



**FUNDATIONSSYSTEM**

**BODENSCHRAUBEN AUS FEUERVERZINKTEM STAHL**

**PRÜFKONZEPT**

DBVU  
Abteilung Tiefbau  
Realisierung  
Entfelderstrasse 22  
5001 Aarau

10. September 2018

**Änderungsverzeichnis**

| Rev. | Projektverfasser |       |       | Auftraggeber |      |       | Bemerkungen |
|------|------------------|-------|-------|--------------|------|-------|-------------|
|      | Datum            | Name  | Visum | Datum        | Name | Visum |             |
| A    | 25.06.2018       | Morri | mo    |              |      |       |             |
| B    | 10.09.2018       | Morri | mo    |              |      |       |             |
|      |                  |       |       |              |      |       |             |

## INHALTSVERZEICHNIS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG</b>               | <b>3</b>  |
| 1.1. Ausgangslage / Auftrag                        | 3         |
| 1.2. Grundlagen                                    | 4         |
| <b>2. ALLGEMEINES</b>                              | <b>5</b>  |
| <b>3. BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE</b>                      | <b>7</b>  |
| <b>4. BELASTUNGSVERSUCHE</b>                       | <b>8</b>  |
| 4.1. Ablauf  | 8         |
| 4.2. Ziel der Messung / Versuchsaufbau / Prüfkraft | 8         |
| 4.3. Standardisierte Bezeichnungen                 | 11        |
| 4.4. Belastungsprogramm                            | 11        |
| 4.5. Beurteilung und Auswertung der Messergebnisse | 13        |
| <b>5. QUALITÄTSPRÜFUNGEN (ZUGVERSUCHE)</b>         | <b>15</b> |
| 5.1. Prüfkraft und Belastungsprogramm              | 15        |
| 5.2. Darstellung und Auswertung der Messergebnisse | 16        |
| <b>6. QUERZUGBEANSPRUCHUNG VON BODENSCHRAUBEN</b>  | <b>17</b> |

## 1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

### 1.1. Ausgangslage / Auftrag

Zur Fundation von Lärmschutzwänden kommt vielfach die Flach- oder die Pfahlfundation zum Einsatz. Als Alternative hierzu hat die Abteilung Tiefbau des Kantons Aargau ein Fundationssystem der Fa. Krinner GmbH getestet und für einzelne Bauten bereits eingesetzt. Hierbei handelt es sich um Bodenschrauben aus feuerverzinktem Stahl, welche in den Baugrund (Lockergestein) eingedreht werden. Die Bodenschrauben haben einen Rohrdurchmesser von 60 – 220 mm und eine Länge von bis zu 6.5 m. Die maximal zu erwartende äussere Bruchlast liegt bei ca. 80 – 90 kN.

Das Fundationssystem ist grundsätzlich auf die Einleitung von axialen Zug- und Druckkräften ausgelegt, kann jedoch auch auf Querkraft beansprucht werden. Grundsätzlich wird für die Abtragung von Querkraften der Einbau von sogenannten Horizontalkraftverteilern empfohlen (siehe hierzu Kapitel 6). Wird auf dieses System verzichtet, hat der Planer unter Berücksichtigung der Baugrundverhältnisse und des Geländeverlaufes den entsprechenden Tragsicherheitsnachweis zu führen.

Basierend auf unserer Offerte erhielten wir von Herrn Heinz Imseng (Projektleiter DBVU des Kantons Aargau, Abteilung Tiefbau) den Auftrag, das Bauverfahren während der Projektierung und Ausführung der Lärmschutzwand an der K 131 in Rekingen aus geotechnischer Sicht zu begleiten und daraus folgend ein allgemein gültiges Prüfverfahren für die Erstellung der Bodenschrauben von Lärmschutzwänden zu erarbeiten.

## 1.2. Grundlagen

Basis für die Erarbeitung des Prüfkonzeptes bilden folgende Dokumente:

- [1] SIA 267, Geotechnik (2013)
- [2] SIA 267/1, Geotechnik – Ergänzende Festlegungen (2013)
- [3] SIA 267.001 (SN EN 1997-1) – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln (2004)
- [4] SIA 267.001/A1 (SN EN 1997-1/A1) – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln – Änderung A1 zu EN 1997-1:2004 (2013)
- [5] DIN 1054-A2, Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau (2015)
- [6] EA-Pfähle - Empfehlungen des Arbeitskreises (2012)
- [7] Grundbau-Taschenbuch, Teil 1: Geotechnische Grundlagen (7. Auflage, 2008)
- [8] Grundbau-Taschenbuch, Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke (7. Auflage, 2009)

## 2. ALLGEMEINES

Einsatzgebiet von Bodenschrauben:

Grundsätzlich kann das Foundationssystem in allen Lockergesteinen verbaut werden. Speziell für die Foundation von Lärmschutzwänden empfehlen wir jedoch den Einbau auf grob- und mittelkörnige sowie normal konsolidierte, feinkörnige Böden zu beschränken. Grundsätzlich kann der Versuch direkt nach dem Einbau der Bodenschraube erfolgen (keine Wartezeit erforderlich). Bei setzungsempfindlichem Baugrund (z.B. nacheiszeitliche Seeablagerungen mit allfällig organischen Einlagerungen, unterkonsolidiert) ist das Pfahlssystem, nicht zuletzt aufgrund der materialtechnisch begrenzten Schraubenlänge, ungeeignet.

Bezüglich Ermittlung des äusseren Tragwiderstandes von Pfahlfundationen sind massgeblich folgende Ziffern der SIA-Norm 267 zu beachten:

*9.4.4.1.2 Der äussere axiale Tragwiderstand  $R_a$  eines Einzelpfahls wird in der Regel aufgrund der Ergebnisse von statischen Pfahlbelastungsversuchen ermittelt, die entweder am Ort selbst oder in vergleichbaren Baugrundverhältnissen ausgeführt wurden.*

*9.4.4.1.3 Der äussere axiale Tragwiderstand  $R_a$  eines Einzelpfahles entspricht der Bruchkraft oder, wenn letztere nicht erreicht wird, der Kraft, die eine Setzung von einem Zehntel des Pfahldurchmessers verursacht.*

*Die Bruchkraft eines Pfahls wird als jene Kraft definiert, bei der die Verschiebung des Pfahls im Kraft-Verschiebungsdiagramm merklich zunimmt bzw. das Kriechmass im Zeit-Verschiebungsdiagramm den Wert  $k_{krit} = 2 \text{ mm}$  erreicht.*

*Werden die Grenzwerte unter der maximalen Versuchsbelastung nicht erreicht, entspricht der Tragwiderstand  $R_a$  in der Regel der letzten im Versuch aufgebrauchten Kraft.*

Für das vorliegende Prüfkonzept von Bodenschrauben ist gemäss SIA-Norm 267/1 folgende Ziffer speziell zu erwähnen:

*0.3.1 Abweichungen von der vorliegenden Norm sind zulässig, wenn sie durch Theorie oder Versuche ausreichend begründet werden oder wenn neue Entwicklungen und Erkenntnisse dies rechtfertigen.*

Probebelastungen sollten grundsätzlich in folgenden Fällen ausgeführt werden:

- Wenn eine Pfahlart oder ein Einbauverfahren angewendet wird, für das es keine vergleichbaren Erfahrungen gibt.
- Wenn das Pfahlssystem noch nicht unter vergleichbaren Baugrund- und Belastungsverhältnissen geprüft wurde.

Die Anzahl der Belastungsversuche ist unter Berücksichtigung der Grösse des Bauvorhabens, der Heterogenität des Baugrundes, den topographischen Verhältnissen und dem potenziellen Risiko bei Versagen der Pfähle, projektbezogen festzulegen.

Bezüglich Schlankheit ist das Foundationssystem vergleichbar mit Mikropfählen. Demzufolge sollten für dieses Pfahlsystem mindestens zwei Belastungsversuche durchgeführt werden.

### 3. BAUGRUNDAUFSCHLÜSSE

Prinzipiell sollte für jedes zu bemessende Bauwerk der anstehende Baugrund beschrieben und beurteilt werden. Zur Gewinnung entsprechender geotechnischer Aufschlüsse ist in der Regel eine objektbezogene Baugrunduntersuchung erforderlich.

Für das vorgesehene Foundationssystem mittels Bodenschrauben aus feuerverzinktem Stahl sind folgende zwei Punkte in Bezug auf den Baugrund von massgebender Bedeutung:

- Tragsicherheit (äusserer Tragwiderstand des Schraubensystems)
- Dauerhaftigkeit (Korrosionsschutz des Foundationssystems)

Entsprechend sind aus geotechnischer Sicht folgende Faktoren ausschlaggebend und zu beurteilen:

- Bodenklassifikation unter Berücksichtigung der Kornzusammensetzung
- Lagerungsdichte
- Grundwasserverhältnisse

Für die Klassifikation des Baugrundes können in einer ersten Phase Informationen aus benachbarten Sondierungen oder auch geologische Karten beigezogen werden. Da nicht immer entsprechend verwertbare Grundlagen vorliegen, wird empfohlen, den Baugrund mittels einzelner Sondierschlitzte zu begutachten. Mit dem Einbau von Versuchsschrauben besteht die Möglichkeit über die Auswertung des Drehmomentverlaufs die Lagerungsdichte des anstehenden Baugrundes zu beurteilen.

Zusätzlich zu den Sondierschlitzten für die Baugrundbeurteilung können gleichzeitig Werkleitungssondagen durchgeführt werden.

In den folgenden Kapiteln wird das Vorgehen bezüglich Prüfung und Beurteilung der äusseren Tragsicherheit von Bodenschrauben beschrieben. Die Beurteilung des Korrosionsschutzes in Abhängigkeit des anstehenden Baugrundes ist nicht Bestandteil unserer Aufgabenstellung.



## 4. BELASTUNGSVERSUCHE

### 4.1. Ablauf

Die Durchführung der Belastungsversuche hat vor dem Einbau der definitiven Bodenschrauben zu erfolgen. Die Resultate dieser Versuche dienen zur Bemessung der effektiv erforderlichen Schraubenanordnung und der Wahl des Schraubentyps (Durchmesser, Länge).

Liegen keine geologischen Aufschlüsse vor, können die Sondierschlitzte direkt parallel zum Einbau der Versuchsschrauben erfolgen. Hierbei ist zu beachten, dass diese Arbeiten durch eine Fachperson (Geologe / Geotechniker) zu begleiten und beurteilen sind.

Die Anordnung und Anzahl der Versuchsschrauben ist abhängig von folgenden Kriterien:

- Topographische Verhältnisse im Bereich des Bauvorhabens (ebenes Gelände, Böschungen)
- Unterschiedliche Baugrundverhältnisse im Bauperimeter
- Zu erwartende Beanspruchungen

Beim Eindrehen der Bodenschrauben kann durch den Verlauf des Drehmomentes eine Aussage über die Lagerung gemacht werden (erhöht sich der Einbauwiderstand, steigt das Drehmoment). Die ausführende Unternehmung hat den Zusammenhang zwischen Drehmoment und Eindringwiderstand unter Berücksichtigung der Gerätekalibrierung und Messgenauigkeit zu belegen.

Pro definierten Versuchsstandort sollten zwei bis drei Eindrehversuche durchgeführt werden. Der Belastungsversuch ist beim Standort mit dem geringsten Widerstand durchzuführen. Die Protokollierung des Drehmomentes hat in Bezug auf die Einbringtiefe zu erfolgen. Speziell von Bedeutung ist der Verlauf im Bereich der Verankerungszone (Bereich des Schraubengewindes).

### 4.2. Ziel der Messung / Versuchsaufbau / Prüfkraft

Der Versuch hat zum Ziel, das Deformationsverhalten der Bodenschrauben bei einer Zug- resp. Druckbeanspruchung zu messen. Durch die Deformationsmessungen können Rückschlüsse auf die Interaktion Schraube / Boden und somit auf die äussere Tragsicherheit gezogen werden. Um das gewünschte Deformationsverhalten messen zu können, werden die Verschiebungen des Schraubenkopfes in Abhängigkeit der aufgebrauchten Kraftstufen aufgezeichnet und ausgewertet.

Bei diesem schlanken System (vergleichbar mit Mikropfählen) erfolgt die Lasteinleitung über den Gewindebereich der Schraube entsprechend einer Mantelreibung. Aufgrund dessen ist die Ausführung von Zugversuchen grundsätzlich genügend, woraus auch zulässige Druckkräfte abgeleitet werden dürfen.

Der statische Belastungsversuch ist kraftgesteuert mittels hydraulischer Pressen durchzuführen. Die maximale Prüfkraft  $F_{pv}$  ist so festzulegen, dass nach Möglichkeit der äussere Tragwiderstand des Schraubfundamentes (Bruch im Boden) erreicht wird. Wird dieser Grenzwert unter der maximalen Versuchsbelastung nicht erreicht, entspricht der Tragwiderstand in der Regel der letzten im Versuch aufgebrauchten Kraftstufe.

Beim Aufbau der Widerlagerkonstruktion ist darauf zu achten, dass sie gegen horizontale Verschiebungen gesichert ist. Nur unter dieser Voraussetzung ist eine zentrische Krafteinleitung gewährleistet. Sollte dies aufgrund der gegebenen Randbedingungen (Platzverhältnisse, Gelände etc.) nicht möglich sein, müssen auch die horizontalen Verschiebungen des Schraubenkopfes während des Versuchs gemessen und ausgewertet werden. Protokolliert werden die effektiven Verschiebungen des Schraubenkopfes, entsprechend hat die Installation der Messüberwachung, unabhängig von der Widerlagerkonstruktion, über eine separat fundierte Traverse zu erfolgen.



Abbildung 1: Versuchsaufbau für Druckprüfung mit Traverse und Zugverankerung



Abbildung 2: Versuchsaufbau für Zugprüfung

Um den Einfluss der Widerlagerkonstruktion auf den Versuch auf ein Minimum zu reduzieren, ist zwischen den Widerlagerpunkten und der Versuchsschraube ein minimaler Abstand von 5-mal dem Durchmesser der Schraube einzuhalten.

Bezüglich Genauigkeit der Messausrüstung wird auf die SIA-Norm 267/1 [2] abgestützt, wobei folgende Anforderungen unbedingt zu beachten sind:

- Ermittlung des Kraft-Verformungsverhaltens
  - Verschiebung  $\pm 0.20$  mm (mittlerer Fehler)
  - Kraft  $\pm 2\%$  von  $F_{pv}$  (mittlerer Fehler)
- Ermittlung des Kriechverhaltens auf jeder einzelnen Kraftstufe
  - Verschiebung  $\pm 0.05$  mm (mittlerer Fehler)
  - Kraft  $\pm 0.5\%$  von  $F_{pv}$  (mittlerer Fehler)
- Die Messausrüstung muss eine Ablesegenauigkeit von 0.01 mm für die Verschiebung und von 1 kN für die Kraft aufweisen.
- Eine direkte Sonneneinstrahlung auf den Messbalken ist mittels geeigneter Massnahmen (Sonnenschirm) zu verhindern.
- Die Messinstrumente sind periodisch zu kalibrieren.

### 4.3. Standardisierte Bezeichnungen

Für die Durchführung und Auswertung der Versuche sind die Bezeichnungen der Normen SIA 267 [1] und SIA 267/1 [2] zu verwenden. Folgend sind die wichtigsten Bezeichnungen zusammengefasst und beschrieben:

Einwirkungsseite (Pfahlbeanspruchung)

- $F_k$  charakteristischer Wert einer Einwirkung
- $F_d$  Bemessungswert einer Einwirkung

Widerstandsseite (äusserer Pfahlwiderstand)

- $R_{a,k}$  charakteristischer Wert des äusseren Tragwiderstandes
- $R_{a,d}$  Bemessungswert des äusseren Tragwiderstandes

Pfahlversuch

- $F_a$  Anfangskraft für statische Belastungsversuche
- $F_i$  definierte Kraftstufen für statischen Belastungsversuch
- $F_{pv}$  Prüfkraft für statische Belastungsversuche
- $k$  Mass für die zeitabhängige Zunahme der Verschiebung des Verankerungskörpers unter einer konstanten Kraft. Es wird mit dem Kriechgesetz folgend definiert:  
$$k = (v_2 - v_1) / \log(t_2 / t_1)$$
  
Hierin bedeutet  $v_2 - v_1$  die Verschiebungszunahme des Verankerungskörpers im Zeitraum  $t_1$  bis  $t_2$ . Das Kriechmass weist die Einheit einer Länge in Millimeter auf.

### 4.4. Belastungsprogramm

Grundsätzlich sollte für das geplante Bauvorhaben vor der Durchführung von Belastungsversuchen mindestens eine Vorbemessung der Foundation erfolgen. Unter Berücksichtigung der massgebenden Schraubenbeanspruchungen  $F_d$  kann daraus folgend die Prüflast  $F_{pv}$  definiert werden. Liegt keine Vorstatik vor, können die Bodenschrauben bis zum Erreichen des äusseren Tragwiderstandes ( $R_{a,k}$ ) geprüft und daraus der Bemessungswert  $R_{a,d}$  für die Dimensionierung ermittelt werden.

Der Ablauf des Belastungsversuches ist insbesondere hinsichtlich der Anzahl und Dauer der Laststufen so zu planen, dass aus den Messungen an der Schraube auf das Verformungs- und Kriechverhalten geschlossen werden kann. Versuchsschrauben sind so zu belasten, dass Rückschlüsse auf die Grenzlast gezogen werden können.

Die Anfangskraft  $F_a$  ist mit ca. 10% der Prüfkraft  $F_{pv}$  anzusetzen. Der Kraftbereich zwischen  $F_a$  und der Prüfkraft ist in 5 bis 6 gleich grosse Kraftinkremente  $\Delta F$  zu unterteilen. Die Nullmessung der Verschiebung hat auf der Anfangskraft zu erfolgen. Um einen Aufschluss über die bleibenden und elastischen Verschiebungen zu erhalten, ist nach jeder Kraftstufe auf Null zu entlasten.

Mit Hilfe des Kriechdiagrammes (Verschiebungszunahme über die Zeit) ist der Versuch auf jeder Laststufe zu überwachen. Optimal ist eine automatische Auswertung der Daten, ansonsten sind die Verschiebungszunahmen des Schraubenkopfes laufend abzulesen und manuell mit dem Logarithmus der Zeit aufzuzeichnen und zu beurteilen. Bezüglich den Wartezeiten auf den einzelnen Kraftstufen darf unterschieden werden, ob es sich bei den Beanspruchungen des geplanten Bauwerkes um hauptsächlich statische (z.B. Eigengewicht, Erddruck) oder veränderliche Einwirkungen infolge Wind handelt.

Folgende minimale Wartezeiten sollten auf den einzelnen Laststufen eingehalten werden:

| Kraftstufe           | Statische Belastungen   | Belastung infolge Wind  |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Anfangskraft $F_a$   | Ablesung ohne Wartezeit | Ablesung ohne Wartezeit |
| Zwischenstufen $F_i$ | 15 Minuten              | 5 Minuten               |
| Prüfkraft $F_{pv}$   | 30 Minuten              | 15 Minuten              |

Die Haltedauer der Kraftstufen ist letztendlich abhängig von folgenden Kriterien:

- Nimmt im Kriechdiagramm die Neigung der Zeit-Verschiebungslinie mit dem Logarithmus der Zeit deutlich ab und ist die Neigung dieser Geraden nicht steiler als die Referenzgerade mit dem Kriechmass  $k = 1 \text{ mm}$ , so ist die definierte Wartezeit genügend und die nächste Kraftstufe kann angefahren werden.
- Nimmt die Neigung der Zeit-Verschiebungslinie am Ende der minimalen Beobachtungszeit zu, ist die Beobachtungszeit zu verlängern, bis das Kriechmass eindeutig bestimmbar ist oder den Wert  $k_{krit} = 2 \text{ mm}$  überschreitet.

Wurde auf Niveau der definierten Prüfkraft  $F_{pv}$  das kritische Kriechmass von  $k = 2 \text{ mm}$  nicht überschritten, so wurde der äussere Tragwiderstand im Belastungsversuch nicht erreicht.

## 4.5. Beurteilung und Auswertung der Messergebnisse

Die Belastungsversuche sind durch die ausführende Firma in einem Bericht zu dokumentieren, welcher folgende Punkte beinhalten muss:

- Beschreibung der Baustelle
- Topographie
- Baugrundverhältnisse
- Schraubentyp (Durchmesser, Länge)
- Protokolle des Schraubeneinbaus (Verlauf Drehmoment über die Zeit und Einbautiefe / Integral des Drehmomentes über die Gewindelänge)
- Belastungs- und Messeinrichtung inkl. Prüfzeugnis der Presse und des Messgebers
- Belastungsablauf
- Wetterverhältnisse
- Zeit-Verschiebungsdiagramme
- Kraft-Wegdiagramme
- Spezielle Beobachtungen während der Belastungsversuche
- Beurteilung und Interpretation der Versuchsergebnisse

Basierend auf der SN EN 1997-1 [3/4] wären für die Ermittlung des Bemessungswertes des äusseren Tragwiderstandes bei Pfahlgründungen folgende Faktoren zu berücksichtigen:

Teilsicherheitsbeiwerte für die Mantelreibung

- für die Mantelreibung bei Zug  $\gamma_R = 1.15$
- für die Mantelreibung bei Druck  $\gamma_R = 1.10$

Streuungsfaktoren bezüglich Anzahl der Versuchsschrauben

| $\zeta$ für n = | 1   | 2   | 3    | 4   | $\geq 5$ |
|-----------------|-----|-----|------|-----|----------|
| $\zeta_1$       | 1.4 | 1.3 | 1.2  | 1.1 | 1.0      |
| $\zeta_2$       | 1.4 | 1.2 | 1.05 | 1.0 | 1.0      |

Tabelle 1: Streuungsfaktoren gemäss SN EN 1997-1, Anhang A

$\zeta_1$  ist auf die Mittelwerte der in den Belastungsversuchen erreichten Widerstände anzusetzen

$\zeta_2$  ist auf den Kleinstwert der in den Belastungsversuchen erreichten Widerstände anzusetzen

Unter Berücksichtigung des Kleinst- und der Mittelwertes aus den Belastungsversuchen würde der Bemessungswert des äusseren axialen Tragwiderstandes wie folgt ermittelt, wobei der tiefere Wert massgebend wäre:

$$R_{a,d\text{mittel}} = R_{a,k} / (\gamma_R \times \zeta_1) \quad \text{respektiv} \quad R_{a,d\text{min}} = R_{a,k} / (\gamma_R \times \zeta_2)$$

Für das vorliegende Foundationssystem mit Bodenschrauben kann Folgendes präzisiert werden:

Grundsätzlich besteht eine Korrelation zwischen dem Einbauwiderstand der Schraube und dem äusseren Tragwiderstand (grösseres Drehmoment entspricht grösserem Tragwiderstand). Da beim Einbau jeder Bauwerksschraube der Verlauf des Drehmomentes aufgezeichnet wird, die ermittelten Widerstände mit den Resultaten der Versuchsschrauben abzugleichen sind und die Schrauben mit den geringsten Drehmomenten einer Qualitätsprüfung unterzogen werden (siehe Kap. 5), kann für die Ermittlung des Bemessungswertes des äusseren axialen Tragwiderstandes der Streuungsfaktor  $\zeta$  unter Berücksichtigung der Tabelle 1 generell mit 1.0 berücksichtigt werden, wobei der Kleinstwert aus den Belastungsversuchen zu berücksichtigen ist. Demzufolge ergibt sich folgende Formel für die Bemessung der Bodenschrauben:

$$R_{a,d} = R_{a,k,\text{min}} / \gamma_R$$

## 5. QUALITÄTSPRÜFUNGEN (ZUGVERSUCHE)

Während der Ausführungsphase sind an ausgewählten Bodenschrauben sogenannte Qualitätsprüfungen durchzuführen. Mit diesen Prüfungen ist der einwandfreie und kraftschlüssige Verbund zwischen Schraube und Baugrund nachzuweisen. Entsprechend ist das Deformationsverhalten speziell für  $F_k$  (charakteristische Last),  $F_d$  (Lasteinwirkung gemäss Bemessung) und  $F_{pv}$  (rechnerische Prüflast) zu überprüfen.

Für jedes Bauwerk sollten pro Untergrundbereich mit vergleichbaren geotechnischen Eigenschaften mindestens drei Bauwerksschrauben überprüft werden. Die Auswahl der zu prüfenden Schrauben hat über die Auswertung der Einbauprotokolle (Verlauf und Grösse des Drehmomentes speziell im Verankerungsbereich) zu erfolgen. Hierbei sind die Bodenschrauben mit den geringsten Widerständen herauszufiltern und aus diesen, verteilt über das gesamte Bauwerk, die zu prüfenden Schrauben zu definieren.

Beim Einbau der Bauwerksschrauben ist darauf zu achten, dass der Drehmomentverlauf sowie die Maximalwerte im Gewindebereich in etwa mit den Werten aus den Belastungsversuchen korrespondieren. Bei erheblich tieferen Werten bestehen folgende Optimierungsmöglichkeiten:

- Einbau von längeren Schrauben
- Rückbau der Schraube, verfüllen des Bohrloches mit kiesigem Aushubmaterial und erneutes Eindrehen der Schraube

### 5.1. Prüfkraft und Belastungsprogramm

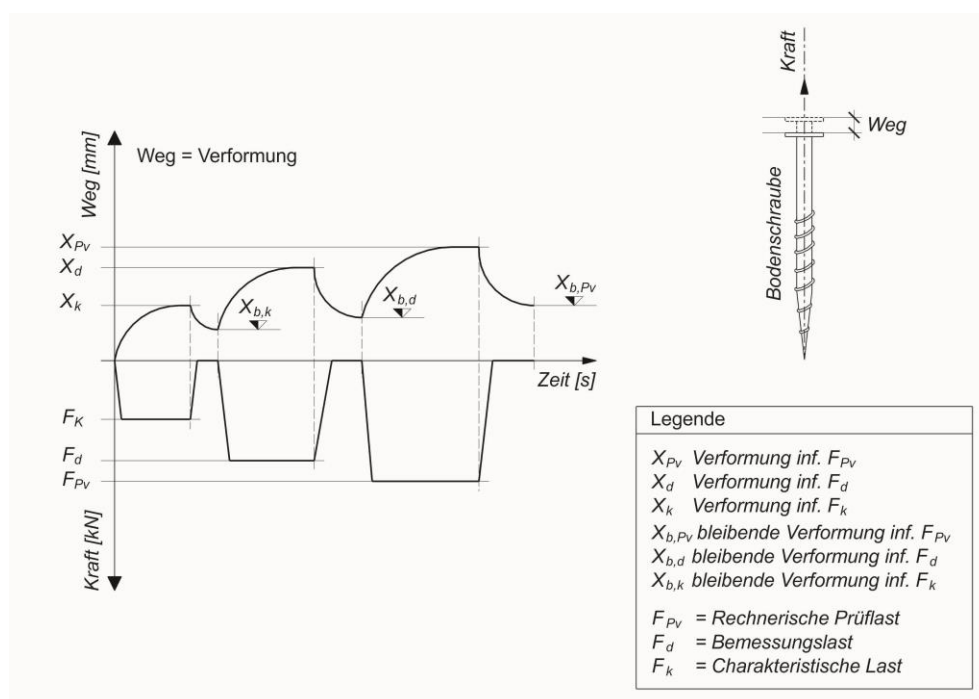


Abbildung 3: schematische Darstellung des Zugversuches



Der Versuch hat auf folgenden Kraftstufen zu erfolgen:

- $F_k$  charakteristischer Wert der maximalen Schraubenbeanspruchung
- $F_d$  Bemessungswert der maximalen Schraubenbeanspruchung
- $F_{pv}$  rechnerische Prüflast auf Basis des Bemessungswertes

Nach jeder Kraftstufe ist auf Null zu entlasten und die bleibende Deformation zu protokollieren. Analog zu den Belastungsversuchen darf bezüglich den Wartezeiten unterschieden werden, ob es sich bei den Beanspruchungen des geplanten Bauwerkes hauptsächlich um statische oder veränderliche Einwirkungen infolge Wind handelt.

Folgende minimale Wartezeiten sollten auf den einzelnen Laststufen eingehalten werden:

- Bei statischen Einwirkungen  $\Rightarrow$  15 Minuten
- Massgeblich veränderliche Einwirkung infolge Wind  $\Rightarrow$  5 Minuten

Bezüglich Beurteilung der Zugversuche sind die Messkriterien (Kriechmass) analog dem Belastungsversuch umzusetzen.

## 5.2. Darstellung und Auswertung der Messergebnisse

Die Zugversuche sind durch die ausführende Firma in einem Bericht zu dokumentieren, wobei folgende Punkte zu berücksichtigen sind:

- Situationsplan mit Standort der geprüften Bodenschrauben
- Schraubentyp (Durchmesser, Länge)
- Protokolle des Einbaus aller Schrauben (Verlauf Drehmoment über die Zeit und Einbautiefe / Integral des Drehmomentes über die Gewindelänge)
- Wahl der zu prüfenden Schrauben unter Berücksichtigung der Einbauresultate
- Belastungs- und Messeinrichtung inkl. Prüfzeugnis der Presse und des Messgebers
- Laststufen
- Wetterverhältnisse
- Zeit-Verschiebungsdiagramme
- Kraft-Wegdiagramme
- Spezielle Beobachtungen während der Zugversuche
- Beurteilung und Interpretation der Versuchsergebnisse

## 6. QUERZUGBEANSPRUCHUNG VON BODENSCHRAUBEN

Für die Abtragung von Horizontalkräften bei vertikal verbauten Bodenschrauben kann der Kopfbereich mit einer Konstruktion aus Stahlplatten (Abbildungen 4/5) verstärkt werden. Die Ermittlung der äusseren Tragsicherheit infolge Horizontalkraftbeanspruchung erfolgt über die Kontrolle des passiven Erdwiderstandes, wobei die Schraubenwirkung (Einspannung im Baugrund) konservativ vernachlässigt wird.

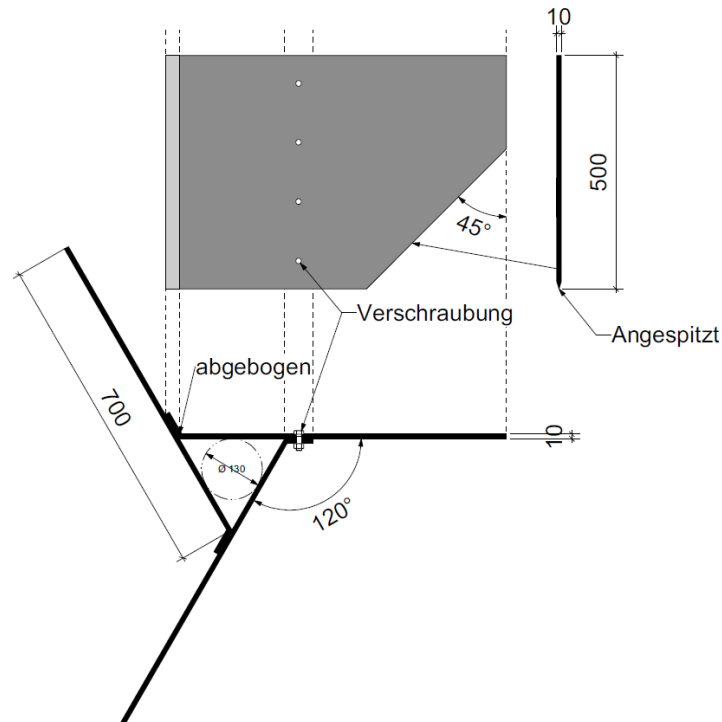


Abbildung 4: Horizontalkraftverstärkung für Schraubfundamente (Krinmer Montage GmbH)

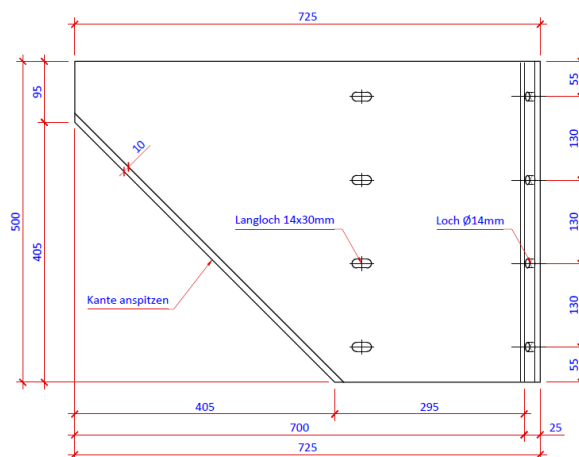


Abbildung 5: Detail einzelner Stahlplatten (Krinmer Montage GmbH)

Für die Ermittlung des passiven Erdwiderstandes hat die Beurteilung des anstehenden Baugrundes gemäss Kapitel 2 (geologische Abklärungen und Untersuchungen) zu erfolgen.

Der Bemessungswert des äusseren Tragwiderstandes quer zur Schraubenachse ist unter Berücksichtigung des Widerstandsbeiwertes  $\gamma_{M,a} \geq 1.4$  zu ermitteln.

Grundsätzlich wird empfohlen, das System der Horizontalkraftverstärker nur bei Schraubfundamenten anzuwenden, welche in der Ebene verbaut werden. Im Bereich von Böschungen ist der passive Erddruck im Kopfbereich stark vermindert und kann dem Pfahl kaum entgegenwirken. Entsprechend sollten die Schrauben für solche Zonen nach Möglichkeit nur axial beansprucht werden. Demzufolge müssen in Hanglage zusätzliche Schraubfundamente horizontal verbaut werden.

Zürich, 10. September 2018

Verfasser: Guido Morri, dipl. Ing. HTL