

Verankerungen im Objektschutz

Dr. Ruedi Krähenbühl, Geologe, BauGrundRisk GmbH Chur

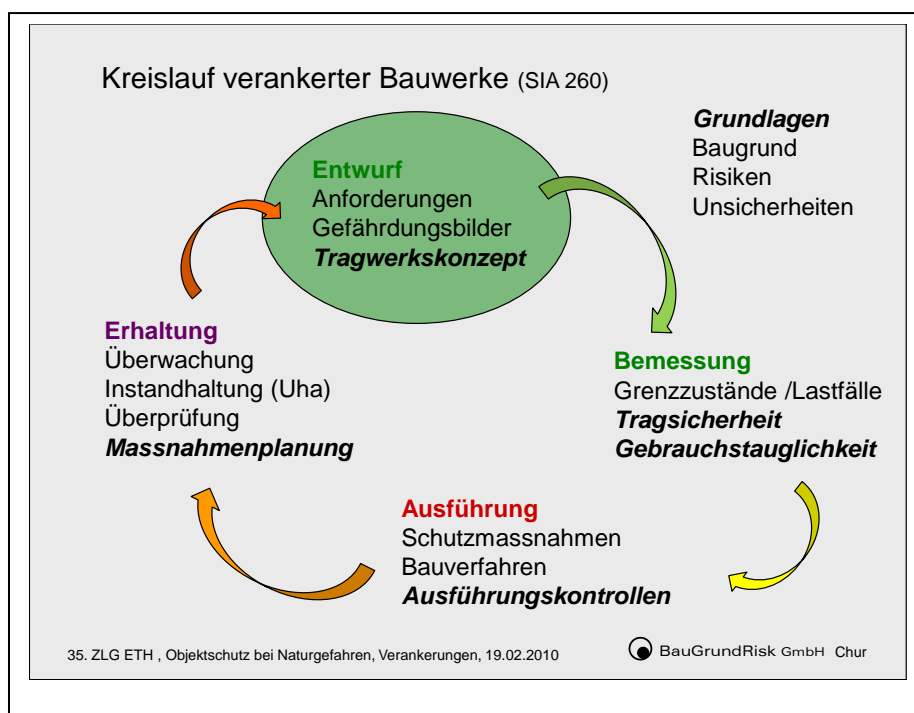


Seit den 1950-er Jahren wurden Anker aus der Spanntechnik entwickelt. Seither sind sie in Gebrauch und wurden insbesondere hinsichtlich des Korrosionsschutzes stark entwickelt. Bei den Vorspannankern sind heute zertifizierte Systeme im Angebot. Sie erreichen eine hohe Zuverlässigkeit und lange Nutzungsdauer. Die ungespannten Anker (Nägel) ziehen in dieser Entwicklung nach. In Tragwerken werden heute daher oft Anker eingesetzt.



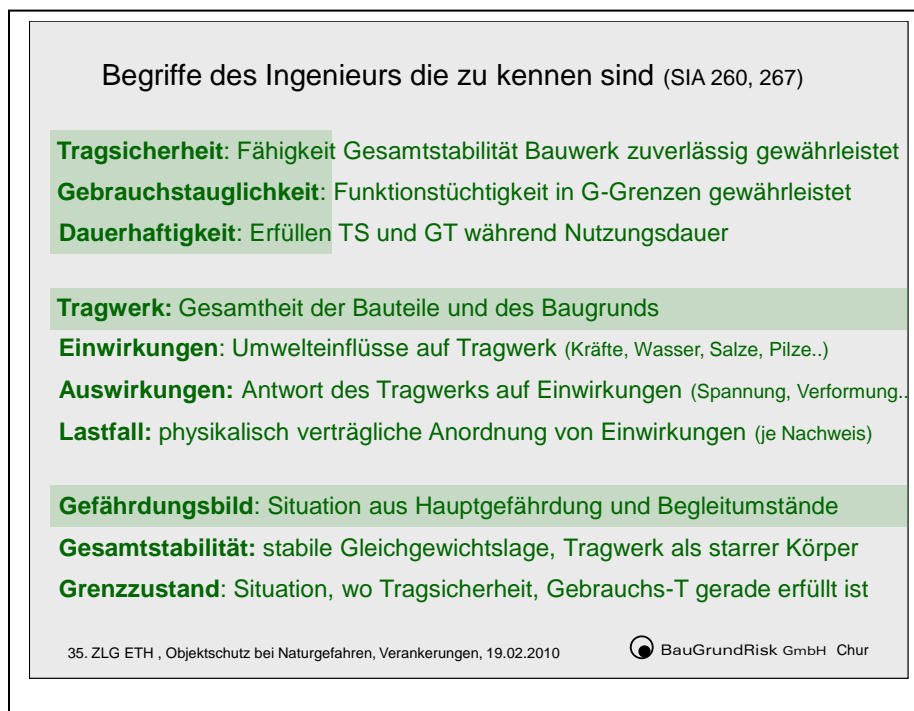
In der Praxis liegt das Schwergewicht nach wie vor in der Konzeption, Bemessung und Ausführung von verankerten Tragwerken. Im Tiefbau ist die ebenso wichtige Erhaltung von Bauwerken ein fester Bestandteil geworden. Im Objektschutz, insbesondere beim Lawinen- und Steinschlagschutz steht dies noch in den Anfängen. Da Verankerungen bezüglich der Tragsicherheit von Bauwerken eine grosse Bedeutung haben, muss auch deren Erhaltung ein grosser Stellenwert beigemessen werden.

1. Entwurf von verankerten Tragwerken



Die Norm SIA 260, Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, zeigt die Tätigkeit der Verantwortlichen innerhalb des Lebenszyklus verankerter Tragwerke auf.

Dabei kommt dem Entwurf und dem **Tragwerkskonzept** eine entscheidende Bedeutung zu. Ein einmal gewähltes, ungünstiges Konzept führt zu Schwierigkeiten, die in der Regel mit viel Zeit- und Kostenaufwand korrigiert werden müssen. Oftmals bleiben solche Bauwerke zeitlebens ein Flickwerk.



Es ist von hoher Bedeutung, dass die am Projekt Beteiligten die **Begriffe** des Ingenieurs kennen, und dass man die selbe Sprache spricht, ein in der Praxis oft auftretender Mangel.

Für den Bodensachverständigen ist wichtig zu erkennen, dass der Baugrund ein Teil des Tragwerks ist. Da die Eigenschaften des Baugrunds im Regelfall weniger genau bekannt sind als jene der verwendeten Baustoffe, muss bei den geologisch-geotechnischen Abklärungen ein erhöhter Aufwand geleistet werden.

Anforderungen an Verankerungen

Projekt

Tragfähigkeit

Gebrauchstauglichkeit

Dauerhaftigkeit

Nutzungsdauer

A13c Lawinerverbauung Cozz, Pian San Giacomo

35. ZLG ETH, Objektschutz bei Naturgefahren, Verankerungen, 19.02.2010 BauGrundRisk GmbH Chur

Die **Nutzungsdauer** von Bauwerken des Objektschutzes liegt zwischen 50 – 100 Jahren. Somit gelangen ausschliesslich permanente Verankerungen zum Einsatz. Sie haben die Anforderungen der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit zu erfüllen. Ist während der Nutzung letztere nicht gewährleistet, kann dies letztlich die Tragfähigkeit und damit die Sicherheit des Bauwerks beeinträchtigen.

Verankerungsprojekt (Entwurf, Tragwerkskonzept; [11])

- **Konzeptionelle Festlegungen**
 - Art
 - Verankerungszone
 - Lebensdauer (Korrosionsschutz)
 - Gefährdungsbilder
 - Bauetappen
- **Geometrische Festlegungen**
 - Baugrundmodell
 - Ansatzpunkt Anker
 - Verankerungslängen
 - Neigung
- **Materialtechnische Festlegungen**
 - Ankertyp
 - Bohrdurchmesser
 - Injektionen
 - Ankerversuche

Litzenanker

Stabanker

Seilanker

Dübel

CEM / Mörtel

Nachinjektionen

vorinjiziert

vorgespannt

Im Objektschutz immer „permanent“ (50 – 100 Jahre)

ungespannt, schlaff

35. ZLG ETH, Objektschutz bei Naturgefahren, Verankerungen, 19.02.2010 BauGrundRisk GmbH Chur

Im Regelfall macht der Ingenieur oder der Geotechniker, meist ebenfalls ein Ingenieur, das **Verankerungsprojekt**. Eine wesentliche Entscheidung ist stets, ob vorgespannte oder schlaffe Ankersystem die zweckmässige Lösung sind. Hierfür liefern die Gefährdungsbilder und das Baugrundmodell eine wesentliche Grundlage. Der Kostenfaktor darf nicht im Zentrum stehen.

Begriffe des Ingenieurs die zu kennen sind (SIA 260, 267)

Baugrundmodell: Idealisierte Beschr. des Baugrunds durch Baugrundwerte

Baugrundwert: geometrische, geotechnische Grösse zur Beschreibung von Aufbau und Eigenschaften des Baugrunds

Homogenbereich: Bereich mit BG-Eigenschaften in definierten Grenzen

Geotechn. Risiko: Gefährdung des Bauwerk durch Baugrundverhalten

Baugrundwiderstand: Tragfähigkeitsgrenze des Baugrunds (Erd-, Scher-, Gleit- ..)

Geschätzter Erwartungswert: geschätzter Mittelwert einer Grösse

Vorsichtiger Erwartungswert : mit Vorhaltemass versehener geschätzter EW

Charakteristischer Wert: für Nachweis verwendete Grösse der Einwirkung

Bei den Begriffen ist zu berücksichtigen, dass das **Baugrundmodell** stets eine idealisierte Beschreibung des Baugrunds ist und Unsicherheiten enthält.

Der Begriff Baugrundwert enthält auch geometrische Grössen und ist ein Bestandteil des Baugrundmodells.

Das Baugrundmodell erstellt jener, der das Tragwerkskonzept und die Bemessung macht.

Das Verankerungsprojekt braucht Grundlagen (Tragwerkskonzept)

●● Gefährdungsbilder

Gefährdungsbild	Auswirkung	Wahrscheinlichkeit	Massnahmen
A übermässiges Hangwasser	Hangbeschleunigung	alle 3 Jahre, saisonal	Bemessung, Entwässerung
B Flusserosion

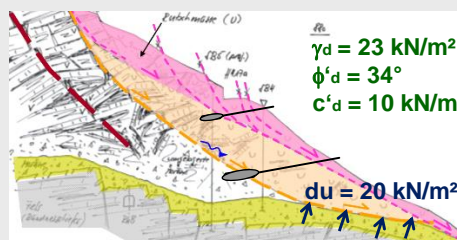
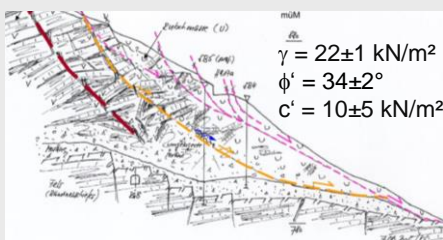
Grundlagen
 Baugrund
 Risiken
 Unsicherheiten

● **Geologisches Modell**

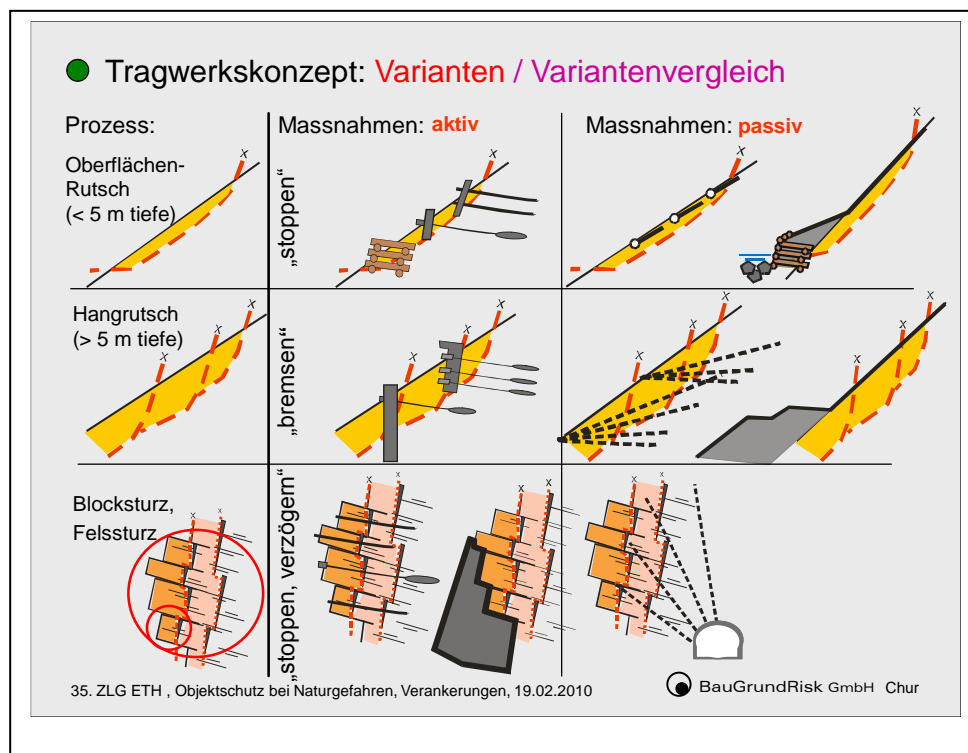
Schichtaufbau, geotechnische Eigenschaften, Kinematik, Gefährdungsbilder, Unsicherheiten

● **Baugrundmodell**

Rückrechnung Baugrundwerte, Einwirkungen, Auswirkungen

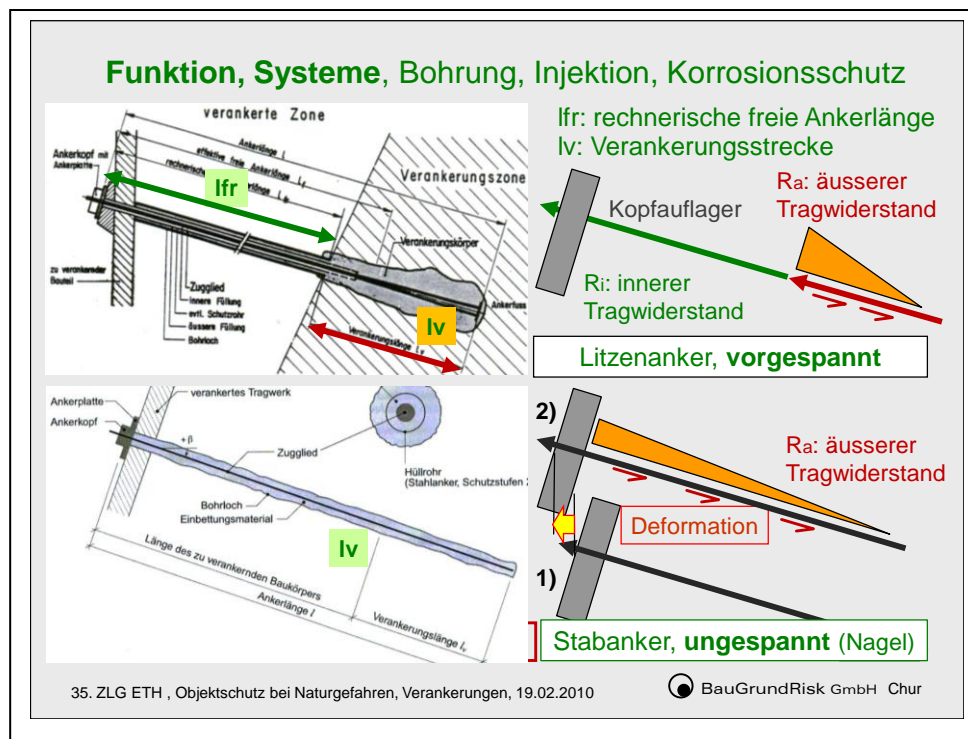


Falls das **geologische Modell** des Geologen stark von der Wirklichkeit abweicht, tut dies auch das Baugrundmodell. Das resultierende Tragwerkskonzept läuft dann Gefahr, die gestellten Anforderungen nicht erfüllen zu können. Damit erhält das geologische Modell als initiale Grundlage eine grosse Bedeutung. Sowohl der Geologe, wie auch der Ingenieur sollen sich mit den Gefährdungsbildern auseinandersetzen.



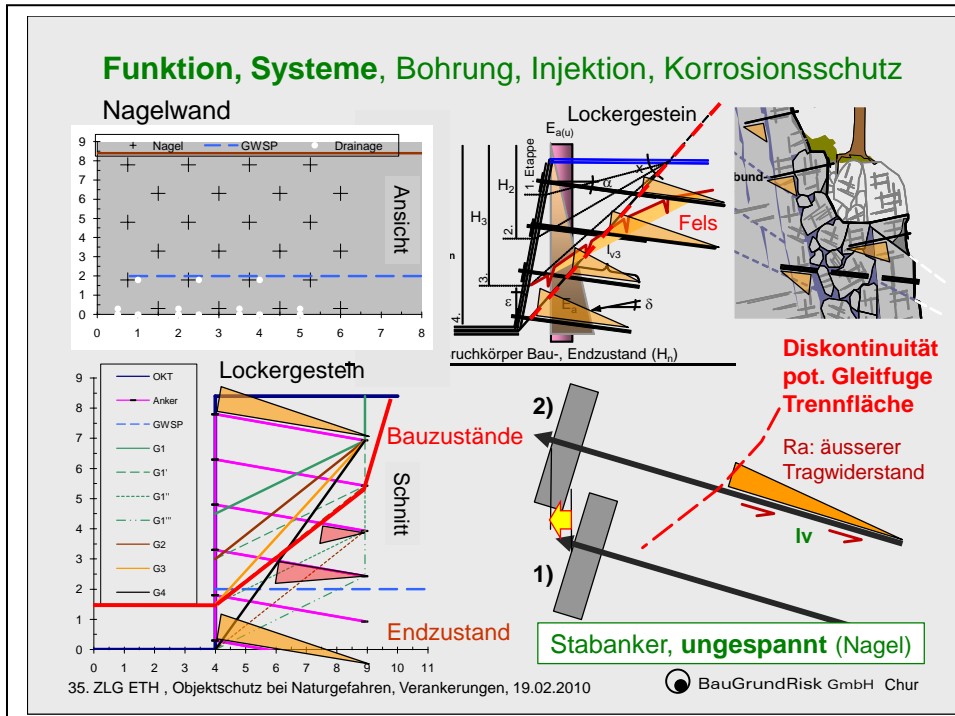
Das ASTRA und die SBB verlangen bei verankerten Tragwerkskonzepten zwingend einen **Variantenvergleich** [7].

Hierbei gilt es stets zu klären, ob unterhaltsärmere und kostengünstigere Konzepte ohne Verankerungen möglich sind. Paradoxerweise resultiert dies oft aus einem ursprünglich als Verankerungsprojekt angegangenen Konzept im Vergleich zu alternativen Varianten.



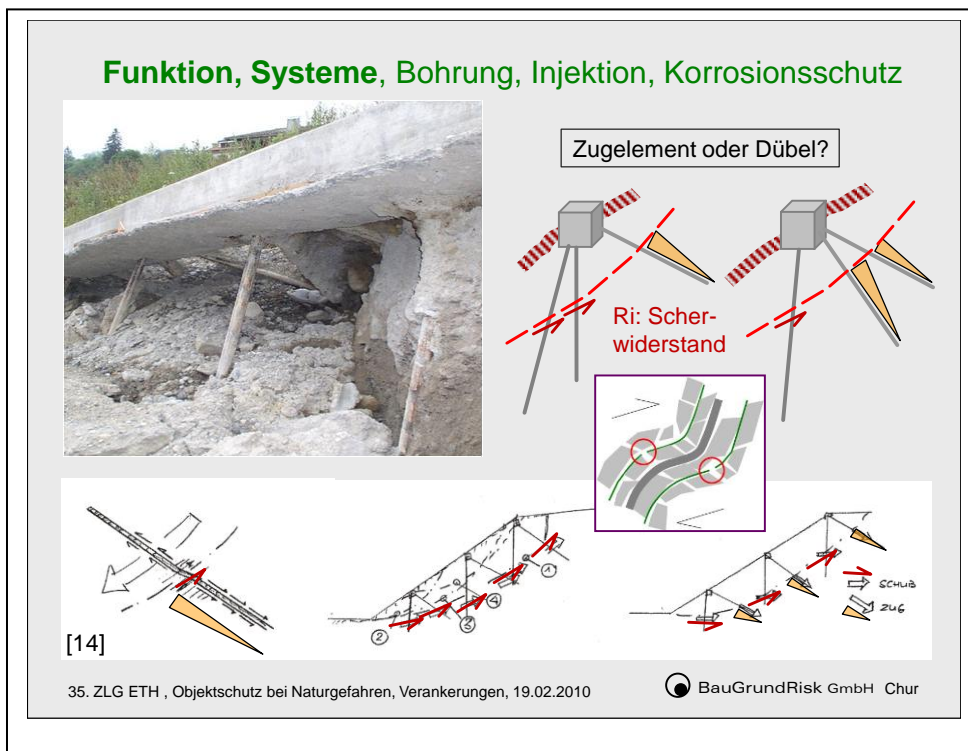
Die **Funktionsweise** von Anker, die auf dem Markt angewendeten Systeme inkl. Bohrung, Injektion und Korrosionsschutz, bilden eine weitere Grundlage. Aufgrund des sich laufend weiter entwickelnden, vielfältigen Materials ist es kaum möglich, alle Details zu kennen. Bei der Ausführung von Ankerarbeiten können oft geringfügige Veränderungen grosse Auswirkungen haben, dies in positiver, wie auch in negativer Richtung.

In der Entwurfsphase ist wesentlich, die Auswirkungen von Verformungen des Tragwerks zu prüfen, um zu klären, ob schlaife Ankersysteme zulässig oder vorgespannte erforderlich sind. Gemäss [7] sind in kriechenden oder kontinuierlichen Deformationen unterworfenen Rutschhängen bzw. Felsböschungen schlaife System nicht zulässig. Vorspannte Stabanker sind gemäss [7] nicht zulässig, treten aber in alten Bauwerken noch auf.

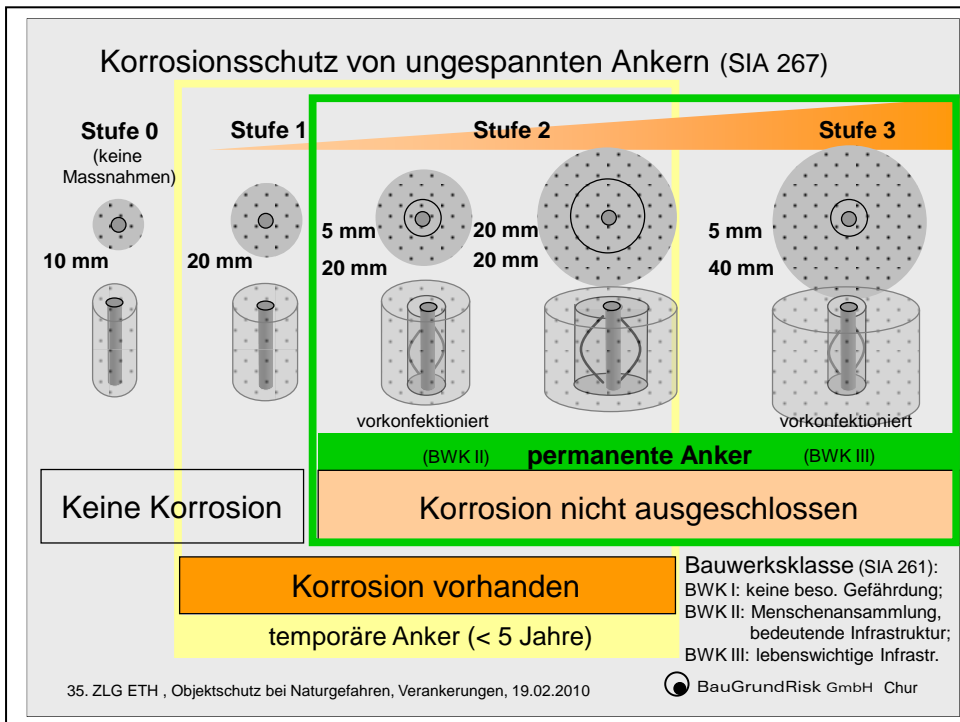


Eine zentrale Frage ist auch bei schlaffen Anker, wo die geeignete **Verankerungszone** liegt. Ist eine Diskontinuität vorhanden, kann die Verankerung erst dahinter wirksam werden. Der äussere Tragwiderstand R_a ist dann in der Bemessung erst hinter dieser Zone einzusetzen. Ausnahmen können Nagelwände in homogenem Baugrund bilden, wo sie als armerter Erd- oder Felsstützkörper wirken. Falls ein Aushub erfolgt, müssen die Nachweise auch alle Bauzustände

beinhalten.



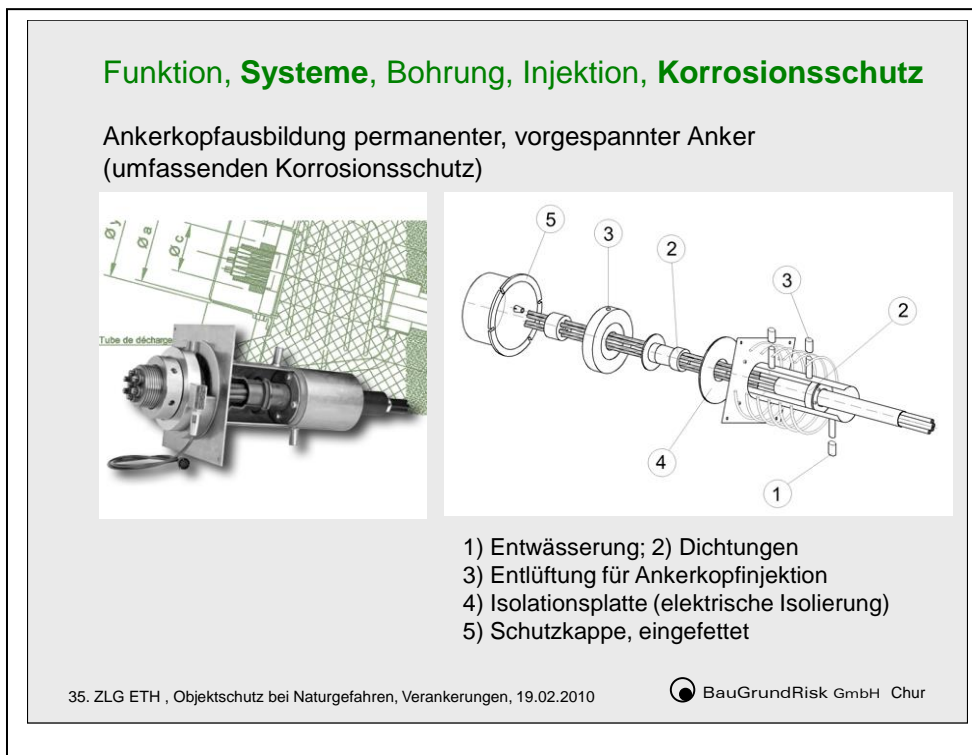
Der Einsatz von ungespannten Stabankern ist vielfältig möglich [14]. Sie können auch als **Dübel** über den Scherwiderstand des Stahls wirken. In Wirklichkeit sind sie dann oft auf Schub und Zug beansprucht, was eine Biegung bewirken kann. In diesem Fall ist bei den permanenten Systemen speziell die Wirksamkeit des Korrosionsschutzes zu hinterfragen. Das spröde Injektionsgut ist äusserst empfindlich auf Biegung und zersplittert leicht.



Die Wirksamkeit des **Korrosionsschutzes** entscheidet über die Dauerhaftigkeit von Ankern. Die SIA 267 lässt keine Verzinkung als K-Schutz zu [2, 7], die EN dagegen schon [4].

Vorkonfektionierte, **ungespannte Anker** haben eine erhöhte Zuverlässigkeit, sind jedoch im unwegsamen Gelände unhandlich. Das ASTRA und die SBB verlangen bei ungespannten, permanenten Ankern eine elektrische Überprüfung des K-Schutzes [7]. Im

Regelfall müssen die Ankerfirmen solche Anker speziell herstellen. **Elektrische Kriechströme** insbesondere von Gleichstrombahnen (RhB) sind über 10-er von km wirksam und verursachen durch elektrochemische Prozesse Lochfrass im Zugglied von nicht isolierten Ankern.



Am weitesten entwickelt ist der nach Norm für permanente Anker verlangte, „**umfassende**“ **K-Schutz** der Vorspannlitzenanker, was deren hohe Zuverlässigkeit gewährleistet. Für öffentliche Bauten sind nur von der EMPA zertifizierte Ankersysteme zugelassene [7, 8]. Die vollständige, elektrische Isolation der Anker vom übrigen Tragwerk kann während der Ausführung und Nutzungsdauer messtechnisch überprüft werden.

● Bemessung Verankerungen: Grenzzustände Typ 1-4 [2, 11]

GZ Typ 1:
Verlust des Gleichgewichts
SIA 276

(für Nagelwände)

GZ Typ 2:
Erreichen des Tragwiderstands

Verankerung-Kräfte A_d

GZ Typ 3:
Verlust der Standfestigkeit

Ankerkräfte ($\gamma_A \cdot P_o$)
freien Ankerlängen l_{fr}

GZ Typ 4:
Erreichen der Ermüdungsfestigkeit

Vorspananker: Einwirkungen $E_d \leq R_d$ Widerstände

$R_d \leq R_k / \gamma_M$
 $R_a \leq R_i$
 $1.35 \cdot E_d \leq R_{i,k}$

Festsetzkraft P_o $0.35 \cdot P_{pk} \leq P_o \leq 0.6 R_{a,k}$

Partialfaktoren (PF):
 γ_A : Ankerkraftbeiwert
 γ_M : Widerstandsbeiwert
 $\gamma_M = \gamma_R \cdot \gamma_m$ ($\gamma_m \geq 1.35$)
 γ_R : PF Tragwiderstand
 γ_m : PF Baustoff oder Baugrund
 R_k : charakteristische TW
 $R_{i,k}$: innerer TW Stahlanker
 $R_{a,k}$: äusserer TW Anker
 P_{pk} : Bruchkraft Zugglied

Grenzzustand: Situation, wo Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit gerade erfüllt ist

35. ZLG ETH, Objektschutz bei Naturgefahren, Verankerungen, 19.02.2010 BauGrundRisk GmbH Chur

Für die **Bemessung** von verankerten Tragwerken sind meist die Grenzzustände Typ 2 und 3 massgebend. Nach der Methode der Partialfaktoren ist in der Betrachtung des Grenzgleichgewichts die Summe der Widerstände R_d stets höher als jene der Einwirkungen E_d . Der innere Tragwiderstand R_i der Zugglieder muss stets höher als der äusserer des Baugrunds R_a gewählt werden. Die Festsetzkraft P_o der Vorspananker wird zwischen 35% der Bruchlast des Stahl-

Zugglieds und 60% des mittels Ankerversuchen erhobenen, äusseren Tragwiderstands R_a des Baugrunds gewählt. Im Projekt sind minimal P_{pv} , P_o , l_{fr} , l_v (Annahme) sowie die Korrosionsschutzstufe festgelegt.

2. Ausführung von Ankerarbeiten

● Kontrollplan: Fixiert Art, Umfang, Verantwortung, Zeitpunkt

Nr	Gegenstand Material/ Bauteil	Art	Prüfung / Kontrolle					Massnahme		
			Umfang	Anforderungen	Verantwortung			Zeitpunkt	bei Nichterfüllen	
					Veranlasst	Ausführung	Beurteilung		Massnahme	Zuständigkeit
1.4	Nägelspannt	-Material	visuell (Lieferscheine)	gemäss Plan	öBL	öBL	öBL	laufend	Material ergänzen	BU
		-Ausziehversuche (Versuchsanker)	3 Prüfanke, äusserer Tragwiderstand R_a gem. SIA 267/1	Gem. SIA 267/1	öBL	BU	PV	Vor erstellen der Bauwerksanker	Zusatzversuche, Ankerlänge verlängern, Mörtel anstatt CEM	PV
		-Zugproben (Qualitätskontrolle)	6 Anker gem. SIA 267/1	Gem. SIA 267/1	öBL	BU	öBL	2. Ankerlage	Gem. Absprache öBL/ BU	öBL

35. ZLG ETH, Objektschutz bei Naturgefahren, Verankerungen, 19.02.2010 BauGrundRisk GmbH Chur

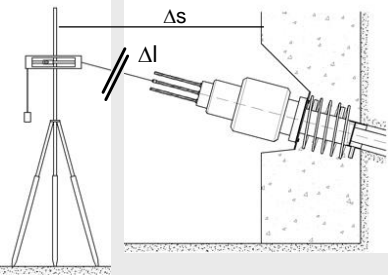
Der vom Projektverfasser erstellte **Kontrollplan** ist die Basis der Ausführungskontrollen, welche die projektgemässe Umsetzung des Bauwerks gewährleisten. Fehlt dieser, ist er von der verantwortlichen Bauleitung zu erstellen.

Der Kontrollplan regelt auch die in Frage kommenden Massnahmen, die bei Nichterfüllen der Anforderungen zu treffen sind. Damit wird er zu einem wirkungsvollen Instrument des Pro-

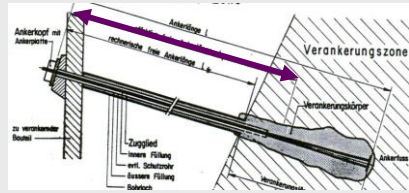
jektverfassers.

Zweck Ankerversuche: Tragwiderstand R_a bestimmen [3]

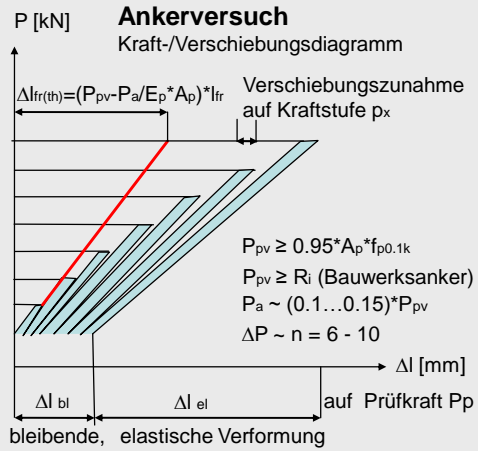
Messeinrichtung
(Messgenauigkeit 0.01 mm; 1 N)



Ergebnis: wirksame freie Ankerlänge l_{fr}



Ankerversuch
Kraft-/Verschiebungsdiagramm



$\Delta l_{fr}(t_h) = (P_{pv} - P_a / E_p) * A_p * l_{fr}$ Verschiebungszunahme auf Kraftstufe p_x

$P_{pv} \geq 0.95 * A_p * f_{p0.1k}$
 $P_{pv} \geq R_i$ (Bauwerksanker)
 $P_a \sim (0.1 \dots 0.15) * P_{pv}$
 $\Delta P \sim n = 6 - 10$

bleibende, elastische Verformung

35. ZLG ETH, Objektschutz bei Naturgefahren, Verankerungen, 19.02.2010 BauGrundRisk GmbH Chur

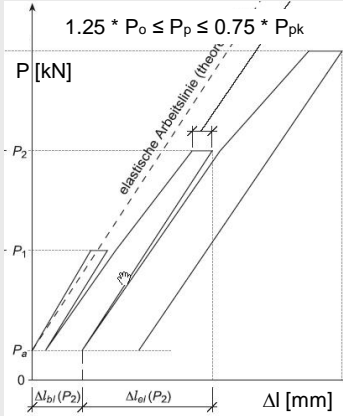
Die **Ankerversuche** von vorgespannten und ungespannten Ankern dienen dazu, einerseits zu prüfen, ob die im Projekt dem Baugrund zugemuteten Tragwiderstände R_a erreicht werden können. Andererseits zeigt der ausführende Unternehmer, dass er in der Lage ist, die Anker nach Vorgaben des Projekts auszuführen. Sie sind stets so zu konzipieren, dass mit verschiedenen Verankerungslängen die minimal erforderliche Verankerungslänge l_v , die zur Aufnahme der

Ankerkraft innerhalb eines zulässigen Kriechmasses notwendig ist, bestimmt werden kann. Jeder Ankerversuch (AV) erfordert ein Programm. Diese Tätigkeit darf nicht der Spannfirma überlassen werden! Der AV wird vom Projektverfasser begleitet und ausgewertet. Versuchsanker haben ein verstärktes Zugglied.

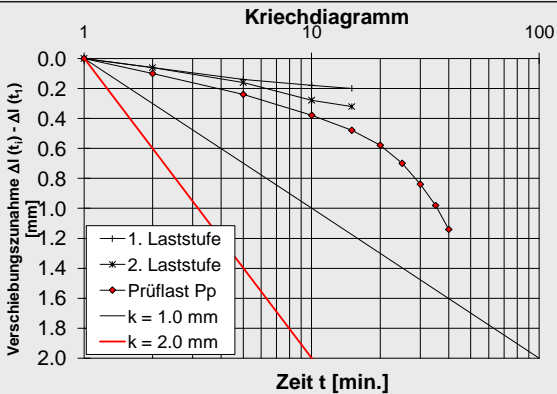
Jeder Vorspannanker Spannprobe (ausführlich od. einfache)

Ausführliche SP (n = 3)

$1.25 * P_o \leq P_p \leq 0.75 * P_{pk}$



Kriechdiagramm

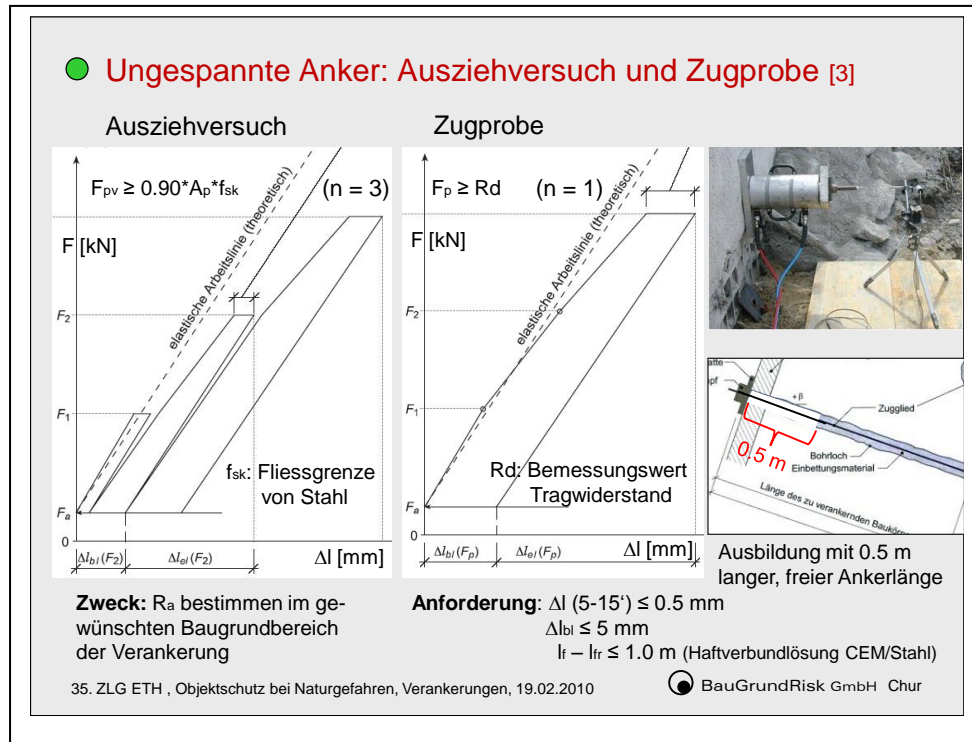


- **Spannprogramm** mit Festlegung Spannkriterien aufgrund Ankerversuch;
- **Ergebnis:** Wenn erfüllt, festsetzen gemäss Projekt; wenn Anker mit $k > 2$ mm gekrochen, Nachinjektion und erneute SP nach ≥ 10 Tagen.

35. ZLG ETH, Objektschutz bei Naturgefahren, Verankerungen, 19.02.2010 BauGrundRisk GmbH Chur

Alle Vorspannanker werden einer **Spannprobe** unterzogen, was auch ihrer Abnahme entspricht. Die Kriterien für die Spannprobe werden aufgrund der Ankerversuche festgelegt. Die Prüfkraft P_p wird zwischen 25% über der Festsetzkraft P_o und 75% der Bruchlast des Zugglieds gewählt. Dank des 3-stufigen Kraftanstiegs um ΔP kann eine Aussage über das Kriechverhalten des Ankers erfolgen. Werden die Anforderungen knapp

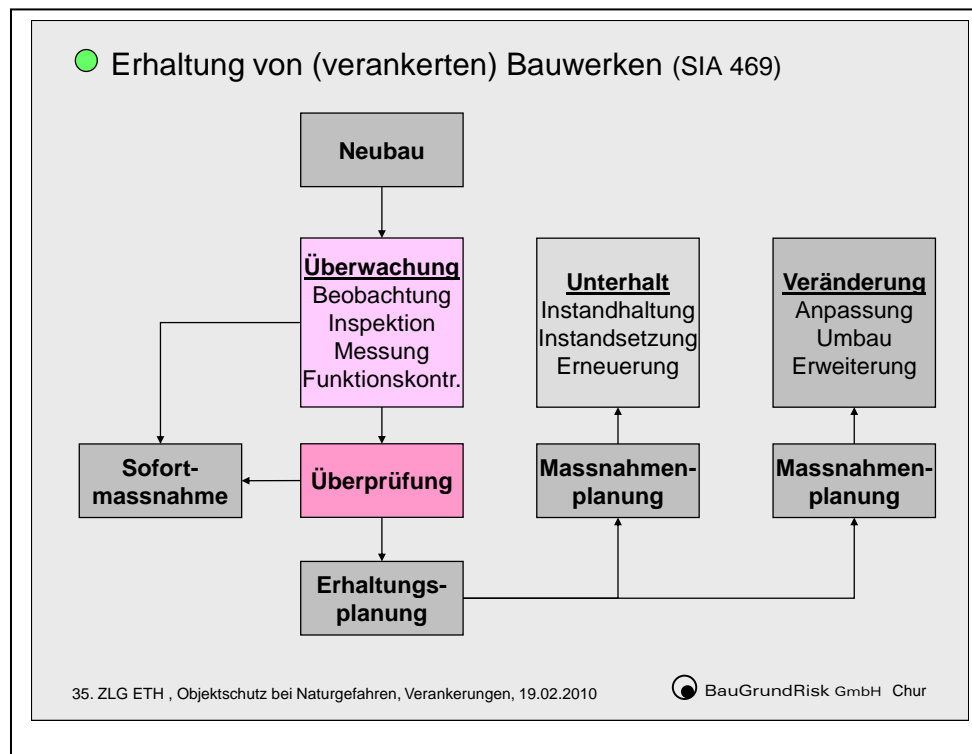
nicht erfüllt, ist es meist möglich, die Anker mit reduzierten Kräften festzusetzen. Einfache Spannproben lassen dies nicht zu. Wird ein Anker mit zu hohen Kräften festgesetzt, baut er diese über Kriechen wieder ab. Solche Zustände können nur durch nachträgliches Abheben der Anker überprüft werden, sofern sie entsprechend ausgerüstet sind.



Noch heute werden **ungespannte Anker** oft bis zum Bruch aus dem Bohrloch gezogen, was nicht der Norm entspricht und keine Aussage liefert! Die Ausziehversuche sind die Ankerversuche der ungespannten Anker und die Zugproben eine grobe Qualitätskontrolle. Die Prüfkraft F_{pv} der Ankerversuche wird auf 90% der Fließgrenze f_{sk} des Stahls festgelegt. Jene der Zugprobe F_p wird auf dem Bemessungswiderstand R_d des Ankers angesetzt. Zugproben sind nur

dann aussagekräftig, wenn die Anker hinter dem Kopf über eine freie Ankerlänge von 0.5 m verfügen, damit das Injektionsgut nicht auf dem Auflager der Prüfpresse aufliegt.

3. Erhaltung verankerter Bauwerke



Verankerte Bauwerke sind während der **Nutzungsdauer** einem Zyklus von Überwachung, Unterhalt, Überprüfung, Erneuerung oder Ersatz zu unterziehen. Je nach Art und Bedeutung des Bauwerks kann dies mehr oder weniger Aufwand bedeuten.

Begriffe des Ingenieurs die zu kennen sind (SIA 260, 267)

Überwachung: Feststellen, Bewerten Zustand mit Vorgehensempfehlung
Überprüfung: Zustandserfassung, - Beurteilung, Massnahmenempfehlung

Überwachungsplan: Bauwerksspezifische Weisung der Überwachung
Unterhaltsplan: Bauwerksspezifische Weisung der Instandhaltung

Zustandserfassung: Mängel, Schäden, Schadensprozesse erkennen
Zustandsbeurteilung: Analyse, Bewertung, Z-Entwicklung über Nutzungs-D

Instandhaltung: Massnahmen zur Erhaltung der Gebrauchstauglichkeit
Instandsetzung: Wiederherstellung v.Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit
Massnahmenplanung: Vorbereitung betriebliche, bauliche Massnahmen

35. ZLG ETH , Objektschutz bei Naturgefahren, Verankerungen, 19.02.2010 BauGrundRisk GmbH Chur

Die **Begriffe** der Erhaltung sind in der Fachwelt oft noch wenig geläufig. Einen kurzen Blick in die entsprechenden Normen kann hier Abhilfe leisten.

Überwachungs- und Unterhaltsplan

Überwachungsprogramm 2010 - 2017 Hauptinspektion

Überwachung			Zuständigkeit					
Kenngrosse Merkmal	Methode	Messstellen	Aufgebot durch	messen, auswerten, visuelle Kontrolle	Beurteilung	2010	2011	2012
Tagbautunnel Ankerkräfte Messanker	Kraftmessdosen ablesen	D4, D5, D22 (in Zentrale Trafostation West)	ASTRA Filiale	Bauingenieur	Bauing.	x	x	x
	Konvergenzmessungen	Tunnelquerschnitte B1 bis B4 und C1 bis C3		Geometer		x	x	x

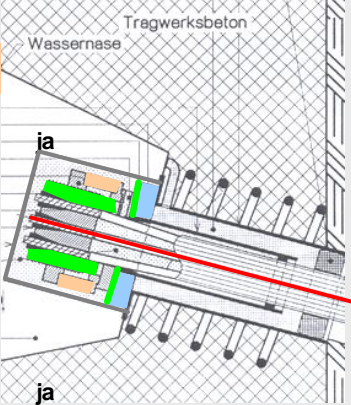
Unterhaltsprogramm 2010 - 2017 Hauptinspektion

Unterhalt			Zuständigkeit					
Bauteil	Massnahme	Anzahl	Aufgebot	Unterhalt	Abnahme	2010	2011	2012
Ankerkopf	Service; abheben	A1 – A28; A1, A8, A16	ASTRA Filiale	Spezialfirma	Spezialfirma	x		

35. ZLG ETH , Objektschutz bei Naturgefahren, Verankerungen, 19.02.2010 BauGrundRisk GmbH Chur

Entsprechend dem Kontrollplan der Ausführung ist der **Überwachungs- und Unterhaltsplan** das massgebende Instrument der Bauwerkserhaltung. Er wird vom Projektverfasser erstellt und im Regelfall vom Werkseigentümer umgesetzt. Terminlich ist er im Tiefbau auf die alle 5 Jahre ausgeführten Hauptinspektionen ausgerichtet [6]. Für Verankerungen im Objektschutz von öffentlichem Interesse kann er als Richtlinie herangezogen werden.

Nutzungsdauer von Korrosionsschutzelementen (Uha-Plan)		
Anforderungen ASTRA an verankerte Bauwerke 100 Jahre [7]		
	Dauer Jahre	ersetzbar
- Beton (Instandsetzung)	70	z.T.
- Zugglied	70	nein
- Ankerkopf Büchse, Isolationsplatte	70	ja
- Ankerplatte: Beschichtung, feuerverzinkt	25	ja
Anstriche	15	ja
- Schutzhaube Stahl beschichtet	70	ja
Kunststoff	15	ja
- Kraftmessdosen	25	ja



35. ZLG ETH, Objektschutz bei Naturgefahren, Verankerungen, 19.02.2010

BauGrundRisk GmbH Chur

Die Lebensdauer von Vorspannankern ist maximal von jener des nicht auswechselbaren Zugglieds abhängig. Die Produzenten geben hierfür meist eine **Lebensdauer** von 70 Jahren an. Danach ist der Anker zu ersetzen. Dieser Tatsache ist schon im Projekt durch das Vorsehen von Ersatzstandorten aber auch im Kostenvergleich zu anderen Tragwerksvarianten Rechnung zu tragen. Die Tätigkeiten im Unterhaltsplan haben sich auf die zu erwartende Lebensdauer der

übrigen, ersetzbaren Ankerteil im Kopfbereich auszurichten.

Unter der Berücksichtigung der erwähnten Aspekte des Entwurfs, der Ausführung und der Erhaltung verankerter Tragwerke, können Anker einen wesentlichen Beitrag für die Sicherheit von Mensch und Infrastruktur, nicht zuletzt auch im Objektschutz leisten.

Literatur
[1] SIA Norm 260 Grundlagen der Projektierung von Tragwerken ;
[2] SIA Norm 267 Geotechnik
[3] SIA Norm 267/1 Geotechnik – Ergänzende Festlegungen
[4] SIA 193.131 SN EN 1537:1999 Ausführung v. beso. Geotechn. Arbeiten – Verpressanker
[4] SIA DIN EN 14490 Ausführung v. beso. Geotechn. Arbeiten – Bodenvernagelung
[5] SIA 267.102 SN EN 14499 Ausführung v. beso. Geotechn. Arbeiten – Mikropfähle
[6] SIA 469 Erhaltung von Bauwerken
[7] ASTRA Richtlinie 12 005 Boden- und Felsanker
[8] Leitfaden techn. Zulassung von Ankersystemen gem. SIA Norm 267, EMPA EAG, 29.01.2004
[9] Vorgespannte Boden-, Felsanker, Ankerprüfungen und Bauwerksüberwachung, U. von Matt, 1991
[10] Kriechbewegungen unterschätzt, M. Phillips, S. Margreth, TEC21 5-6, 2010
[11] Entwurf und Bemessung permanent verankerter Stützbauwerke, Bau und Wissen, Berner Fachhochschule Burgdorf, Veranstaltung 864411, W. Fellmann, 25.01.2007
[12] Fels Sprengung über Galerie der A13 stellt Verkehrsbetrieb sicher, VSS; 3/2009 C. Nänni et.al.
[13] Temperatur und Kluftwasser als Ursache von Felssturz, Bull. angew. Geol. Vol. 9/1, 2004
[14] Lehrgang Sicherung von Steilböschungen in Locker- und Felsgestein, TAE 96005, R. Rügger 1996
[15] SIA 118/267 Allgemeine Bedingungen für geotechnische Arbeiten
[16] SIA 261 Einwirkungen auf Tragwerke

35. ZLG ETH, Objektschutz bei Naturgefahren, Verankerungen, 19.02.2010

BauGrundRisk GmbH Chur