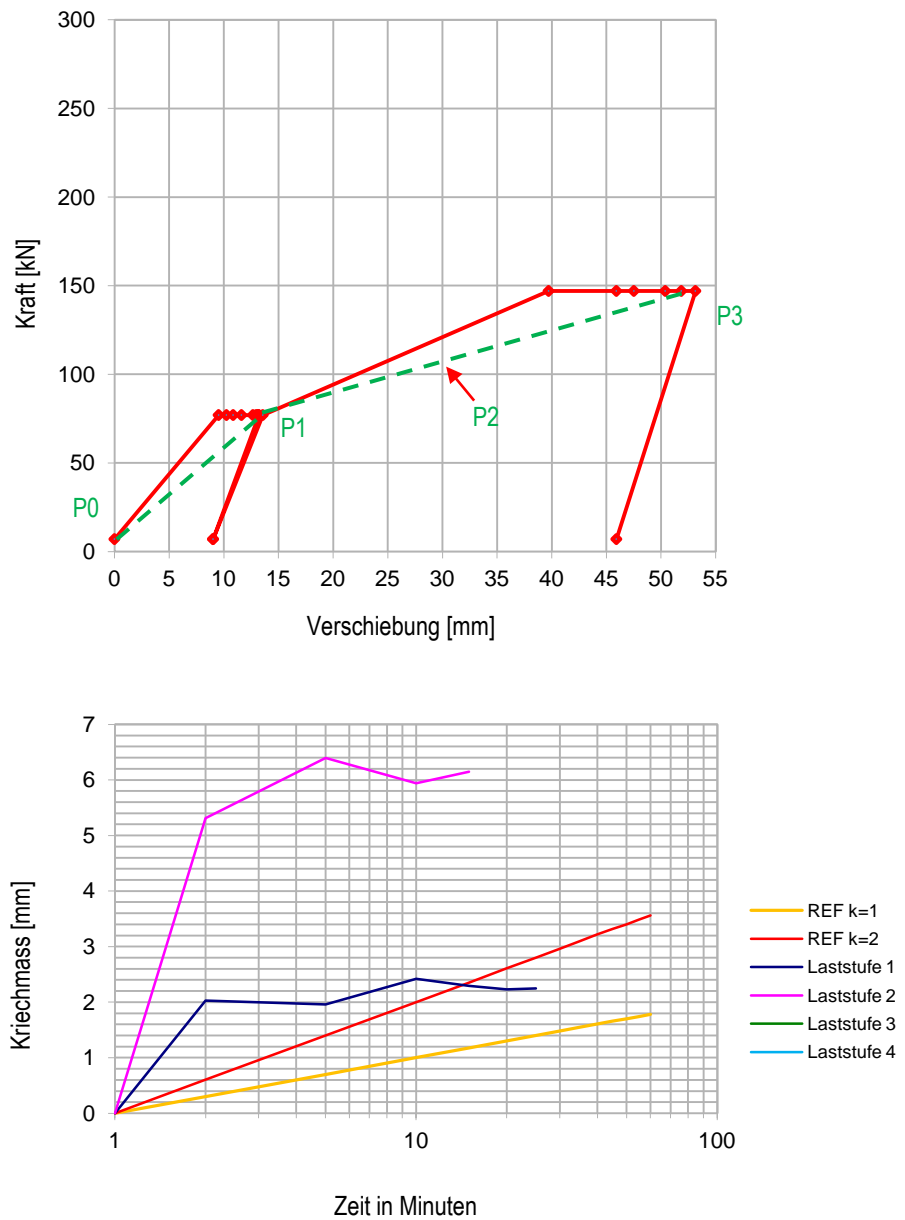


Abb. B.1: Kraft-Verschiebungsdiagramm und Kriechdiagramm von Versuch V9

Tab. B.2: Zusammenstellung Messpunkte Versuch V9

Punkt	Versuch V9 / Kategorie 1	
	Kraft	Verformungen
P0	7.0kN	0.00mm
P1	77.0kN	13.22mm
P2	110.0kN	30.00mm
P3	147.0kN	-

Die Berücksichtigung von P3 hätte eine zu optimistische Referenzkurve ergeben.

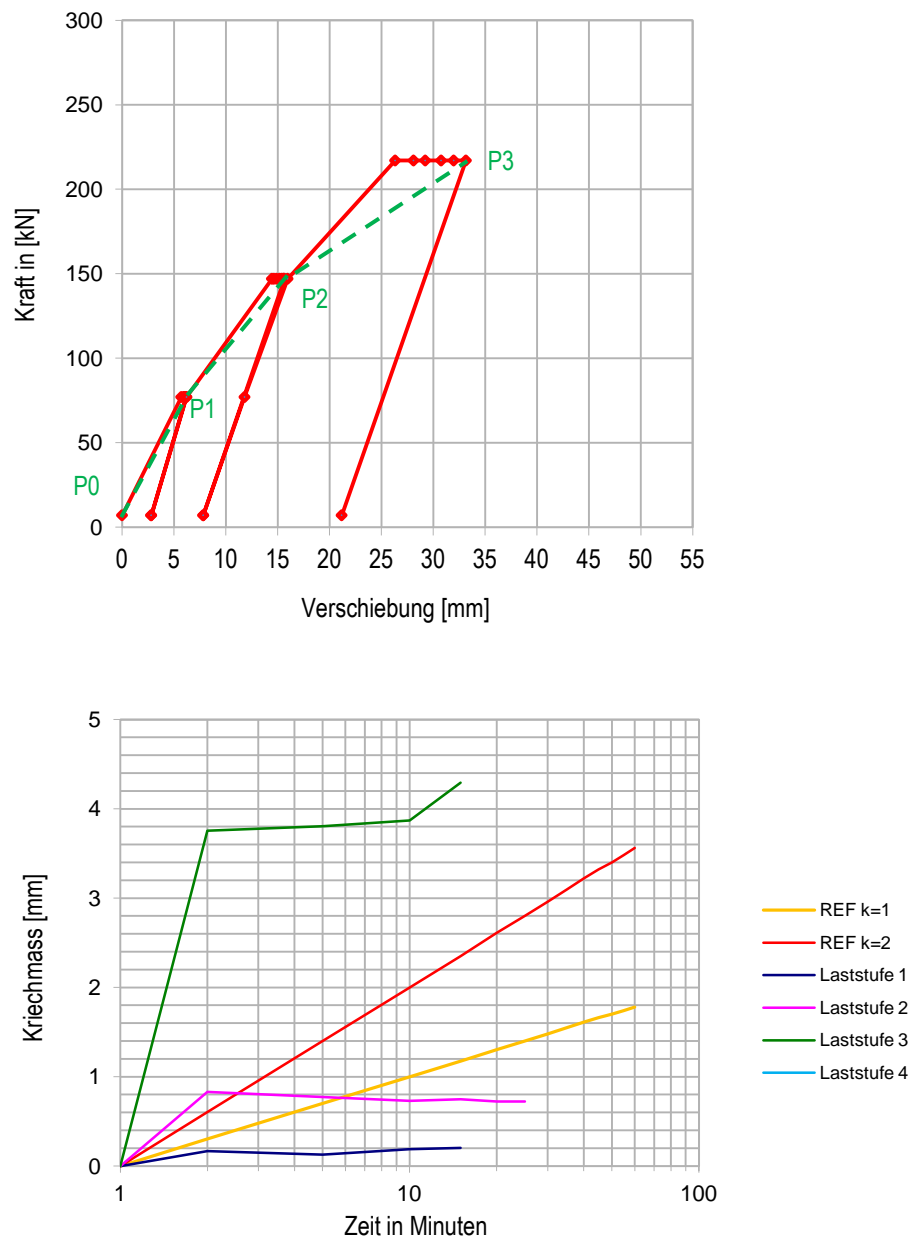


Abb. B.2: Kraft-Verschiebungsdiagramm und Kriechdiagramm von Versuch V10

Tab. B.3: Zusammenstellung Messpunkte Versuch V10

Punkt	Versuch V10 / Kategorie 2	
	Kraft	Verformungen
P0	7.0kN	0.00mm
P1	77.0kN	6.18mm
P2	147.0kN	15.65mm
P3	217.0kN	33.15mm

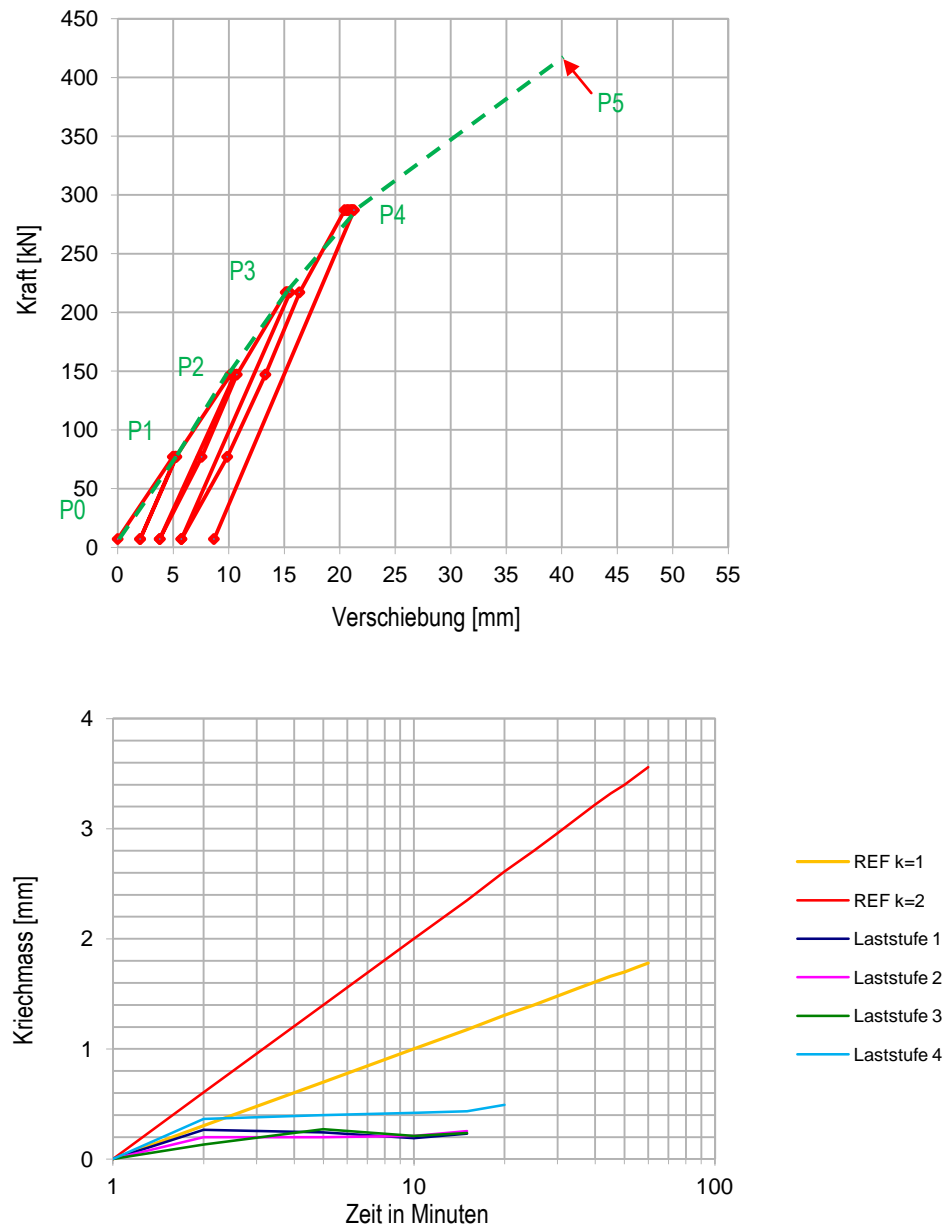


Abb. B.3: Kraft-Verschiebungsdiagramm und Kriechdiagramm von Versuch V5

Tab. B.4: Zusammenstellung Messpunkte Versuch V5

Punkt	Versuch V5 / Kategorie 3	
	Kraft	Verformungen
P0	7.0kN	0.00mm
P1	77.0kN	5.29mm
P2	147.0kN	10.54mm
P3	217.0kN	15.51mm
P4	287.0kN	21.29mm
P5	410.0kN	40.00mm

Eingabe im SCILAB

Durch Eingabe der einzelnen Messpunkte aus den Ausziehversuchen kann SCILAB die Referenzkurve nach Gauss berechnen. Die Eingabeschritte sind im Detail in der *Beilage G* erläutert.

Ausgabe Parameter

In der *Tabelle B.5* sind die Parameter a, b und c sowie die ermittelten Bruchlasten mit den dazugehörigen Ankerlängen zusammengefasst.

Tab. B.5: Übersicht Ankerlängen, Bruchlasten und Parameter

	Versuch V9	Versuch V10	Versuch V5
Einbindetiefe / Ankerlänge	4.00m	4.00	6.00
Bruchlast	109.5kN	236.4 kN	411kN
Parameter a	7.1kN	9.1kN	0.5kN
Parameter b	102.4kN	227.3kN	410.5kN
Parameter c	0.0631	0.0463	0.0379

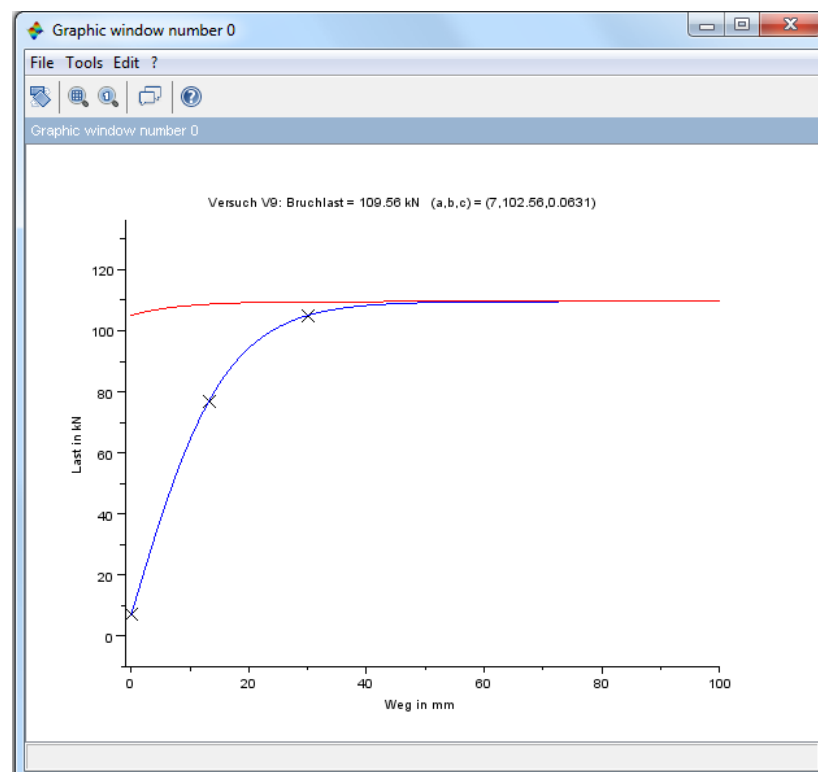


Abb. B.4: Referenzkurve für Versuch V9

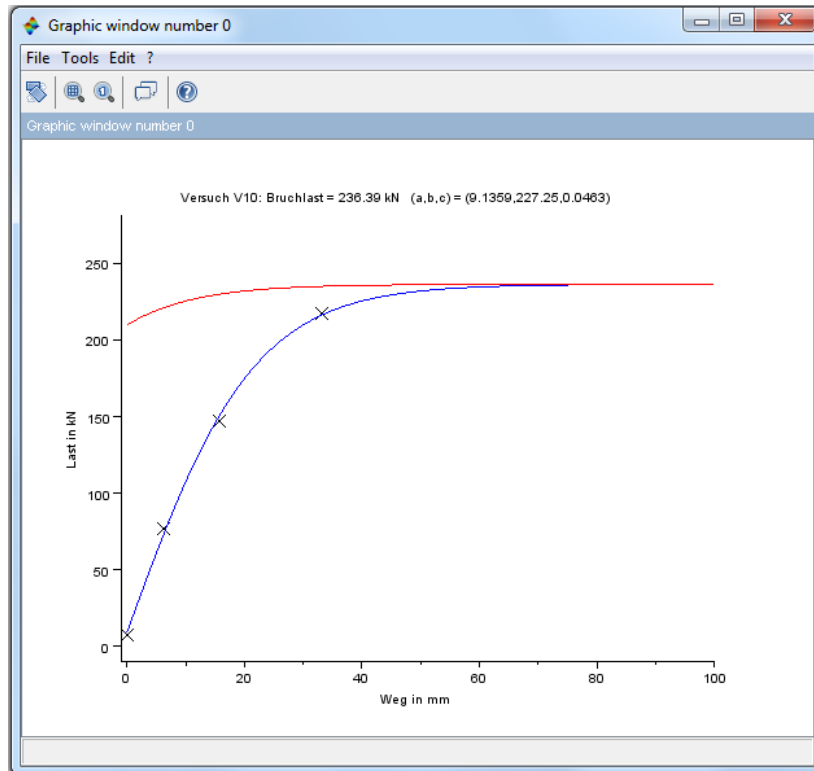


Abb. B.5: Referenzkurve für Versuch V10

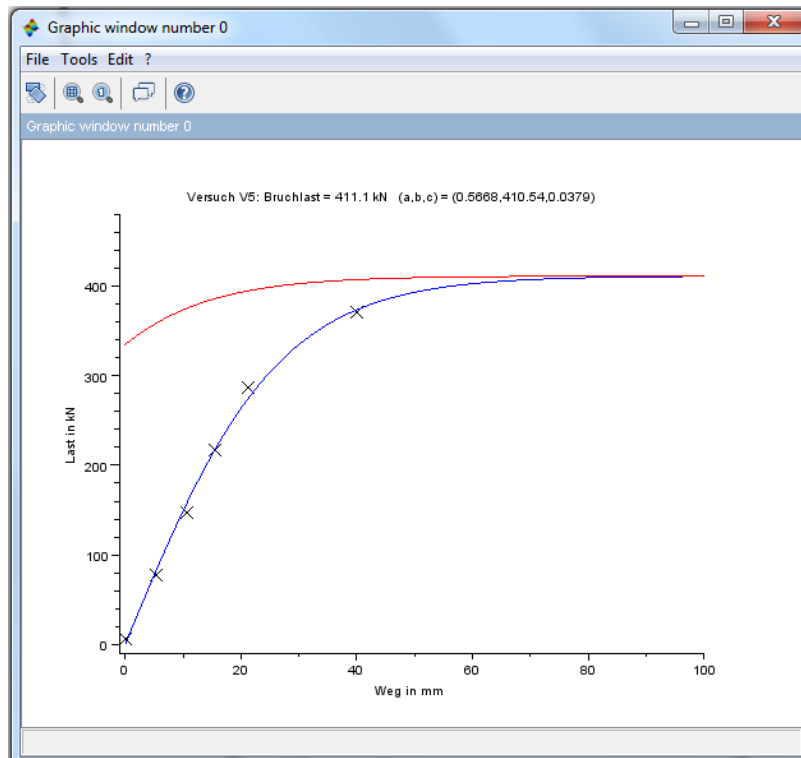


Abb. B.6: Referenzkurve für Versuch V5

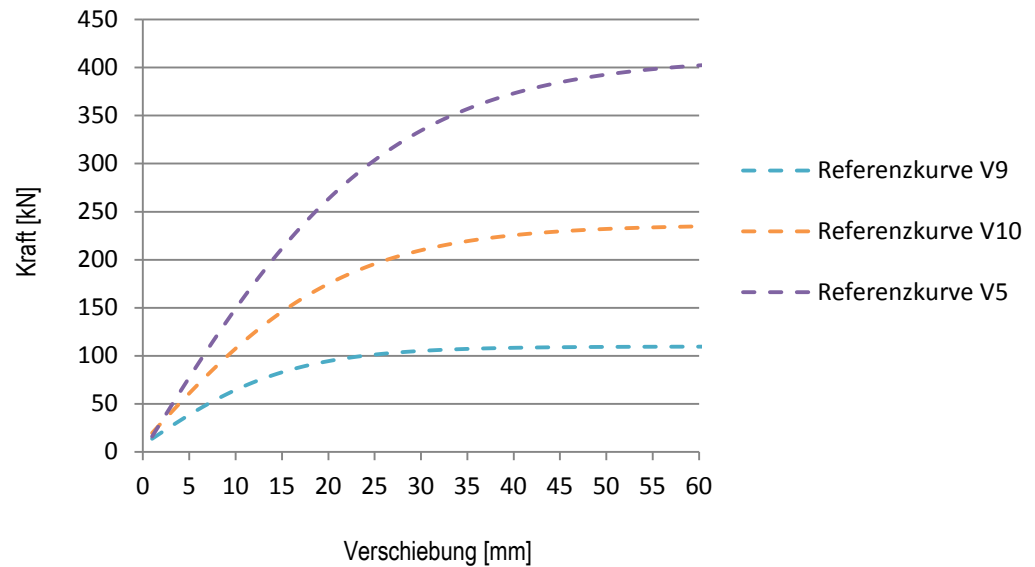


Abb. B.7: Referenzkurven V5, V9, V10

Beurteilung Referenzkurven

Die oben in *Abbildung B.7* dargestellten Referenzkurven zeigen das typische Tragverhalten der unterschiedlichen Kategorien. Der Einfluss von Blöcken (V10) ist im Vergleich mit einem reinem Lockergesteinsboden (V9) deutlich erkennbar. Beide Bauwerksanker V10 und V9 sind 4.0m lang und wurden mit einem HATE-Strumpf eingebaut.

Die erkennbar höhere Bruchkraft für V5, gegenüber V10, ist auf die grössere Ankerlänge von 6.0m und den Einbau ohne HATE-Strumpf zurückzuführen.

- Für die Dimensionierung der Ankerlängen wurde für 90% aller Bauwerksanker der kleinste charakteristische äussere Tragwiderstand der Kategorie 2 (entspricht der Referenzkurve V10) und 10% der Kategorie 1 (entspricht der Referenzkurve V9) eingesetzt.
- Weiter wurde empfohlen, in reinem Lockergesteinsboden den Einsatz von HATE-Strümpfen auf ein Minimum zu reduzieren oder ganz wegzulassen.

**Resultate
Zugproben nach
SIA 267**

Die Prüfkraft wurde in diesem Fall auf die charakteristische Ankerkraft von 70kN angesetzt.

Richtwert 1: Verschiebungszunahme Δl zwischen 5 und 15 Minuten muss $\leq 0.5\text{mm}$ sein

Richtwert 2: Die bleibende Verschiebung Δl_{bl} muss $\leq 5.0\text{mm}$ sein

Richtwert 3: Verbundlösung $l_f - l_{fr} \leq 1.0\text{m}$

Richtwerte farblich grün markiert sind erfüllt.

Richtwerte farblich rot markiert sind nicht erfüllt.

Die Resultate der durchgeführten Zugproben vom 26. Juni 2014 in der folgenden *Tabelle A.5* zusammengefasst:

Tab. B.6: Resultate Richtwerte 1 bis 3

Versuch Nr.	Position Anker	Ankerlänge	Prüfkraft	Richtwert 1	Richtwert 2	Richtwert 3
1. Serie: Qualitätsprüfungen vom 26. Juni 2014						
V1	WR 17, Anker Nr. 24	6.50m	70kN	0.09mm	2.39mm	557mm
V2	WR 17, Anker Nr. 18	6.50m	70kN	-0.04mm	0.98mm	1336mm
V3	WR 17, Anker Nr. 9	6.50m	70kN	0.11mm	1.34mm	1796mm

Resultate Erweiterte Zugproben

Wie im Beispiel Lawinenverbauung Las Blais erläutert, ist vorgängig die graphische Darstellung jeder Zugprobe vorzunehmen. Die geprüften Bauwerksanker aus der Etappe 2013 wurden mit der Referenzkurve V9 der Kategorie 1 bemessen. Alle drei geprüften Anker wurden gemäss Bohrprotokoll in einem Lockergesteinsboden ohne Blöcke eingebaut. Deshalb wurde die Beurteilung der Tragreserve mit der Referenzkurve V9 gemacht.

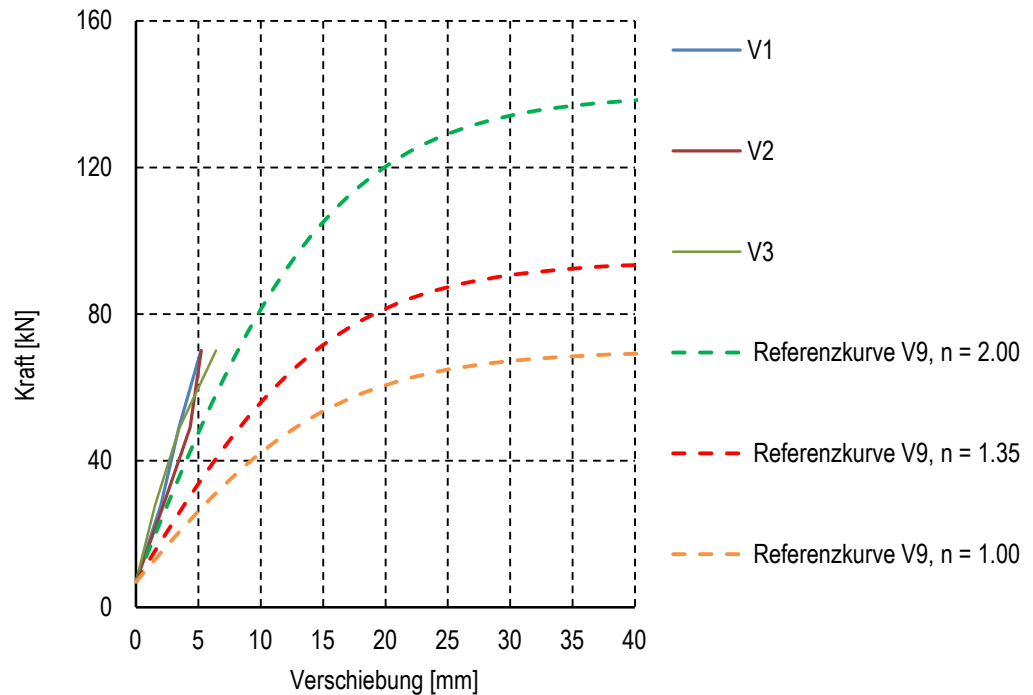


Abb. B.8: Vergleich Zugproben mit den Referenzkurven

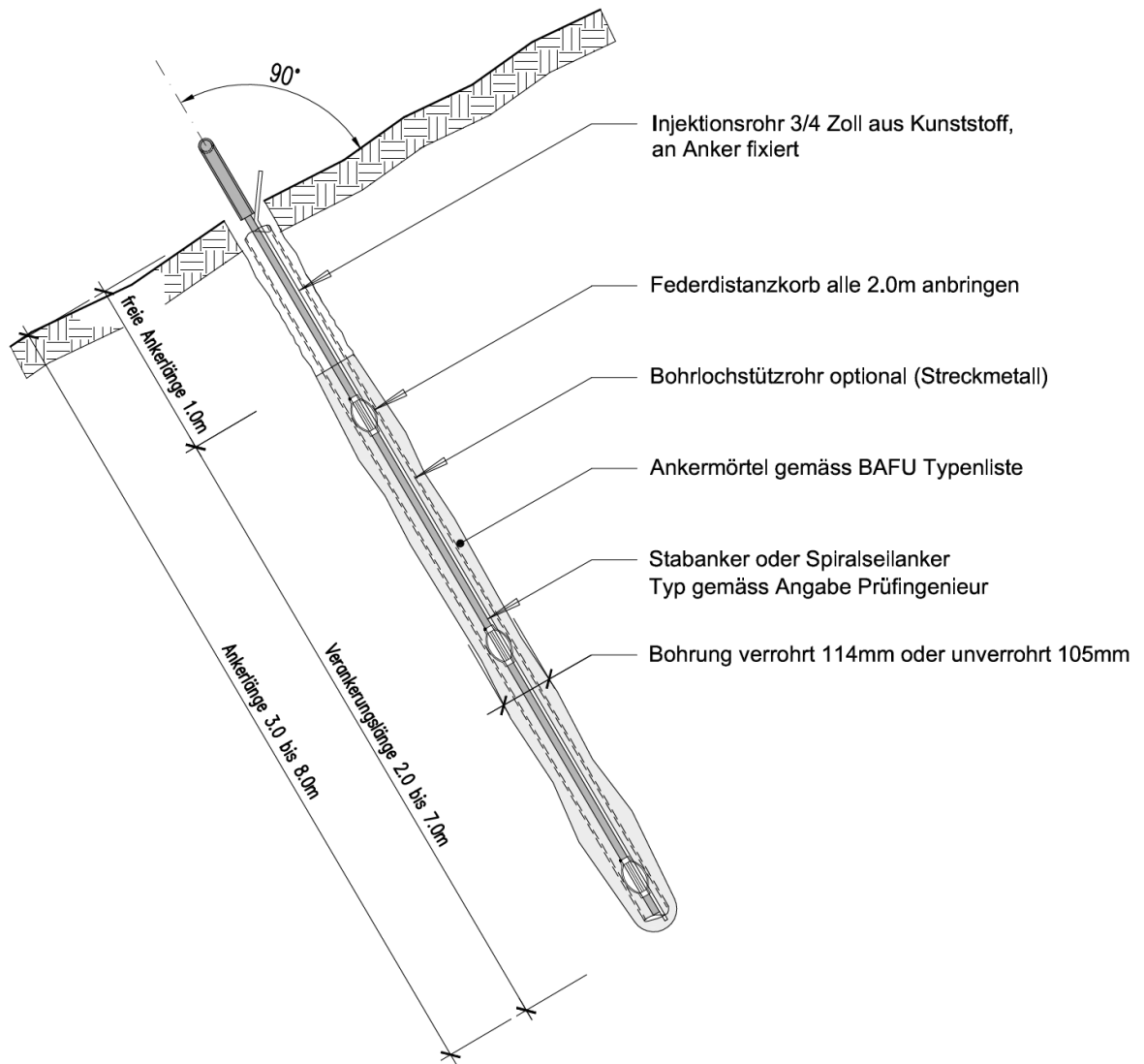
Beurteilung / Interpretation

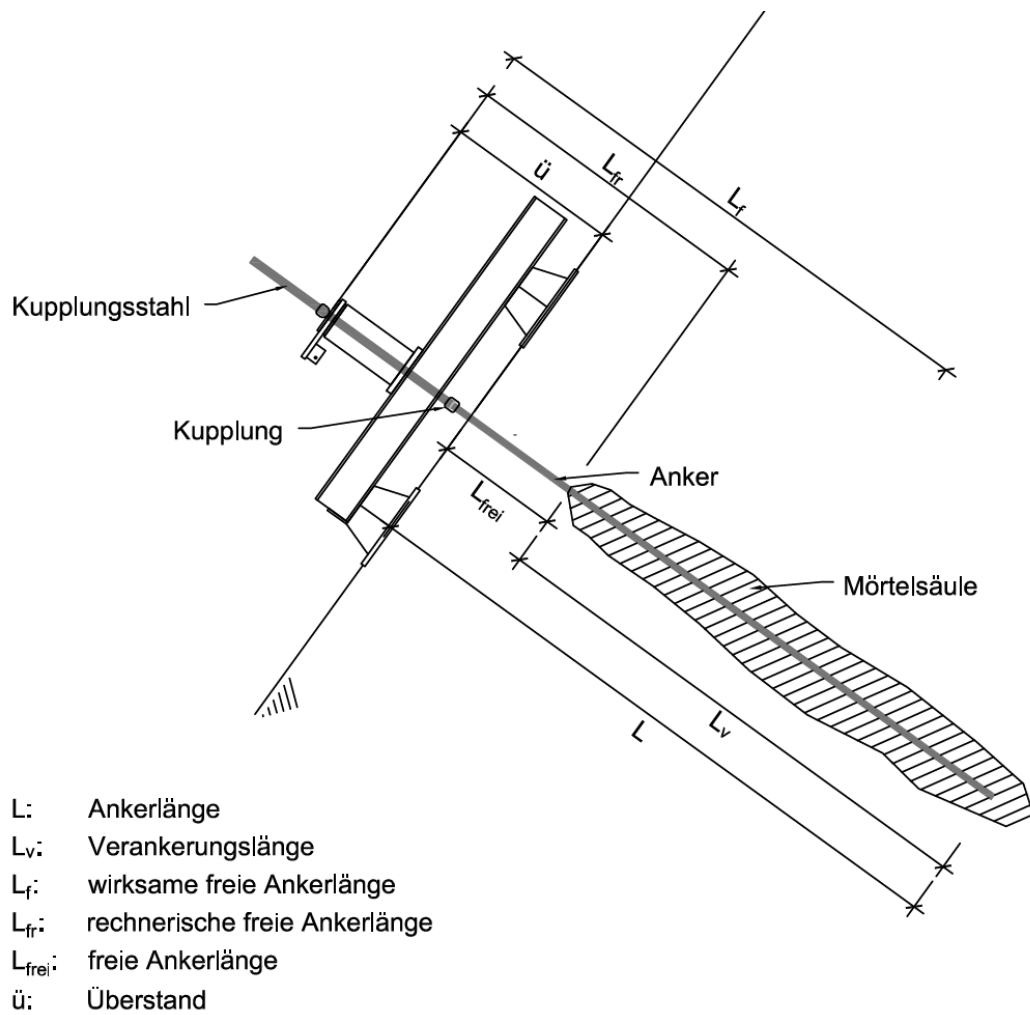
Für die Beurteilung nach der erweiterten Zugprobe sind folgende drei Richtwerte massgebend:

Richtwert 1:	$n \geq 2.0$	erfüllt
Richtwert 2:	$1.35 \leq n < 2.0$	toleriert
Richtwert 3:	$n < 1.35$	ausserhalb Toleranzgrenze

Alle erweiterten Zugproben erfüllen den Richtwert 1. Ein kraftschlüssiger Verbund zwischen Anker und Baugrund mit der geforderten minimalen Tragreserve von 35% ist gewährleistet.

Aufgrund der Resultate ist die ausgeführte Ankerlänge von 6.5m mehr als ausreichend. Dies ist vermutlich auf das Weglassen der HATE-Strümpfe zurückzuführen.

Beilage C: Einbauschema Versuchsanker

Beilage D: Schema Prüfeinrichtung

Beilage E: Vorlage Feldprotokoll Ausziehversuche (4 Laststufen)

Versuch Nr:... / Anker-Nr:... / Ausziehversuch nach SIA 267/1

Datum:
 Objekt:

Ankertyp:
 Ankerlänge [m]:
 Freie Länge [m]:
 Überstand [mm]:

Ankerdurchmesser
 Elastizitätsmodul [kN/mm²]:
 Querschnitt [mm²]:
 Fließlast [kN]:

Prüfzylinder:
 Umrechnungsfaktor Last/Druck in kN/bar:

Anker Nr:						
Zeit	Druck	Verschiebung	Differenz	Kraft	Kriechmass	Bedingungen
[min]	[bar]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	
0						
0						
1						
2						
5						B1: 0.20
10						
15						B2: 0.20
20						
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						
60						
0						
Zeit	Druck	Verschiebung	Differenz	Kraft		Bedingungen
[min]	[bar]	[mm]	[mm]	[kN]		
0						
0						
0						
1						
2						
5						B1: 0.20
10						
15						B2: 0.20
20						
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						
60						
0						

Zeit	Druck	Verschiebung	Differenz	Kraft	Kriechmass	Bedingungen
[min]	[bar]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	
0						
0						
0						
0						
1						
2						
5						B1: 0.20
10						
15						B2: 0.20
20						
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						
60						
0						
Zeit	Druck	Verschiebung	Differenz	Kraft	Kriechmass	Bedingungen
[min]	[bar]	[mm]	[mm]	[kN]	[mm]	
0						
0						
0						
0						
0						
1						
2						
5						B1: 0.20
10						
15						B2: 0.20
20						
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						
60						
0						

Bedingung 1: $\Delta l_{t=5} - \Delta l_{t=2} \leq 0.2 \text{ mm}$

Kriechmass $k = (l_{t_i} - l_{t_{i-1}}) / \log(t_i / t_{i-1})$

Bedingung 2: $\Delta l_{t=15} - \Delta l_{t=5} \leq 0.2 \text{ mm}$

Beilage F: Vorlage Feldprotokoll "Erweiterte Zugproben"

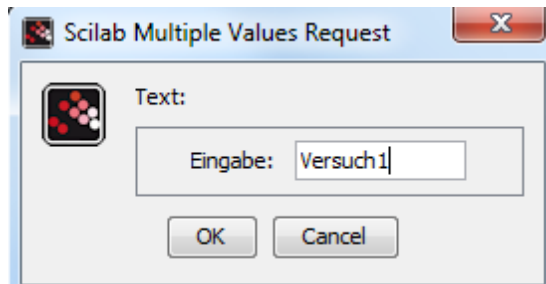
Versuch Nummer / Erweiterte Zugprobe						
1. Basisdaten						
Datum						
Ort						
Ankernummer / Position des Ankers						
Typ						
Bohrsystem						
Bohrdurchmesser [mm]						
Ankerlänge L [m]						
Freie Ankerlänge L_{frei} [m]						
Überstand ab Terrain \ddot{u} [mm]						
Querschnittsfläche A [mm ²]						
Elastizitätsmodul E [kN/mm ²]						
Bodeneigenschaften						
Mörtel						
Abbindezeit in Tagen						
Laschendehnung [mm]						
2. Daten der Prüfvorrichtung						
Druckzylinder						
Faktor Kraft/Druck in kN/bar						
Druckaufnehmer						
Ablesegenauigkeit in Mpa						
Datum der letzten Kalibrierung						
Weggeber						
Ablesegenauigkeit in mm						
Datum der letzten Kalibrierung						
3. Vorgaben des Auftraggebers						
Prüfkraft F_p in kN		Verlangt:		Erreicht:		
4. Vorgaben nach 267/1, Kapitel 7.1.4						
Laststufen:	Druck an der Pumpe [bar]		Kraft am Anker [kN]			
	Soll	Effektiv	Soll	Effektiv		
Anfangskraft F_a in kN ($F_a = 0.1 * F_p$, Dauer = 0 Minuten):						
Zwischenkraft F_1 in kN ($F_1 = 0.4 * F_p$, Dauer = 15 Minuten):						
Zwischenkraft F_2 in kN ($F_2 = 0.7 * F_p$, Dauer = 15 Minuten):						
Prüfkraft F_p in kN (Dauer = 15 Minuten):						
5. Messungen						
	Verschiebungen in mm					
	Zeit in Minuten					
Kraft in kN / Manometerdruck in bar	0	1	2	5	10	15
..... /	0					
..... /						
..... /						
..... /						
..... /						

Beilage G: Eingabe SCILAB

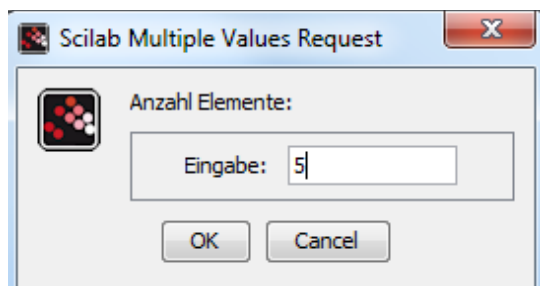
Eingabe im SCILAB

Mit den bestimmten Rohdaten aus den Ausziehversuchen (Messpunkte P0 bis P4) kann SCILAB die Referenzkurve nach Gauss berechnen.

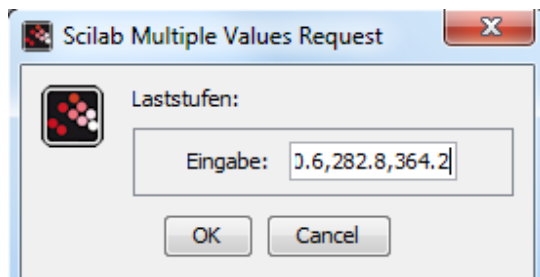
Schritt 1: Als erstes muss mit der Texteingabe die Referenzkurve klar definiert werden. Im vorliegenden Beispiel verwenden wir die Rohdaten des Versuchs 1. Mit dieser Bezeichnung ist es jeder Zeit möglich den Ursprung dieser Referenzkurve zu kennen.



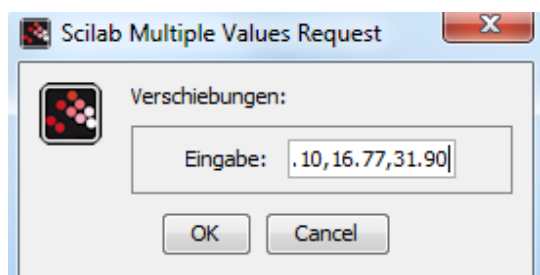
Schritt 2: Je nach Anzahl der erhaltenen Messpunkte P sind diese im Eingabefeld „Anzahl Elemente“ einzutragen. In unserem Beispiel sind dies 5.

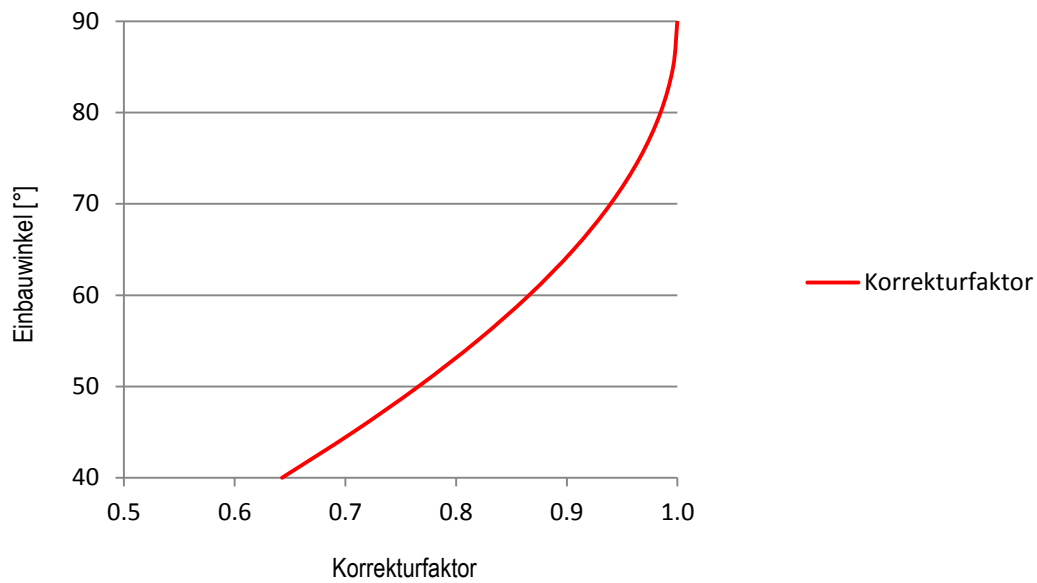


Schritt 3: Als nächster Schritt sind die fünf Laststufen einzutragen, wobei die Trennung mit einem Komma ohne Zwischenabstand erfolgt.



Schritt 4: Als letzter Schritt sind die fünf Verformungen einzusetzen. Die Trennung der einzelnen Verformungen erfolgt auf die selbe Weise wie für die Laststufen.



Beilage H: Korrekturfaktor Einbauwinkel

Einbauwinkel [°]	Korrekturfaktor [-]
90	1.000
85	0.996
80	0.985
75	0.966
70	0.940
65	0.906
60	0.866
55	0.819
50	0.766
45	0.707
40	0.643