

Verankerungen

Matthias Ryser, Zürich

1. EINLEITUNG

Der vorliegende Beitrag behandelt die Ziffern 10 und 11 der neuen Norm SIA 267 *Geotechnik*, welche die Bestimmungen für Verankerungen mit *vorgespannten Ankern* und für Verankerungen mit *ungespannten Ankern* enthalten.

1.1. Überblick über die neuen Normen

Die *Eurocodes* schreiben zwingend vor, technische und vertragliche Bestimmungen in getrennten Normen zu behandeln. Zudem wurden auf europäischer Ebene für die Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten spezielle Normen verfasst. Dies führt dazu, dass bei der Planung und Ausführung von Verankerungen Bestimmungen aus verschiedenen Normen zu beachten sind. Bild 5.1 gibt einen groben Überblick über den Inhalt und Anwendungsbereich der einzelnen Normen.

Die Norm SIA 267 *Geotechnik* regelt den Entwurf, die Tragwerksanalyse und die Bemessung von Verankerungen. Weiter sind in SIA 267 die grundsätzlichen Anforderungen bezüglich Ausführung, Prüfung und Überwachung festgelegt.

Die Norm SIA 267/1 *Geotechnik – Ergänzende Festlegungen* regelt die Durchführung der Ankerprüfungen (Ankerversuche, Spannproben) und enthält Verweise und Präzisierungen zu den europäischen Normen.

Für die Ausführung gelten grundsätzlich die europäischen Normen *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau)*. Für vorgespannte Anker wurde SN EN 1537 [5.1] in der Schweiz auf den 01.05.2000 in Kraft gesetzt. Für ungespannte Anker liegt hingegen erst der Entwurf prEN 14490 [5.2] vor, weshalb in SIA 267 zusätzliche Bestimmungen zur Ausführung integriert wurden.

Die Norm SN EN 1537 lässt für den Korrosionsschutz von permanenten Ankern und für die

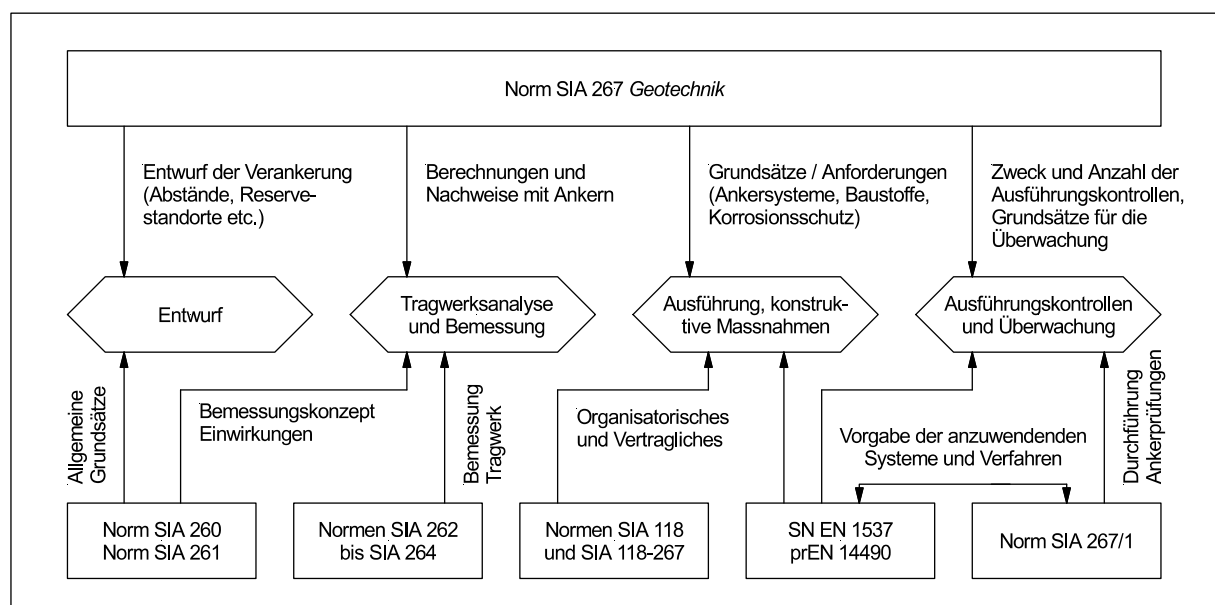


Bild 5.1 Überblick über die massgebenden Normen

Ankerprüfungen eine Auswahl unterschiedlicher Systeme bzw. Verfahren zu. In SIA 267/1 wird verbindlich festgelegt, welche dieser Systeme und Verfahren in der Schweiz anzuwenden sind.

Die organisatorischen und vertraglichen Bestimmungen, welche bisher in den Ziffern *Ergänzungen zur Norm SIA 118* und *Aufgaben der Beteiligten Fachleute* geregelt wurden, sind neu in der Norm SIA 118-267 *Allgemeine Bedingungen für geotechnische Arbeiten* zusammengefasst.

1.2. SIA 267 - Inhalt und Neuerungen

Die beiden Ziffern zu den vorgespannten bzw. ungespannten Ankern sind identisch aufgebaut und weisen die folgende Gliederung auf:

- Abgrenzung
- Grundsätze
- Baugrund
- Tragwerksanalyse
- Bemessung
- Konstruktive Massnahmen
- Ausführungskontrollen und Überwachung.

Die Bestimmungen der neuen Norm entsprechen inhaltlich weitgehend der bisher gültigen Empfehlung SIA V 191 [5.3] für die vorgespannten Anker und der Vornorm SIA V 191/1 [5.4] für die ungespannten Anker. Die im folgenden zusammengefassten Neuerungen sind hauptsächlich formaler Art:

- Neue Bezeichnungen und Bemessungsformate
- Vertragliche und organisatorische Bestimmungen neu in der Norm SIA 118-267
- Bestimmungen zur Ausführung teilweise in den europäischen Normen (SN EN 1537 bzw. prEN 14400)
- Bestimmungen zur Durchführung der Ankerprüfungen in SIA 267/1
- Neue Bezeichnungen und Kennwerte für die Spannstähle und die Betonstähle gemäss SIA 262 *Betonbau*
- Ergänzung der Bestimmungen zum Entwurf von Verankerungen
- Ergänzung der Bestimmungen zur Bemessung.

2. ABGRENZUNG UND GRUNDSÄTZE

Die Bestimmungen von SIA 267 gelten grundsätzlich für *temporäre* und für *permanente* Verankerungen. Die Ziffer 10 gilt für vorgespannte Anker aus Stahl. Die Ziffer 11 gilt für ungespannte Anker (Nägel) mit Vollverbund aus Stahl und aus GFK. Für andere Ankertypen sind die Bestimmungen der Norm sinngemäss anzuwenden.

In den Ziffern 10.2 und 11.2 sind die allgemeinen Grundsätze für Verankerungen festgelegt. Beim Entwurf sind die folgenden Punkte speziell zu beachten:

- Nachbarrechtliche Belange
- Auswirkungen auf die Umgebung (Setzungen, Beschädigung von Leitungen)
- Gefahr eines progressiven Einsturzes des Bauwerks beim Ausfall einzelner Anker
- Änderungen der Ankerkraft durch die resultierenden Verschiebungen beim Versagen des Tragwerks
- Erforderliche Verschiebungen zur Aktivierung der Ankerkraft bei Verankerungen mit ungespannten Ankern
- Reservestandorte und Ersatzmöglichkeiten für ausfallende Anker bei Verankerungen mit vorgespannten Ankern.

Bei den Bestimmungen zur Projektierung von Verankerungen mit vorgespannten Ankern wurden mit die Angaben zum minimal erforderlichen Abstand der Verankerungskörper sowie den zu erwartenden Bohrtoleranzen gegenüber der bisherigen Norm angepasst.

In Ziffer 10.2.1.1 wird ausdrücklich festgehalten, dass die Projektierung von Verankerungen gründliche Kenntnis der Ankertechnik und entsprechende Erfahrung verlangt.

Ziffer 10.3 bzw. 11.3 enthält einige Ergänzungen bezüglich der Baugrunduntersuchungen, welche zusätzlich zur Ziffer 3 *Baugrund* bei Verankerungen speziell zu beachten sind.

3. TRAGWERKSANALYSE UND BEMESSUNG

Verankerte Tragwerke sind grundsätzlich nach den Normen SIA 262 bis 264 zu bemessen. Zusätzlich gelten die Bestimmungen von SIA 267, im Zusammenhang mit den Ankern speziell die Ziffern 10 und 11.

Im Wesentlichen muss für alle massgebenden Bemessungssituationen die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit nachgewiesen werden. Die Anker werden dabei je nach Tragwerksmodell entweder als Widerstand oder als Einwirkung berücksichtigt. Speziell muss beachtet werden, dass die Ankerkraft von den Verschiebungen des Tragwerks abhängig ist.

3.1. Vorgespannte Anker

3.1.1 Charakteristischer Tragwiderstand

Der charakteristische Wert $R_{i,k}$ des *inneren Tragwiderstands* eines vorgespannten Ankers wird der Bruchkraft des Ankerzugglieds gleichgesetzt und beträgt:

$$R_{i,k} = P_{pk} = A_p \cdot f_{pk} \quad (267.51)$$

Der *äussere Tragwiderstand* entspricht jener Kraft, bei der die Verschiebung des Verankerungskörpers nicht mehr abklingt, sondern nach einer gewissen Zeit der Bruch zwischen Verankerungskörper und Baugrund eintritt. Als Bruchkriterium (logarithmisches Kriechgesetz) wird aufgrund von Erfahrungswerten das folgende *Kriechmass* festgelegt:

$$k_{krit} = 2 \text{ mm} \quad (5.1)$$

Damit das Versagen eines verankerten Tragwerks durch Verformungen angekündigt wird, ist das Zugglied, welches das weitaus grösste Verformungsvermögen des Ankersystems aufweist, als "schwächstes Glied" des Ankers zu wählen. Das Verschiebungspotential eines Verankerungskörpers zwischen Gebrauchszustand und Bruch liegt nämlich höchstens bei etwa 10 bis 15 mm, die Verlängerung des Zugglieds eines 20 m langen Litzenankers beträgt hingegen bereits ohne Berücksichtigung der Fließdehnung etwa 75 mm. Aufgrund dieser Überlegungen ist in 10.4.3.3 fest-

gelegt, dass der äussere Tragwiderstand $R_{a,k}$ grösser als der innere Tragwiderstand $R_{i,k}$ sein soll.

Der äussere Tragwiderstand muss gemäss 10.4.3.4 aufgrund von *Ankerversuchen* festgelegt werden. Auf Ankerversuche darf nur verzichtet werden, wenn bereits Ergebnisse von vergleichbaren Ankern in vergleichbaren Baugrundverhältnissen vorliegen und kein höherer Tragwiderstand angestrebt wird. Die Ermittlung des äusseren Tragwiderstands aufgrund empirischer oder theoretischer Berechnungsmethoden liefert keine zuverlässigen Resultate und ist deshalb nicht zulässig.

Als charakteristischer Wert $R_{a,k}$ gilt der kleinste Wert aus mindestens drei Ankerversuchen.

3.1.2 Festsetzkraft

Die tatsächlich vorhandene Ankerkraft P muss während der ganzen Nutzungsdauer innerhalb der folgenden Grenzen liegen:

$$0,3 \cdot P_{pk} \leq P \leq 0,7 \cdot P_{pk} \quad (267.58)$$

Mit der Begrenzung der maximalen Ankerkraft auf $0,7 P_{pk}$ bleibt das Risiko von Spannungsrisikokorrosion auf ein vertretbares Mass beschränkt. Durch eine minimale Ankerkraft von $0,3 P_{pk}$ wird die sichere Verteilung der Litzen am Ankerkopf gewährleistet.

Die erforderliche Festsetzkraft P_0 wird aus den Nachweisen der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit abgeleitet. Die maximale Festsetzkraft wird auf folgenden Wert begrenzt:

$$P_0 \leq 0,6 \cdot P_{pk} \quad (267.59)$$

Diese Begrenzung von P_0 ermöglicht eine bescheidene Kraftzunahme von rund 16%, ohne dass der Grenzwert der Ankerkraft gemäss (267.58) überschritten wird. Sind grössere Kraftzunahmen zu erwarten (z.B. bei der Sicherung von Kriechhängen), ist die Festsetzkraft entsprechend tiefer anzusetzen oder es sind entspannbare Anker zu verwenden.

Bei Ankern mit ungenügendem äusserem Tragwiderstand ($R_{a,k} \leq R_{i,k}$) gilt:

$$P_0 \leq 0,6 \cdot R_{a,k} \quad (267.60)$$

3.1.3 Bemessungswert des Tragwiderstands

Der *Bemessungswert* des Tragwiderstands einer Verankerung hängt von der Art der Beanspruchung im betrachteten Zustand ab. Analog zur Vorspannung ohne Verbund kann der volle Widerstand des Zuggliedes nur mobilisiert werden, wenn dem Bruch eine genügend grosse Dehnung vorausgeht.

Der Bemessungswert des Tragwiderstands eines auf Zug beanspruchten Ankers beträgt gemäss 10.5.2.2.2:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (267.53)$$

Für den Widerstandsbeiwert der Verankerung gilt:

$$\gamma_M \geq 1.35 \quad (267.54)$$

Werden die Anker beim Versagen des Tragwerks nicht genügend gedehnt, um den vollen Widerstand des Zuggliedes zu mobilisieren, darf als Bemessungswert des Tragwiderstands höchstens die in diesem Zustand effektiv vorhandene Ankerkraft eingesetzt werden. Dazu kann nach 10.5.2.2.3 die folgende Abschätzung verwendet werden:

$$R_d = \gamma_A \cdot P_0 \quad (267.55)$$

Der *Ankerkraftbeiwert* γ_A ist projektspezifisch festzulegen und liegt in der Regel zwischen 0,8

und 1,1. Er berücksichtigt die Ankerkraftänderungen zwischen dem Festsetzen des Ankers und dem Zeitpunkt des Versagens des Tragwerks infolge von:

- Relaxation des Spannstahls
- Kriechen des Verankerungskörpers
- Tragwerksverschiebungen im Bereich des Ankerkopfs (oft Kraftverluste infolge von Setzungen)
- Bruchkörperverschiebungen bis zum Eintritt des Versagens (mehr oder weniger grosse Zunahme der Ankerkraft je nach Richtung der Verschiebung relativ zur Ankerachse).

In jedem Fall ist die folgende Bedingung einzuhalten:

$$\gamma_A \cdot P_0 \leq \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (267.57)$$

3.1.4 Beispiele zur Bemessung

Im Folgenden werden typische Fälle der Bemessung von Tragwerken mit vorgespannten Ankern anhand von Beispielen kurz skizziert.

Aus der Tragwerksanalyse der verankerten Stützwand in Bild 5.2 ergibt sich die Ankerkraft $E_{A,d}$ als Reaktion.

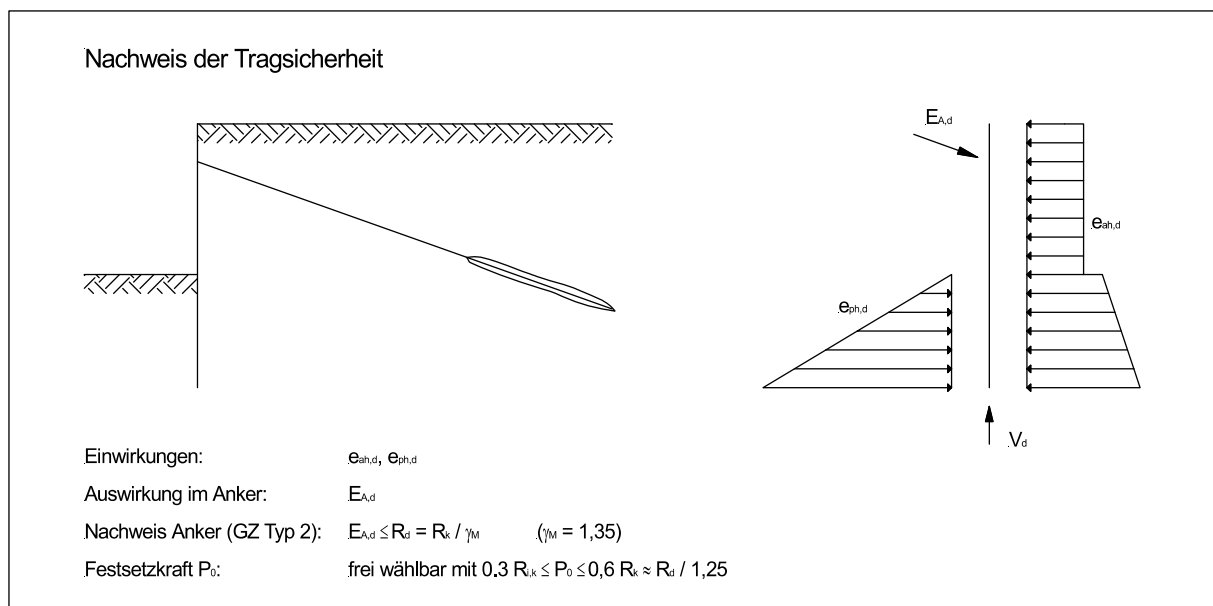


Bild 5.2 Verankerte Stützwand

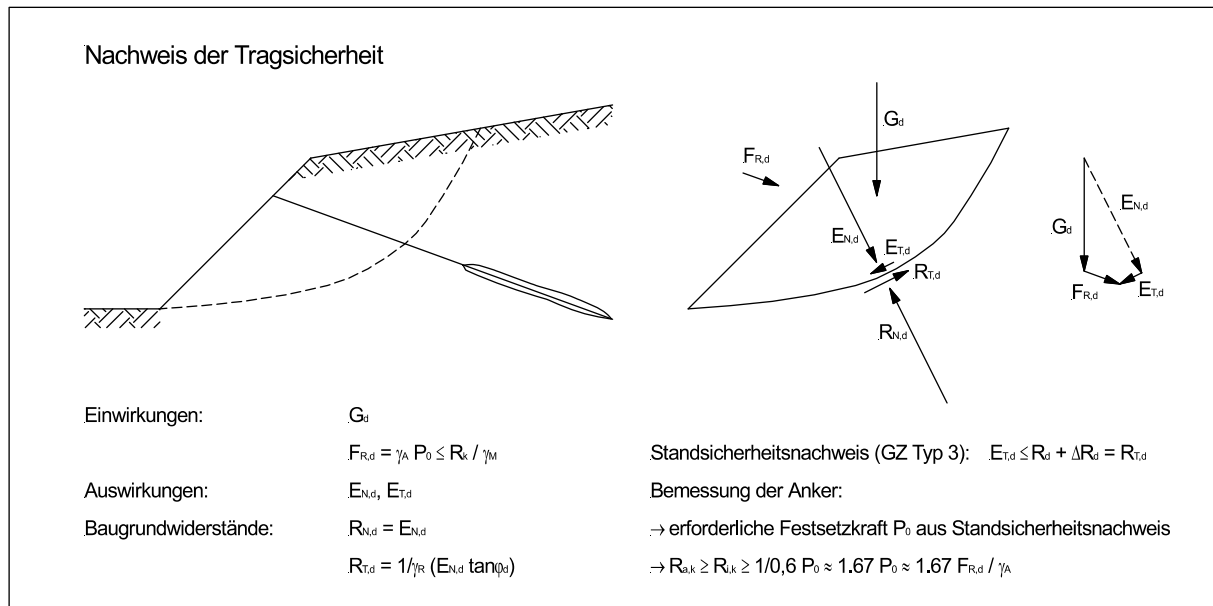


Bild 5.3 Böschungssicherung

Für den Nachweis der Tragsicherheit der Anker gilt (GZ Typ 2):

$$E_d \leq R_d \quad (267.16)$$

Die Anker werden praktisch nur auf Zug beansprucht. Aus (267.53) ergibt sich daher direkt der erforderliche Querschnitt der Zugglieder und der erforderliche äussere Tragwiderstand der Anker.

Der Tragsicherheitsnachweis liefert in diesem Fall keinen Wert für die Festsetzkraft P_0 . Diese kann zwischen den Grenzen gemäss (267.58) bzw. (267.59) frei gewählt werden. In den meisten Fällen ist man jedoch an einer hohen Vorspannkraft interessiert (Reduktion der Wandverformungen und Erhöhung der Stabilitätssicherheit) und wird deshalb $P_0 = 0,6 P_{pk}$ wählen.

Beim Nachweis der Standsicherheit des Bruchkörpers in Bild 5.3 schneidet die Gleitfläche die Ankerachse praktisch rechtwinklig. Der Geländebruch tritt ein, bevor die Anker genügend gedehnt werden, um den vollen Widerstand des Zugglieds zu mobilisieren.

Im Nachweis der Standsicherheit wird die Ankerkraft gemäss 10.4.2.2 als günstige Einwirkung berücksichtigt.

Für den Bemessungswert der Ankerkraft gilt mit (267.55) bzw. (267.57):

$$F_{R,d} = \gamma_A \cdot P_0 \leq \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (5.2)$$

Aus dem Nachweis der Standsicherheit gemäss GZ Typ 3 ergibt sich die erforderliche Festsetzkraft P_0 . Der minimal erforderliche innere und äussere Tragwiderstand der Anker kann mit (267.59) ermittelt werden.

Neu enthält 10.5.4.2 eine Regelung zum Verlauf der Ankerkraft im Bereich der Verankerungslänge. Für Standsicherheitsberechnungen darf eine lineare Abnahme der Ankerkraft von 100% am Ende der freien Ankerlänge auf 0% am Ende des Ankers angenommen werden.

Bemerkung: Die lineare Verteilung der Ankerkraft im Bereich der Verankerungslänge ist ein vereinfachtes, für die Berechnung der Standsicherheit aber genügend genaues Modell. Bei der Interpretation von Ankerprüfungen ist jedoch zu beachten, dass der äussere Tragwiderstand eines Ankers in Wirklichkeit nicht proportional zur Verankerungslänge ansteigt.

Bei der Auftriebssicherung in Bild 5.4 werden die Anker nur durch Zug beansprucht. Die Bemessung auf Tragsicherheit erfolgt nach GZ Typ 2 analog zum Beispiel der verankerten Stützwand (Bild 5.2).

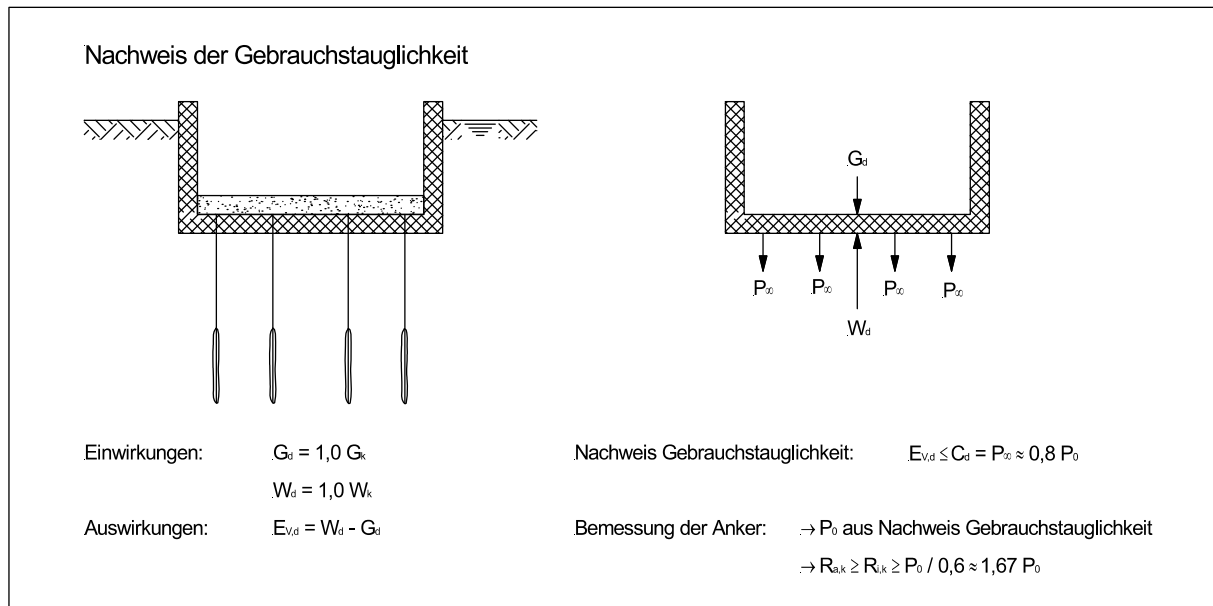


Bild 5.4 Wanne im Grundwasser

Zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit ist hier aber zusätzlich nachzuweisen, dass die vorhandene Vorspannkraft der Anker während der ganzen Nutzungsdauer grösser ist als der effektive Auftriebsüberschuss. Andernfalls könnten nämlich grössere Hebungen eintreten.

Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit gilt allgemein:

$$E_d \leq C_d \quad (267.21)$$

Normalerweise wird als Gebrauchsgrenze C_d eine maximal zulässige Setzung bzw. Verschiebung festgelegt. Im vorliegenden Fall kann der Nachweis vereinfacht direkt über die Ankerkraft geführt werden. Die Auswirkung E_d entspricht dabei dem effektiven Auftriebsüberschuss und die Gebrauchsgrenze C_d der vorhandenen Ankerkraft.

Mit einer groben Abschätzung der Ankerkraftverluste für die gesamte Nutzungsdauer ergibt sich die folgende Beziehung:

$$E_{V,d} \leq P_{\infty} \approx 0,8 \cdot P_0 \quad (5.3)$$

Daraus kann direkt die minimal erforderliche Festsetzkraft P_0 ermittelt werden. Diese kann entsprechend (267.59) für den erforderlichen Querschnitt der Anker und den erforderlichen äusseren Tragwiderstand massgebend werden.

Während also bei der Stützwand in Bild 5.2 der Tragwiderstand des Zugglieds für die Tragsicherheit massgebend wird, hängt diese bei der Böschungssicherung in Bild 5.3 von der effektiv vorhandenen Vorspannkraft bzw. von der gewählten Festsetzkraft ab. Am Beispiel der Auftriebssicherung in Bild 5.4 wird gezeigt, dass auch der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit für die Bemessung der Anker massgebend werden kann.

In den bisher gezeigten Beispielen werden die Anker als Widerstand oder als günstige Einwirkung behandelt. In gewissen Fällen muss die Ankerkraft jedoch auch als *ungünstige Einwirkung* betrachtet werden.

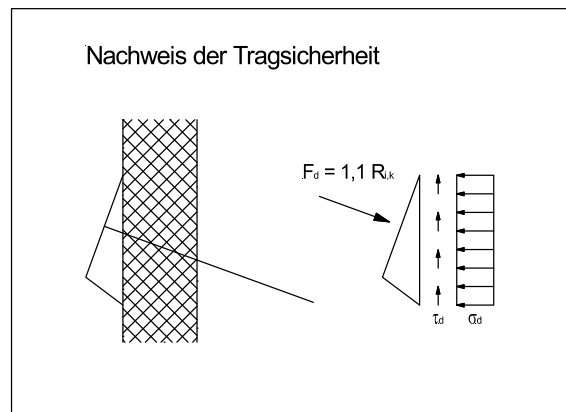


Bild 5.5 Auflagernocken für Anker

Beispielsweise ist die Ankerkraft in Bild 5.5 Leiteinwirkung für die Bemessung des Auflagers. Für den Bemessungswert der Ankerkraft als ungünstig wirkende Einwirkung gilt:

$$F_d = 1,1 \cdot R_{i,k} \quad (267.52)$$

Damit wird sichergestellt, dass der volle Widerstand des Ankerzugglieds ausgenutzt werden kann, bevor das Auflager versagt.

Die Festlegung der Ankerzahl und die Bemessung der einzelnen Anker erfolgt aufgrund der in den vorstehenden Beispielen gezeigten Anforderungen und unter Berücksichtigung der Baugrundverhältnisse, der Tragwerkeigenschaften und der geometrischen Gegebenheiten. Daraus ergeben sich die folgenden wesentlichen Kenngrößen der einzelnen Anker:

- Der innere Tragwiderstand $R_{i,k}$
- Der erforderliche äussere Tragwiderstand $R_{a,k}$
- Die Festsetzkraft P_0
- Die rechnerische freie Ankerlänge l_{fr} .

3.2. Ungespannte Anker

Bei der Bemessung ungespannter Anker ist zwischen Ankern aus Stahl und Ankern aus GFK zu unterscheiden. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf Stahlanker.

3.2.1 Charakteristischer Tragwiderstand

Der charakteristische Wert $R_{i,k}$ des *inneren Tragwiderstands* eines auf Zug beanspruchten ungespannten Ankers aus Stahl wird der Fließgrenze des Zugglieds gleichgesetzt und beträgt:

$$R_{i,k} = F_{sk} = A_s \cdot f_{sk} \quad (267.64)$$

Im Gegensatz zu vorgespannten Ankern können die ungespannten Stahlanker neben Zugkräften auch Querkkräfte und Biegemomente aufnehmen. Der innere Tragwiderstand ist in diesen Fällen nach Norm SIA 263 zu ermitteln.

Für den *äusseren Tragwiderstand* gelten die gleichen Bestimmungen wie bei den vorgespannten Ankern.

3.2.2 Bemessungswert des Tragwiderstands

Bei der Bemessung ungespannter Anker ist zu beachten, dass sich die Ankerkräfte erst durch Verformungen des Tragwerks und des Baugrunds aufbauen.

Der *Bemessungswert* eines durch Zug beanspruchten Ankers beträgt:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (267.67)$$

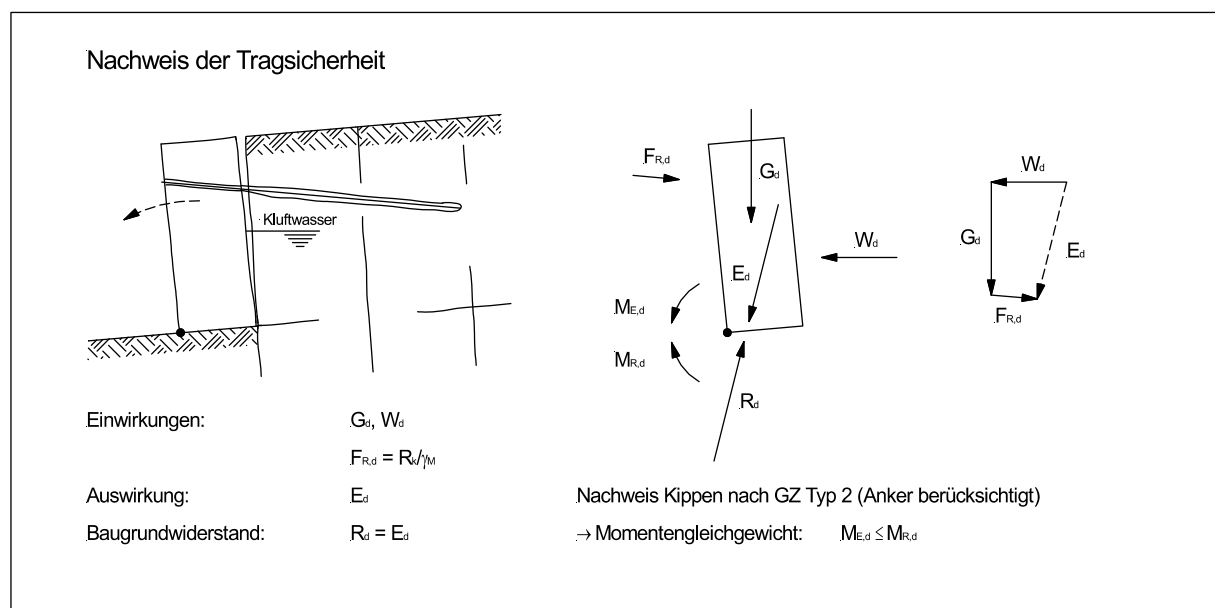


Bild 5.6 Kippen eines Felsblocks

Für Stahlzugglieder beträgt der Widerstandsbeiwert:

$$\gamma_M \geq 1,35 \quad (267.68)$$

3.2.3 Beispiele zur Bemessung

Die Bestimmungen zur Bemessung von Verankerungen mit ungespannten Ankern werden anhand von zwei einfachen Beispielen erläutert.

Beim Kippen des Felspaketes in Bild 5.6 werden die Anker praktisch nur auf Zug beansprucht. Im Kippnachweis werden die Ankerkräfte als günstige Einwirkung berücksichtigt. Können die zur Aktivierung der Ankerkraft erforderlichen Verschiebungen akzeptiert werden, darf als Bemessungswert der Einwirkung der volle Tragwiderstand des Zugglieds eingeführt werden.

$$F_{R,d} = R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (5.4)$$

Aus dem Kippnachweis ergibt sich somit der erforderliche Querschnitt der Anker und der erforderliche äussere Tragwiderstand.

Das Abrutschen des Felskörpers in Bild 5.7 soll durch ungespannte Anker verhindert werden, welche praktisch senkrecht zur Gleitfläche verlaufen.

Im Folgenden wird vereinfachend nur der Schubwiderstand der Anker berücksichtigt (Dübelwirkung). Zugkräfte in den Ankern, welche sich mit zunehmenden Verschiebungen aufbauen, werden vernachlässigt.

Im Gegensatz zur Böschungssicherung mit vorgespannten Ankern in Bild 5.3 können die Anker hier im Standsicherheitsnachweis (GZ Typ 3) direkt als Widerstand eingeführt werden, da sie keinen Einfluss auf die Scherwiderstände im Baugrund haben.

Für den Bemessungswert des Tragwiderstands der Anker gilt:

$$\Delta R_d = \frac{V_{R,k}}{\gamma_M} \quad (5.5)$$

Aus dem Nachweis der Standsicherheit ergibt sich somit direkt der erforderliche Querschnitt des Ankers.

Die Durchführung von *Scherversuchen* ist sehr aufwändig. Zur Ermittlung des äusseren Tragwiderstands von *quer belasteten* Ankern dürfen deshalb nach 11.7.2.1 Bemessungsformeln mit vorsichtigen Annahmen verwendet werden.

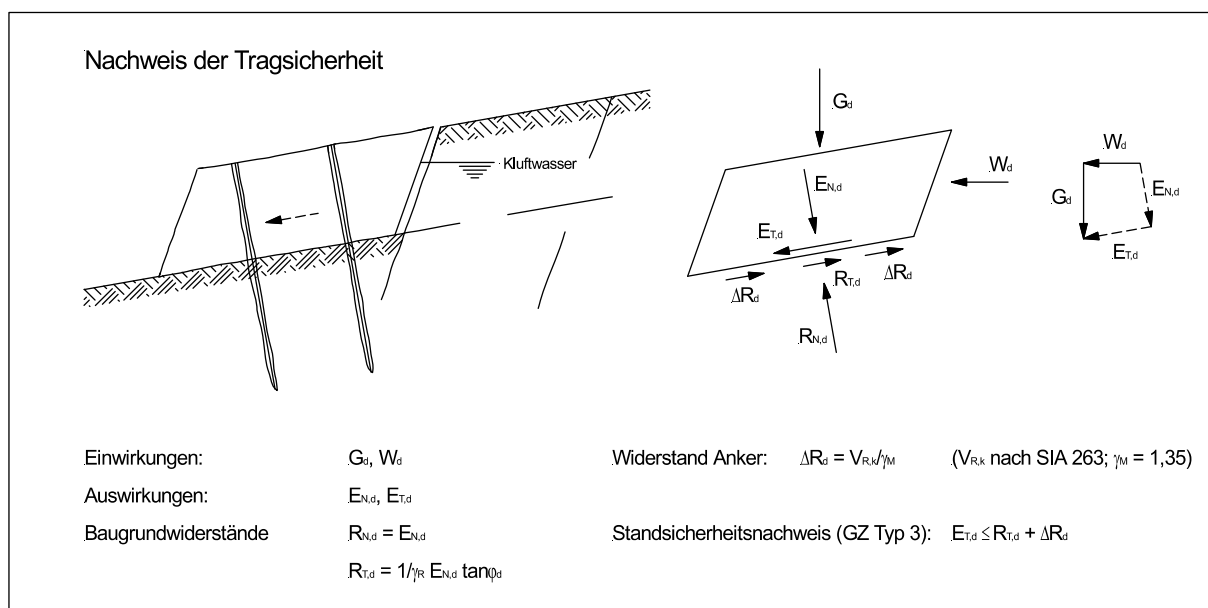


Bild 5.7 Gleiten eines Felsblocks

4. KONSTRUKTIVE MASSNAHMEN

Die konstruktiven Massnahmen werden in den Ziffern 10.6 bzw. 11.6 von SIA 267 geregelt. Zusätzlich sind SIA 267/1 sowie die europäischen Normen [5.1], [5.2] zu beachten.

4.1. Ankersysteme und Baustoffe

Für Verankerungen mit vorgespannten Ankern dürfen, analog zur Vorspanntechnik im Betonbau, nur Ankersysteme mit einer technischen Zulassung verwendet werden. Das Zulassungsverfahren wird in SIA 267/1 geregelt. Für ungespannte Anker ist keine technische Zulassung erforderlich.

Die Bestimmungen von SIA 262 *Betonbau* bezüglich Spannstählen und Spannsystemen gelten sinngemäss auch für vorgespannte Anker. Für die Bezeichnungen und Eigenschaften der Spannstähle gilt SIA 262 Tabelle 7. Neu wird die Fließgrenze $f_{p0,1k}$ als 0,1%-Dehngrenzspannung angegeben (bisher 0,2%), was zu leichten Änderungen bei den charakteristischen Werten führt.

Für ungespannte Anker ist duktiler, zäher Stahl zu verwenden, welcher mindestens den Anforderungen von Betonstahl B500B gemäss Norm SIA 262 entspricht. Die Verwendung von Spannstahl ist nicht gestattet. Für Zugglieder aus GFK werden in SIA 267 keine normierten Baustoffeigenschaften angegeben.

4.2. Korrosionsschutz

Das entscheidende Alterungsproblem von Ankern sind Korrosionsprozesse an den Zuggliedern. Da die materialtechnologischen Voraussetzungen für Korrosion und das Gefährdungspotential verschieden sind, kommen bei vorgespannten und bei ungespannten Ankern unterschiedliche Schutzkonzepte zur Anwendung.

4.2.1 Vorspannte Anker

Spannstähle werden besonders durch zwei Korrosionsprozesse gefährdet: konzentrierte anodische Korrosion (Lochfrass) einerseits, Wasserstoffversprödung andererseits. Eine

zeitliche Prognose über den Verlauf dieser beiden Prozesse ist nicht möglich.

Zur Verhinderung von Spannungsrissskorrosion wird bei hochfesten Spannstählen die zulässige Spannung auf $0,7 f_{pk}$ begrenzt (267.58). In Bereichen mit Lochfrass treten jedoch lokal viel höhere Spannungen auf, so dass es an diesen Stellen zu Spannungsrissskorrosion kommen kann, welche zu einem plötzlichen Bruch führt.

Zur so genannten Wasserstoffversprödung kommt es, wenn im kathodischen Bereich des elektrolytischen Prozesses Wasserstoffionen in den Spannstahl eindiffundieren. Diese bewirken eine Versprödung des Stahls, was zu einem plötzlichen, verformungslosen Bruch führen kann. Dieser Vorgang kann bei vorgespannten Ankern bei einer Makroelementbildung zwischen Anker und Bauwerksbewehrung, im kathodischen Bereich von lokalen Korrosionsangriffstellen, oder an der Eintrittsstelle von Streuströmen erfolgen.

Die grundsätzlichen Anforderungen an den Korrosionsschutz vorgespannter Anker sind in SIA 267 Ziffer 10.6.3 festgelegt. Für alle permanenten Anker und für temporäre Anker in aggressiver Umgebung oder mit einer kritischen Streustrombelastung wird ein *umfassender Korrosionsschutz* vorgeschrieben. Als permanente Anker gelten vorgespannte Anker mit einer geplanten Nutzungsdauer von mehr als zwei Jahren.

Gemäss dem in Ziffer 10.6.3.3 festgelegten Konzept des umfassenden Korrosionsschutzes wird der Anker durch eine vollständige elektrische Isolation gegenüber Baugrund und Tragwerk vor sämtlichen Korrosionsprozessen geschützt. Der Korrosionsschutz muss durch eine *elektrische Widerstandsmessung* an jedem fertig eingebauten und gespannten Anker überprüft werden.

Die konstruktive Ausbildung des Korrosionsschutzes von vorgespannten Ankern wird in SN EN 1537 geregelt. Diese Norm bietet – entsprechend den Gepflogenheiten in verschiedenen europäischen Ländern – mehrere unterschiedliche Korrosionsschutzsysteme zur

Auswahl an. Für Anker, welche gemäss SIA 267 einen umfassenden Korrosionsschutz erfordern, darf jedoch nur das in SIA 267/1 Ziffer 4.2 vorgegebene Korrosionsschutzsystem verwendet werden.

Für Anker, welche keinen umfassenden Korrosionsschutz erfordern, sind alle in SN EN 1537 geregelten Schutzsysteme zugelassen.

4.2.2 Ungespannte Anker

Da prEN 14490 zu den ungespannten Ankern erst als Entwurf vorliegt, werden die Anforderungen an den Korrosionsschutz in SIA 267 geregelt. Dabei ist zwischen den Ankern aus Stahl und den Ankern aus GFK zu unterscheiden.

Die für ungespannte Anker zugelassenen Stähle sind unempfindlich gegen Wasserstoffversprödung und Spannungsrisskorrosion. Die in Ziffer 11.6.3 festgelegten Schutzmassnahmen dienen dem Schutz gegen anodische Korrosion.

In Abhängigkeit von Bauwerksklasse, Korrosionsgefährdung und geplanter Nutzungsdauer werden vier Schutzstufen unterschieden. Der Korrosionsschutz erfolgt grundsätzlich durch Einbettung des Zugglieds in Zementmörtel, bei höheren Anforderungen zusätzlich durch ein Hüllrohr aus Kunststoff. Eine Überdimensionierung des Zugglieds ist bei Lochfrasskorrosion wirkungslos und deshalb als Alternative zu den obigen Massnahmen nicht zulässig.

Da der Zustand von Korrosionsschutz und Zugglied bei ungespannten Vollverbundankern nicht überprüft werden kann, wird für Bauwerke der Klasse III (Einteilung der Klassen nach Norm SIA 261) der Einsatz von ungespannten Ankern nicht empfohlen, wenn eine Korrosionsgefährdung vorhanden ist.

Die Schutzmassnahmen für ungespannte Anker aus GFK sind in Ziffer 11.6.5 festgelegt. Dabei wird nur zwischen temporären Ankern (Nutzungsdauer bis 5 Jahre) und permanenten Ankern (Nutzungsdauer über 5 Jahre) unterschieden, auf eine detailliertere Abstufung der Schutzmassnahmen wie bei den Ankern aus Stahl wird verzichtet.

Die Glasfasern von Ankern aus GFK korrodieren in alkalischem Milieu. Der Korrosionsschutz besteht deshalb im wesentlichen in der Sicherstellung einer vollständigen Einbettung der Fasern in der Harzmatrix. Zudem müssen die Dehnungen des Zuggliedes auf Werte begrenzt werden, bei denen in der Harzmatrix keine Mikrorisse entstehen.

5. AUSFÜHRUNGSKONTROLLEN UND ÜBERWACHUNG

Die Ausführungskontrollen und die Überwachung werden in den Ziffern 10.7 bzw. 11.7 geregelt. Daneben ist auch Ziffer 6 von SIA 267 zu beachten, welche allgemeine Bestimmungen bezüglich Ausführungskontrollen und Überwachung enthält.

5.1. Prüfungen an vorgespannten Ankern

SIA 267 legt den Zweck und die Anzahl der erforderlichen Ankerprüfungen fest. Die Durchführung und Auswertung der Ankerprüfungen wird in SIA 267/1 geregelt.

5.1.1 Ankerversuche

Die Ankerversuche dienen zur Ermittlung des in einem bestimmten Untergrundbereich erreichbaren äusseren Tragwiderstandes R_a und bilden die Grundlage für die Beurteilung und die Abnahme der Bauwerksanker. Pro Untergrundbereich sind in der Regel mindestens 3 Ankerversuche auszuführen.

Beim Ankerversuch wird der Versuchsanker stufenweise gespannt und dabei das Kraft-Verformungsverhalten registriert. Auf jeder Kraftstufe wird das Kriechverhalten des Verankerungskörpers ermittelt.

Beim Ankerversuch sollte eine Prüfkraft P_{pv} erreicht werden, welche mindestens gleich gross ist wie der innere Tragwiderstand $R_{i,k}$ der geplanten Bauwerksanker. Damit dies möglich ist, ohne die beim Ankerversuch maximal zulässige Spannung von $0,95 f_{p0,1k}$ zu überschreiten, müssen die Versuchsanker mit einem verstärkten Zugglied ausgerüstet werden.

5.1.2 Spannproben

Vorgespannte Ankern nehmen sehr grosse Kräfte auf; der Ausfall eines Ankers hat daher in der Regel erhebliche Konsequenzen für die Sicherheit eines verankerten Bauwerks. Aus diesem Grund muss die Tragfähigkeit von jedem Anker mit einer *Spannprobe* überprüft werden.

Bei der Spannprobe werden die Anker in der Regel mit folgender Kraft geprüft:

$$P_p = 0,75 \cdot P_{pk} \geq 1,25 \cdot P_0 \quad (5.6)$$

Der Bemessungswert des inneren Tragwiderstands eines vorgespannten Ankers beträgt höchstens $R_d = P_{pk} / 1.35 \approx 0.74 P_{pk}$. Bei der Spannprobe wird also jeder Anker mindestens mit dem Bemessungswert seines Tragwiderstandes geprüft. Dies kann wohl kaum ein anderes Tragelement im Bauwesen von sich behaupten.

Die Kriterien für die Beurteilung der Anker bei der Spannprobe werden aus den Ankerversuchen abgeleitet. Dazu wird das Kriechmass der Versuchsanker bei der Kraftstufe ermittelt, welche der späteren Prüfkraft der normalen Bauwerksanker entspricht. Anker, welche bei der Spannprobe dieses *zulässige Kriechmass* nicht überschreiten, weisen mindestens den gleich grossen äusseren Tragwiderstand auf wie die Versuchsanker.

Das zulässige Kriechmass k_{adm} nimmt je nach Untergrund, Ankertyp und Art der Injektionen sehr unterschiedliche Werte an. In der Regel liegt k_{adm} etwa zwischen 0,3 und 0,8.

5.1.3 Prüfung des Korrosionsschutzes

Bei vorgespannten Ankern mit umfassendem Korrosionsschutz muss dieser an jedem Anker geprüft werden. Die Prüfung erfolgt mit der elektrischen Widerstandsmessung I.

In der Praxis erfüllen meist nicht 100% der Anker die Anforderungen der Widerstandsmessung I. Wird von der Bauherrschaft eine gewisse Ausfallquote akzeptiert (z.B. 5 bis 10%), ist an den ungenügenden Ankern mit der Widerstandsmessung II nachzuweisen, dass

der Ankerkopf keinen Kontakt mit der Tragwerksbewehrung aufweist.

5.2. Prüfungen an ungespannten Ankern

SIA 267 legt den Zweck und die Anzahl der erforderlichen Ankerprüfungen fest. Die Durchführung und Auswertung der Ankerprüfungen ist in SIA 267/1 geregelt.

Bei den Prüfungen der ungespannten Ankern wird grundsätzlich zwischen Ankerversuchen und Qualitätsprüfungen unterschieden. Nur die Ankerversuche erlauben direkte Aussagen zum Tragwiderstand der Anker.

5.2.1 Ankerversuche

Die Ankerversuche bestehen normalerweise aus Ausziehversuchen, mit welchen der äussere Tragwiderstand R_a (Zugwiderstand) des Ankers ermittelt wird. Scherversuche werden nur in Ausnahmefällen durchgeführt. Pro Untergrundbereich sind in der Regel mindestens 3 Ausziehversuche auszuführen.

Die Durchführung der Ausziehversuche erfolgt ähnlich wie bei den Ankerversuchen an vorgespannten Ankern. Für die Ausziehversuche müssen die Anker speziell ausgebildet werden, so dass die Übertragung der Kräfte nur in der Verankerungsstrecke stattfinden kann (freie Ankerlänge). Damit eine Prüfkraft F_{pv} erreicht werden kann, welche mindestens gleich gross ist wie der vorgesehene innere Tragwiderstand $R_{i,k}$ der Bauwerksanker, müssen die Versuchsanker mit einem verstärkten Zugglied ausgerüstet werden. Die maximale Spannung bei der Ankerprüfung ist für Stahlanker auf $0,90 f_{sk}$ zu begrenzen.

5.2.2 Qualitätsprüfung (Zugproben)

Im Gegensatz zu den vorgespannten Ankern, wo jeder einzelne Anker mit einer Spannprobe geprüft wird, beschränkt man sich hier auf die Durchführung von Zugproben an einigen ausgewählten Ankern.

Die Zugprobe wird an fertig injizierten Ankern durchgeführt, bei welchen aber das Einbettungsmaterial direkt hinter dem Ankerkopf auf eine Länge von mindestens 0,5 m entfernt

werden muss. Dabei werden die Anker auf eine Prüfkraft von $F_p \geq R_d$ gespannt.

Mit der Zugprobe kann der Verbund zwischen Ankern und Baugrund geprüft werden. In SIA 267/1 sind Richtwerte zur Beurteilung der Zugproben angegeben. Im Gegensatz zur Spannprobe an vorgespannten Ankern liefert die Zugprobe aber keine direkte Auskunft über den äusseren Tragwiderstand hinter der kritischen Gleitfuge.

5.3. Überwachung

In den Ziffern 10.7.5 bzw. 11.7.6 wird festgelegt, dass verankerte Bauwerke während der ganzen Nutzungsdauer zu überwachen sind. Bei Verankerungen mit ungespannten Ankern erfolgt die Überwachung in der Regel durch Inspektionen und Verformungsmessungen, bei Verankerungen mit vorgespannten Ankern zusätzlich mit Messungen der Ankerkräfte. Bei permanenten Verankerungen mit vorgespannten Ankern sind periodische Messungen des elektrischen Widerstands (Korrosionsschutz) durchzuführen. Die Anzahl der vorzusehenden Mess- und Kontrollanker ist in 10.7.5 festgelegt.

6. LITERATUR

- [5.1] SN EN 1537 (1999). *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Verpressanker*; 2000; Schweizer Ingenieur- und Architektenverein; 69 pp.
- [5.2] prEN 14490 (2002). *Ausführung spezieller geotechnischer Arbeiten (Spezialtiefbau) – Bodenvernagelung*; 2002; Europäisches Komitee für Normung CEN.
- [5.3] Empfehlung SIA V 191 (1995). *Vorgespannte Boden- und Felsanker*; 1995; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; 64 pp.
- [5.4] Vornorm SIA 191/1 (2001). *Ungespannte Boden- und Felsanker (Nägel) mit Vollverbund*; 2001; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; 40 pp.