



Teil der WSL und
damit des ETH-Bereichs



Entwicklungsschritte im Lawinenverbau: gelöste und offene Fragen aus Sicht SLF / EKLS

Stefan Margreth
margreth@slf.ch

17. November 2022 Verankerung mit Geotextilien - Fachtagung FH GR

WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF

Referent Stefan Margreth

- Dipl. Bauing. ETH (1987)
- IGT / Ing. Büro (1988): Geotechnik
- WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF (seit 1989)
 - Leiter Forschungsgruppe Schutzmassnahmen
 - Dozent ETH Zürich und Berner FH
 - Mitglied EKLS (seit 1989)
 - Mitglied Normkommission SIA 261



Expertenkommission für Lawinen und Steinschlag - EKLS

- **Aufgaben:**
 - Beratung des BAFU und der Kantone im Bereich der Gefahrenprävention
 - Definitionen von Standards und Qualitätsprüfung von Lawinen-, Steinschlag- und Hangmurenschutzsysteme sowie Warnsysteme
 - Förderung von innovativen Projekten, die den Zielen der EKLS entsprechen, der operativen Tätigkeit der Vollzugsbehörden dient und das zu lösende Problem in mehreren Kantonen aktuell ist.
- **EKLS: eingesetzt 1977 – zuerst nur baulicher Lawinenschutz, seit 1999 Öffnung für weitere Naturgefahren**
- **Zusammensetzung:**



Foto Margreth

Typenprüfung Lawinenverbauungen

Verantwortliche/Beteiligte	Arbeitsschritte
1 Hersteller; Lieferant	Antrag an BAFU mit Dokumentation
2 BAFU	Registratur, Eingangsbestätigung, Orientierung über Kosten
3 SLF	Prüfung der statischen Berechnungen und der Planunterlagen mit Bericht an Gesuchsteller und BAFU
4 Hersteller; Lieferant	Geprüfte und bereinigte Planunterlagen in 11-facher Ausführung an BAFU
5 EKLS	Prüfung der praktischen Verwendbarkeit. Bericht an Gesuchsteller und BAFU mit Gesamtbeurteilung und Empfehlung über Zulassung ja/nein.
6 BAFU	Freigabeentscheid. Eintrag in die Typenliste Lawinenverbau.

Prüfung Oberbau
und Verankerung

Feldversuch
System X-Cross



Foto Margreth



Typenprüfung Stützwerk VonRoll-Fromm 1986: abgelehnt



Kandersteg, 1985

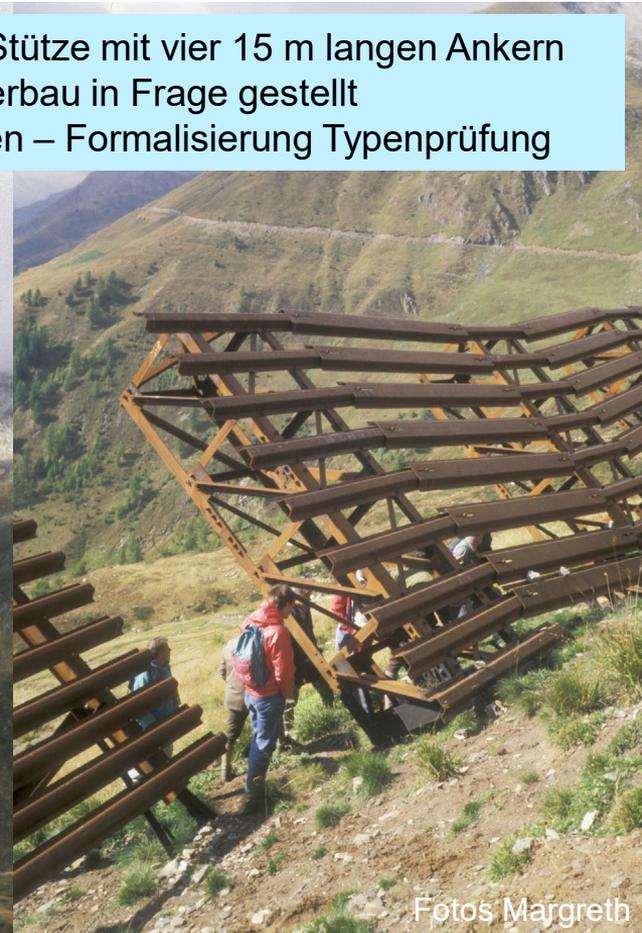
Fotos KAWA BE



Kombination starrer Bock mit flexiblem Hängerost

Typenprüfung Stützwerke TENSOL-Uctum 1988 - abgelehnt

- Starrer Fachwerkmast ohne Stütze mit vier 15 m langen Ankern
- Typenprüfung und RL Stützverbau in Frage gestellt
- umfangreiche Untersuchungen – Formalisierung Typenprüfung



SLF Ankerversuche 1978 - 1990

- Ablösung Sprenganker durch nicht gesprengte Anker
- Forschungsarbeiten M. Heimgartner (SLF)

Sprenganker ab 1978



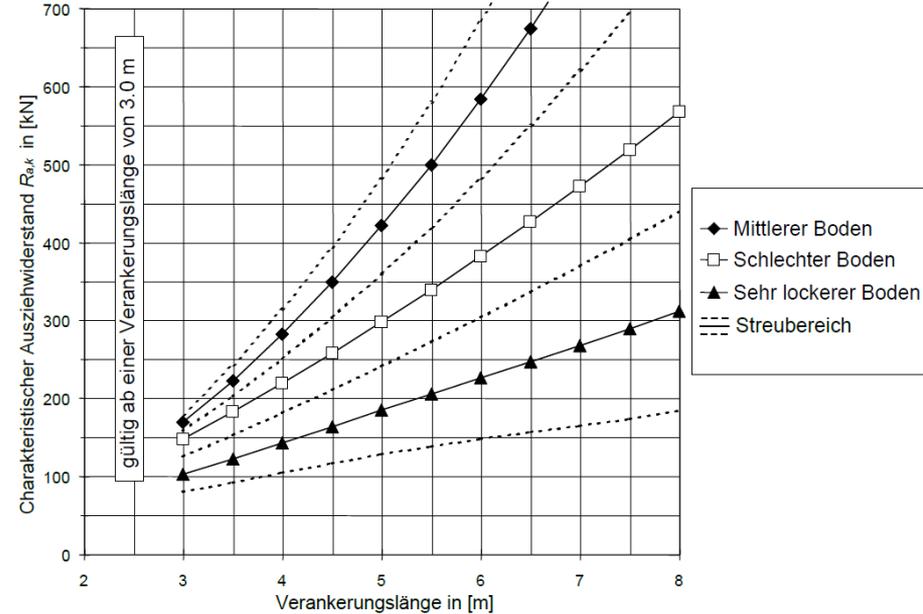
Netzanker ab 1980



Standardanker:

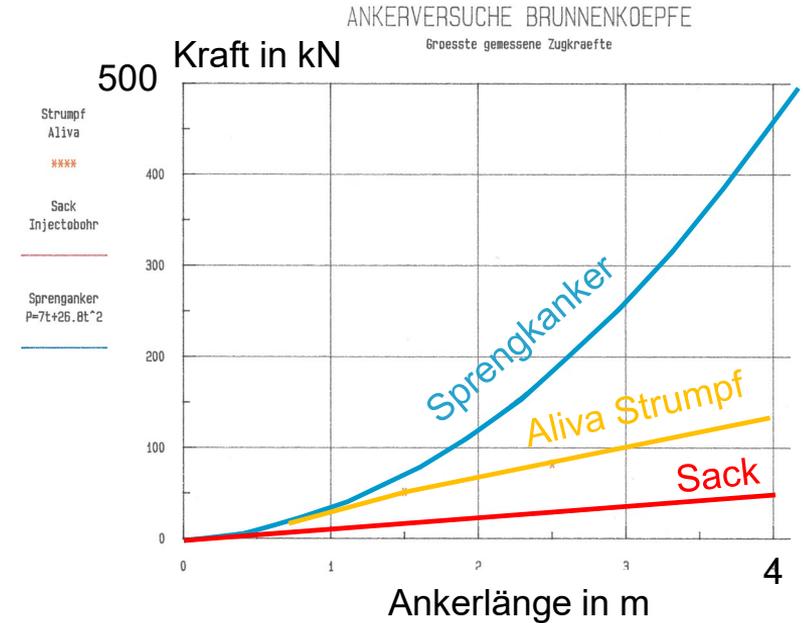
- Ankerstab
- «oranger» Aliva Strumpf
- keine Abstandshalter

Abb. 42 > Charakteristische Ausziehwerkstand $R_{a,k}$ in Funktion der Verankerungslänge und der Bodenkategorie für nicht gesprengte Anker und Netzanker.



Richtlinie Lawinenverbau Art. 5.9.7.4 Netzanker:
*In ein Bohrloch werden, wenn nötig in einem strumpfförmigen Netz, ein Anker und eine Injektionslanze bis zum Bohrlochtiefsten eingeführt.
...max. Maschenweite Netzstrumpf = 10 mm.*

1984: SLF Ankerversuche Brunnenköpfe (GL) mit „Sackanker“

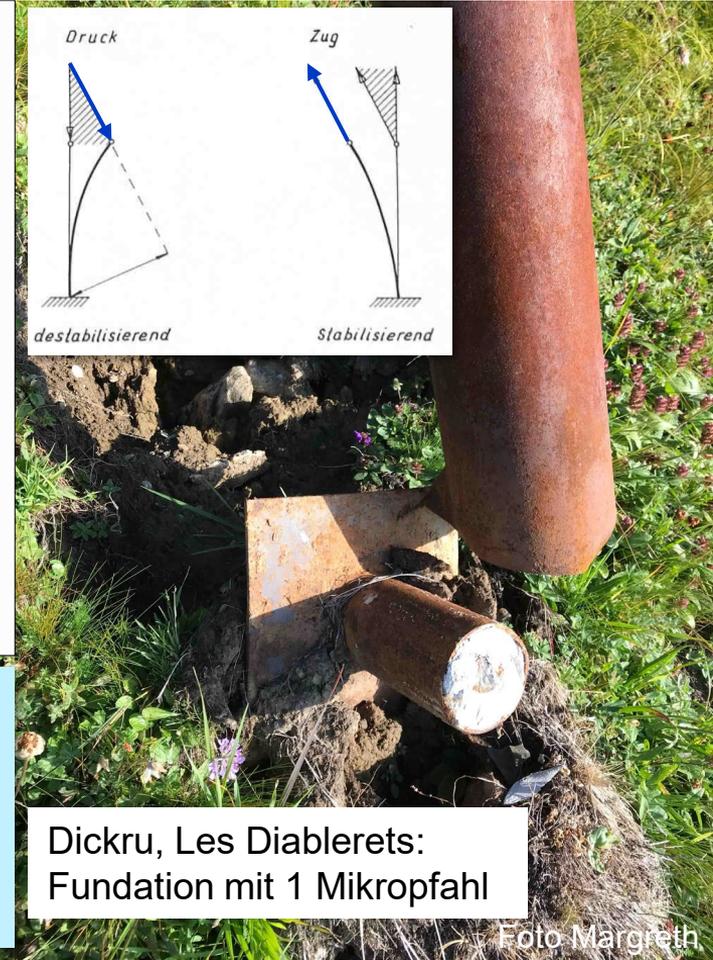
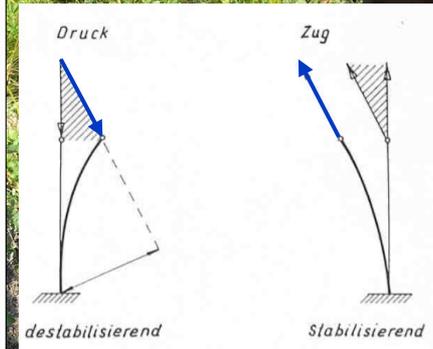
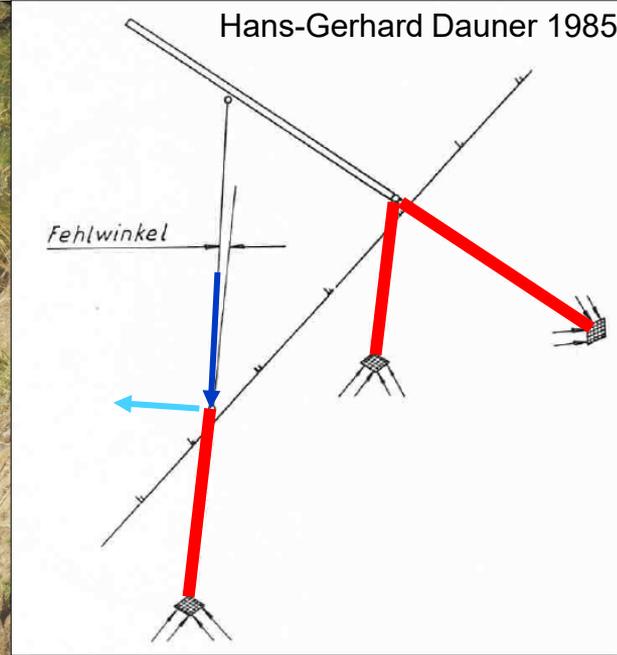
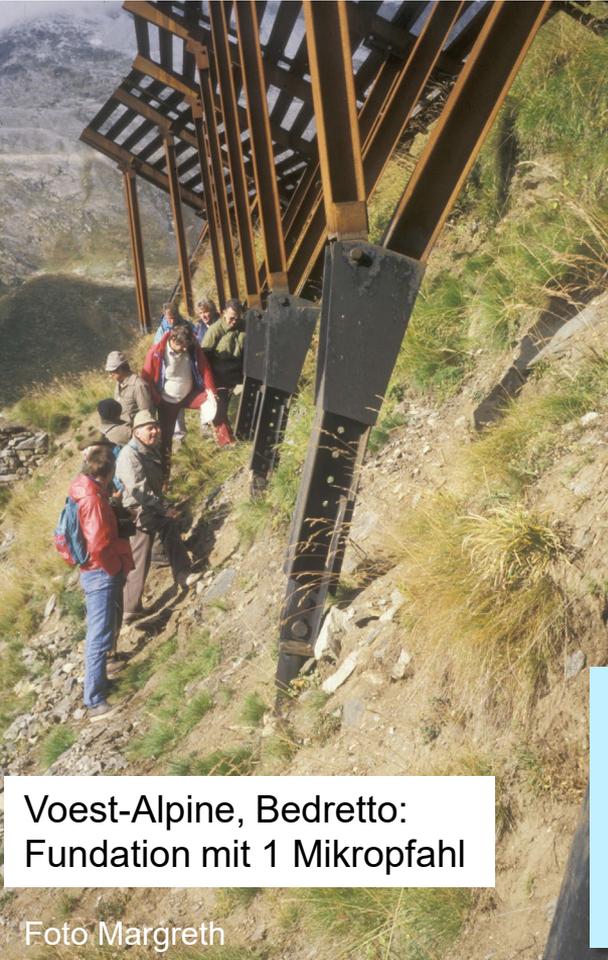


- Tragfähigkeit des Ankertyps stark vom Boden abhängig: “bindige” Böden (tonhaltig) – “nichtbindige” Böden (grobkörniges Material)
- “bindige” Böden: Sprenganker besser geeignet als Netz- oder Sackanker

Bild 1: Anker der Firma Injectobohr mit Hüllsack, Schlauch zum Verpressen der Zementmilch und Ankerstab.

Bild 2: Injectobohr-Anker des Versuchs 1 nach dem Herausziehen. Es gibt keinen Verbund zwischen dem glatten Sack und dem umliegenden Boden.

Entwicklung Mikropfähle ab 1984: Stütze auf 1 „Druckpfahl“



- zu optimistische Einschätzung Tragverhalten Mikropfahl
- Knickschutzrohr 1 m
- zahlreiche ausgeknickte Mikropfahlfundationen

Dickru, Les Diablerets:
Fundation mit 1 Mikropfahl

Voest-Alpine, Bedretto:
Fundation mit 1 Mikropfahl

SLF Ankerversuche Vallascia 1992-1994: Mikropfahl + Querkraft

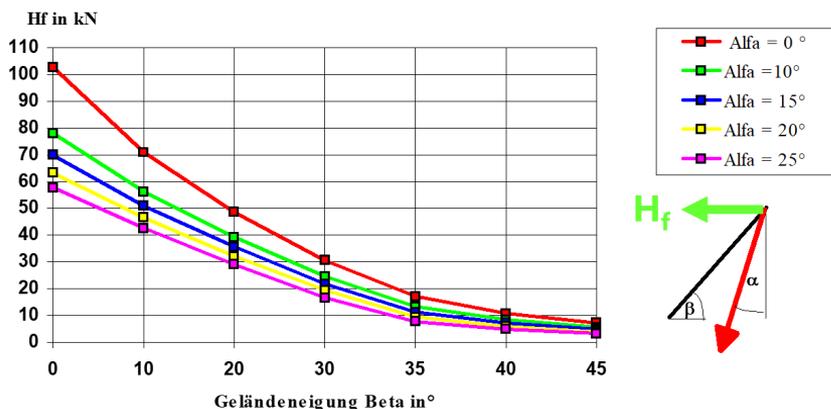


Fotos Margreth



Zusatzanker Vallascia, Airolo

Horizontale Bruchlast H_f eines Mikropfahles in Funktion der Geländeneigung β und der Pfahneigung α



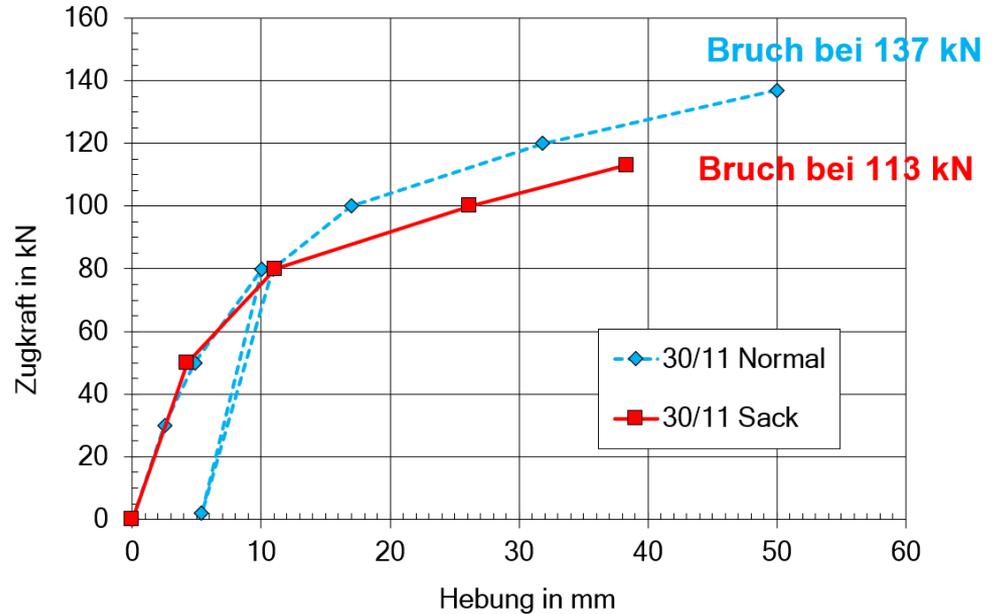
Horizontale Bruchlast eines freistehenden Mikropfahles H_f

- Horizontales Gelände: $H_f = 80-100$ kN
- 45° geneigtes Gelände: $H_f = 5-8$ kN!
- Zusatzanker erforderlich!
- Entwicklung Riegeltyp (Mikropfahl + Zusatzanker)

SLF Ankerversuche Vallascia 1992-1994: Sackanker

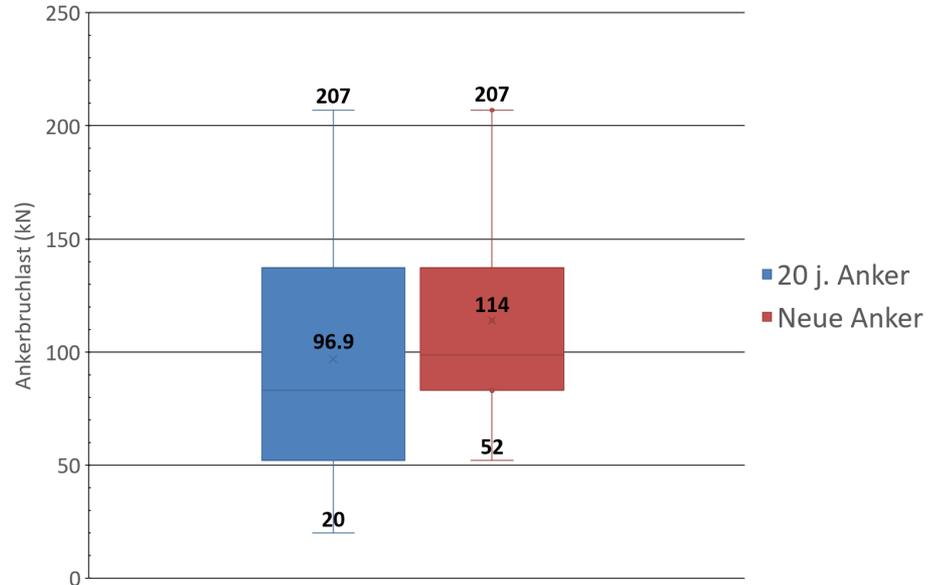


Vallascia, Airolo (21./22.9.1993): Zugversuch Titan 30/11 mit und ohne Sack (dichtes Geotextil + Nachverpressung), Bohrtiefe 4.0 m



Siltiger Kiessand (nicht bindiger Boden, keine Blöcke): Tragfähigkeit mit Sack 18% kleiner

Untersuchung der Tragfähigkeit von 20 Jahre alten Anker EKLS Projekt Munt Lü, FH GR und Kt. GR (2008-2012)



- Traglast der 20 jährigen Anker ähnlich wie neue Anker
- 15% der eingebauten Anker sind **Ausreisser**: ungenügende Traglast
- Ausgegrabene **alte Anker**: schlecht zentriert, unnötiger Strumpf, Vermörtelung meist gut, teilweise schlechter Verbund
- **Ankerprüfungen** / Zugproben sehr wichtig

Untersuchung der Korrosion von 20 Jahre alten Ankern EKLS Projekt Munt Lü, FH GR (2008-2012)



LV Glatthorn, Foto Schönbächler



LV Munt Lü, Foto SUPSI

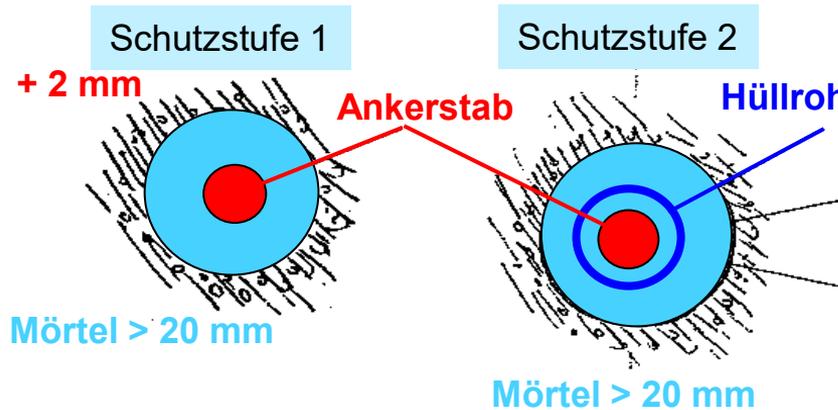


Foto SUPSI

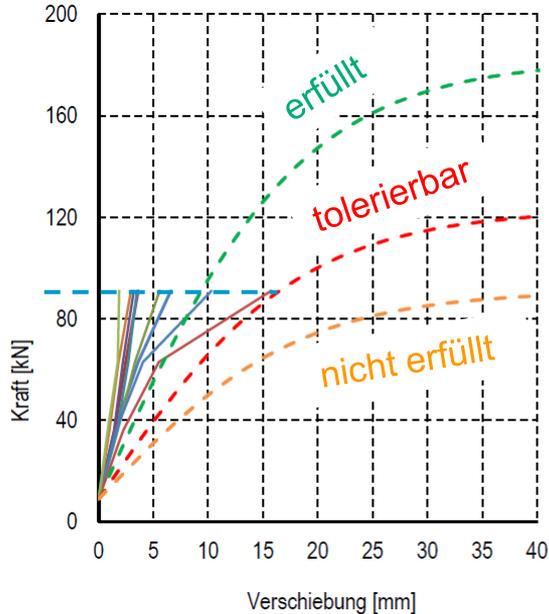
- Wo **Mörtelsäule vorhanden**: **Korrosion klein**, keine Abnahme der inneren Tragfähigkeit
- **Ankerstrümpfe** grosser Schwachpunkt: Bildung von Mörtelmantel verhindert
- **Fehlende Zentrierung** der Anker: keine regelmässige Mörtelummantelung
- Nicht fachgerechte Injektionen: **fehlende Mörtelummantelung**

Korrosionsschutz Anker – entspricht nicht SIA-Norm 267

- **Richtlinie Stützverbau (2007): Abrostungszuschlag** von + 2 mm pro Oberfläche und **Mörtelmantel > 20 mm** ≠ Anforderungen SIA 267!
- Verbesserte Schutzstufe 1: Mörtelmantel schützt Ankerstab
- **Abrostungszuschlag**: robuste Methode mit der auch Unsicherheiten in Bemessung abgedeckt werden → Lochfrasskorrosion bleibt problematisch.
- **Schutzstufe 2**: Anwendung im Lawinenverbau schwierig, nur dort, wo hohe Korrosion wahrscheinlich → kritische Streuströme (z.B. Bernina-Bahn)
- **Einsatz Ankerstrümpfe**: wichtig, dass **Mörtelumhüllung gewährleistet** ist (Anker → Abstandhalter → Streckmetallrohr → Strumpf → Bohrlochwand)



Merkblatt Zugproben, EKLS Projekt mit tur gmbh (2010-2014)



- V1 (2012)
- V2 (2012)
- V3 (2012)
- V4 (2012)
- V1 (2013)
- V2 (2013)
- V3 (2013)
- V4 (2013)
- V5 (2013)
- - - Referenzkurve C, n = 2.00
- - - Referenzkurve C, n = 1.35
- - - Referenzkurve C, n = 1.00

Zugprobe → Qualitätsprüfung von Bauwerksankern

Referenzkurve von Ausziehversuch (Bruchkraft) → Bemessung



- Entwicklung **Prüfverfahren mit reduzierter Prüfkraft** von ca. 60% der Gebrauchskraft
- Vergleich Resultate Zugprobe mit **Referenzkurve** von Anker, der bis Bruch belastet wurde
- Einfache Durchführung, keine Schädigung Bauwerksanker (insb. Mörtelsäule)

Erforderliche Anforderungen an Ankermörtel?

Haftfestigkeit / Verbund?



Frostbeständigkeit?

Elastizität? Seilanker



Schwinden? keine Risse



Druckfestigkeit?

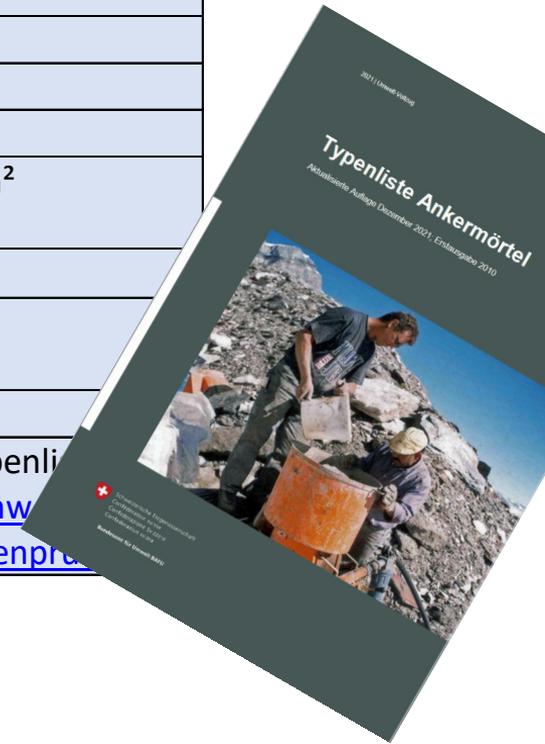
Erforderliche Anforderungen an Ankermörtel? EKLS Projekt EMPA / SLF 1992 - 1996



Fotos Margreth

Ankermörtelprüfungen und Grenzwerte

	Eignungsprüfung
Druckfestigkeit 7d	$F_c > 22 \text{ N/mm}^2$
Druckfestigkeit 28d	$F_c > 35 \text{ N/mm}^2$
Frostbeständigkeit	Hoch FS > 1.5
Elastizitätsmessung nach 28d	$E < 25'000 \text{ N/mm}^2$
Schwinden nach 28d	$\epsilon_{CS} < 2.0 \text{ ‰}$
Häufigkeit der Prüfung und Kontrollintensität	Alle 3 Jahre
Herstellung Probekörper	Labor
	Zulassung – Typenli http://www.umw.schweiz.ch/typenpr



Solaranlagen auf Lawinerverbauungen: EKLS-Merkblatt, 2012



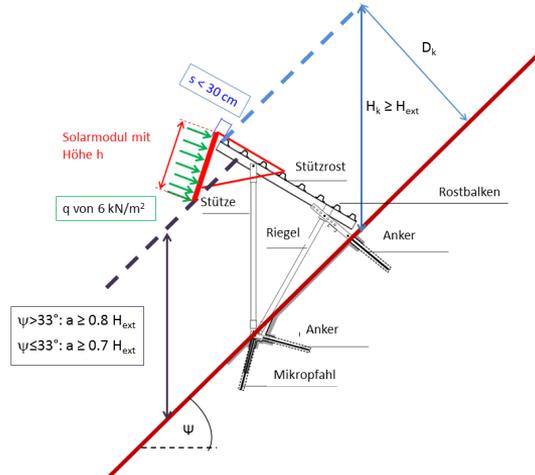
Testanlage Chüenihorn
Foto Margreth



Foto
Energiebüro



Foto
Rhienergie AG



Montage von Solaranlagen auf Lawinerverbauungen
Beurteilung und Empfehlung der Expertenkommission Lawinen und Steinschlag – EKLS
6. September 2012

Lawinengefahr, Lawinerverbauungen und Restrisiken

Lawinerverbauungen zum Schutz von Menschen und erheblichen Sachwerten werden unter bestimmten Bedingungen von Bund und Kanton subventioniert. Die technischen Anforderungen sind in der Richtlinie „Lawinerverbau im Anbruchgebiet“ (RL 2007)¹ definiert. Die Bauherren stellen sicher, dass die Schutzbauten dauernd unterhalten und nicht zweckfremd werden (Verordnung über den Wald WvA Artikel 50, Absatz 2 und 3). Der alljährliche Aufbau und Abbau der Schneedecke auf alpinen Standorten der Lawinerverbauungen ist mit Zufälligkeiten beim Zusammenwirken von Schneefall, Wind, Exposition, Gelände und Topographie verbunden. Demzufolge verbleiben beim Lawinerverbau im Anbruchgebiet Unsicherheiten, d.h. in extremen Situationen können Lawinenverbau im Lawinerverbauungen oder über eingeschneite Verbauungen nicht ausgeschlossen werden.

Lawinengefahren werden gemäss den Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten ausgeschlossen². Heutzutage werden diese Gefahren in Gefahrenkarten dargestellt und in der Raumplanung eigentimer verbindlich umgesetzt. Werden Lawinerverbauungen gemäss den Richtlinien (RL 2007) erstellt, so kann deren Wirkung unter bestimmten Bedingungen³ bei der Gefahrenzonierung berücksichtigt werden (Rückzonung). Obwohl Lawinerverbauungen nur für den Schutz von bestehenden Gebäuden erstellt und subventioniert werden, sind mit einer Rückzonung oft auch neue Gebiete überbaubar bzw. überbaut worden. Die Funktionsfähigkeit der Lawinerverbauungen ist deshalb dauernd und uneingeschränkt erforderlich.

Der Entwicklung von Lawinerverbauungen, gemäss dem Stand in den Richtlinien RL 2007, ist ein Jahrzehntelanger Entwicklungsprozess vorausgegangen. Dabei sind beim Oberbau aus Stahl zahlreiche Optimierungen vorgenommen worden, damit möglichst wenig Stahl verbaut wird. Der Untergrund ist oft sehr heterogen und hinsichtlich Fundierung immer noch mit grossen Unsicherheiten verbunden. Die Fundierung von Lawinerverbauungen ist auch heute nach wie vor Gegenstand von Forschungs- und

¹ Margreth S. (2007): Lawinerverbau im Anbruchgebiet. Technische Richtlinie als Vollzugshilfe. Umwelt-Vollzug Nr. 0704. Bundesamt für Umwelt, Bern, WSL Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos, 101 S.

² Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Forstwesen, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF.

³ Romarey-Harris (Ed.) 2008: Wirkung von Schutzmassnahmen. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern, 289 S.

Wünsche EKLS hinsichtlich Abschluss vom Projekt Ankerstrümpfe



- Klare Kriterien für die Anwendung von Strümpfen bei Verankerungen im Lawinen- und Steinschlagverbau.
- Bestimmung der Anforderungen an Geotextilien - Typenprüfung eher Nein (?).
- Checkliste: Vorgehen bei grossen Mörtelverlusten, damit tragfähige Verankerungen erstellt werden können.
- Schlussbericht EKLS Projekt «Ankerstrümpfe» erstellt → **Merkblatt für Praxis**



Teil der WSL und
damit des ETH-Bereichs

Fragen?

Stefan Margreth

margreth@slf.ch



HaTe Ankerstrumpf, Siglufjörður /
Island (Video Verkis)