

Nationalstrasse N3, Hangsicherung Katzenguët-Murgwald

U. Vollenweider, dipl. Bauing. ETH, Zürich/Rapperswil

Im Gemeindebann Murg durchquert die Nationalstrasse N3 auf 250 Meter steiles Gelände von heikler geologischer Beschaffenheit, obschon bis zur Projektierung keine Verschiebungen zu vermerken waren. Das Gelände wurde seit jeher in seiner Stabilität als kritisch betrachtet. Aus diesen Gründen mussten fünf besondere bauliche Massnahmen gefordert werden, um die globale Sicherheit – das heisst die Sicherheit gegen Gleitmechanismen – zu gewährleisten. Ausgehend von einer geologischen Übersicht werden das Bauwerk, die Instrumentierung und die Messungen kurz beschrieben. Die Ursache der Hangbewegungen, die spezielle Hangsicherung mit den erforderlichen Ankerkräften werden erwähnt und die Massnahmen genannt, die für das schwierige Gelände, wie es im Hang Katzenguët vorlag, benötigt wurden. E.Z.

Im Bereich Katzenguët-Murgwald, Gemeinde Murg verläuft die Nationalstrasse N3 auf etwa 250 m Länge in recht steilem Gelände. Wegen der grossen Steilheit und der besonderen geologischen Beschaffenheit des Baugrundes wurde der zu durchquerende Hang seit jeher als stabilitätsmässig kritisch empfunden. Wenn auch bis zum Zeitpunkt der Projektierung noch keine erkennbaren Verschiebungen oder gar Rutschungen beobachtet worden waren, so liessen doch verschiedene Hinweise den Schluss zu, dass sich der Hang auch ohne bauliche Eingriffe in nahezu labilem Gleichgewicht befunden haben muss. Bei der Trassewahl musste diesem Zustand Rechnung getragen werden, um so mehr als durch eine Hangrutschung SBB-Linie und Walenseestrasse erheblich gefährdet worden wären. Angesichts der geschilderten Situation wurden daher für den kritischen Hangabschnitt folgende konzeptionellen und baulichen Massnahmen gefordert:

- Beide Fahrbahnen werden auf getrenntem Niveau geführt, um durch weitestmöglichen Massenausgleich die globale Stabilitätssicherheit des Hanges nicht zu gefährden.
- Die zur Trassesicherung erforderlichen Stützmauern werden verankert, mit dem Ziel, für die lokale Stabilität eine rechnerische Geländebruchsicherheit $F \geq 1.30$ und für die globale Stabilität eine rechnerische Sicherheit $F \geq 1.10$ zu erreichen.
- Die einzelnen Stützmauern sind so zu konzipieren, dass sie auch ohne Wirkung der Verankerung noch eine rechnerische Standsicherheit $F \geq 1.0$ aufweisen.
- Die Bauarbeiten am Trasse und insbesondere die Erstellung der Stützmauern haben abschnittsweise zu erfolgen, um auch im Bauzustand kritische Stabilitätszustände so weit als möglich vermeiden zu können.
- Mit der Ausführung der Bauarbeiten ist der Hang im kritischen Abschnitt geodätisch und mittels Slope Indicators zu überwachen, um bei Anzeichen von Instabilität so rasch als möglich wirkungsvoll reagieren zu können.

Unter globaler Stabilität wurde ursprünglich, das heisst zum Zeitpunkt der Projektierung, die Sicherheit von Gleitmechanismen verstanden, die beide Fahrbahnen erfassten und bis

in eine Tiefe von höchstens etwa 10 m ab Terrain reichten. Tiefere Gleitungen erschienen auf Grund der damaligen geologischen Unterlagen nicht kritisch, da über die Existenz der unter der Moräne folgenden, tiefliegenden Seebodenlehme, mit Ausnahme östlich von Profil 170.720, nichts bekannt war.

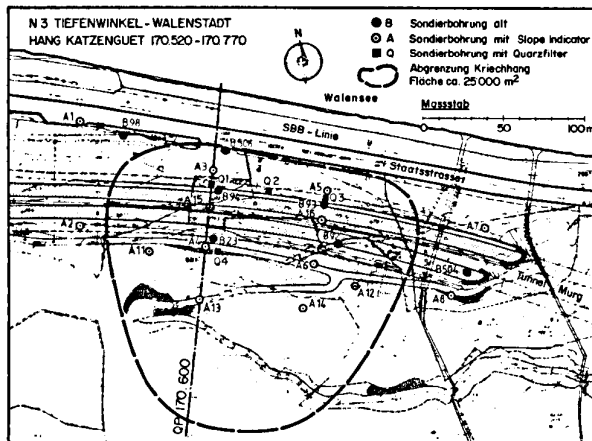
Schon bald nach Beginn der Bauarbeiten im Jahr 1979 wurden im Trassebereich auf eine Länge von etwa 180 m grossräumige und tiefgründige Hangbewegungen beobachtet. Das Mass der Bewegung erreichte 1981/82 ein Maximum von etwa 6 mm/Monat und stabilisierte sich dann mit der sukzessiven Erstellung der verankerten Stützmauern auf einem relativ kleinen Wert von etwa 0.5 bis 2 mm/Monat. Da aber kein eindeutiges Abklingen der Hangbewegungen festgestellt und mit ausreichender Sicherheit prognostiziert werden konnte, wurde 1983 der Bau einer zusätzlichen Hangsicherung mittels einer bis in den Fels reichenden Hangverankerung beschlossen. Mit dieser Massnahme konnte der Hang, wenn auch bei kleiner, so doch unter den gegebenen Verhältnissen akzeptierbarer Gleitsicherheit stabilisiert werden. Alle Stabilisierungs- und Sicherheitsmassnahmen wurden in Absprache aller Beteiligten und insbesondere mit Zustimmung des Bauherrn beschlossen.

Geologische Übersicht

Der Hang Katzenguët liegt in einer mit Lockergestein gefüllten, seewärts abfallenden Felsmulde. Die Felsoberfläche, gebildet von glazial abgeschliffenem, hartem Verrucano, ist östlich und bergseits des Hanges Katzenguët sichtbar anstehend, fällt aber im kritischen Hangbereich sehr steil seewärts ab.

Der Fels ist mindestens teilweise noch von Grundmoräne des Rheingletschers bedeckt. Über dem Fels und der Grundmoräne lagert harter, glazial vorbelasteter Seebodenlehm. Diese zwischeneiszeitlichen Seeablagerungen bestehen vorwiegend aus einer warvenartigen Wechsellagerung von feinsandigem Silt und tonigem Silt mit Tongehalt bis über 30%. Der Seebodenlehm, zwischen Kote 410 und 460 m ü. Meer erbohrt, erreicht eine Mächtigkeit bis zu 20 m, keilt aber hangwärts sehr rasch aus und bedeckt hangseits

Dans la commune de Murg, la route nationale N3 franchit sur 250 mètres un versant escarpé de constitution géologique délicate, bien que jusqu'à l'élaboration du projet aucun déplacement n'ait pu être constaté. Pour ces raisons, cinq mesures constructives particulières durent être exigées pour garantir la sécurité globale – c'est-à-dire la sécurité à l'égard des mécanismes de glissements. Partant d'un aperçu géologique général, l'ouvrage, l'instrumentation et les mesures faites sont brièvement décrits. La cause des mouvements du versant, la stabilisation particulière avec les efforts d'ancrages requis sont mentionnés et les mesures constructives rendues nécessaires par le terrain difficile, tel qu'il s'est présenté au versant de Katzenguët sont énumérées. Ch. S.



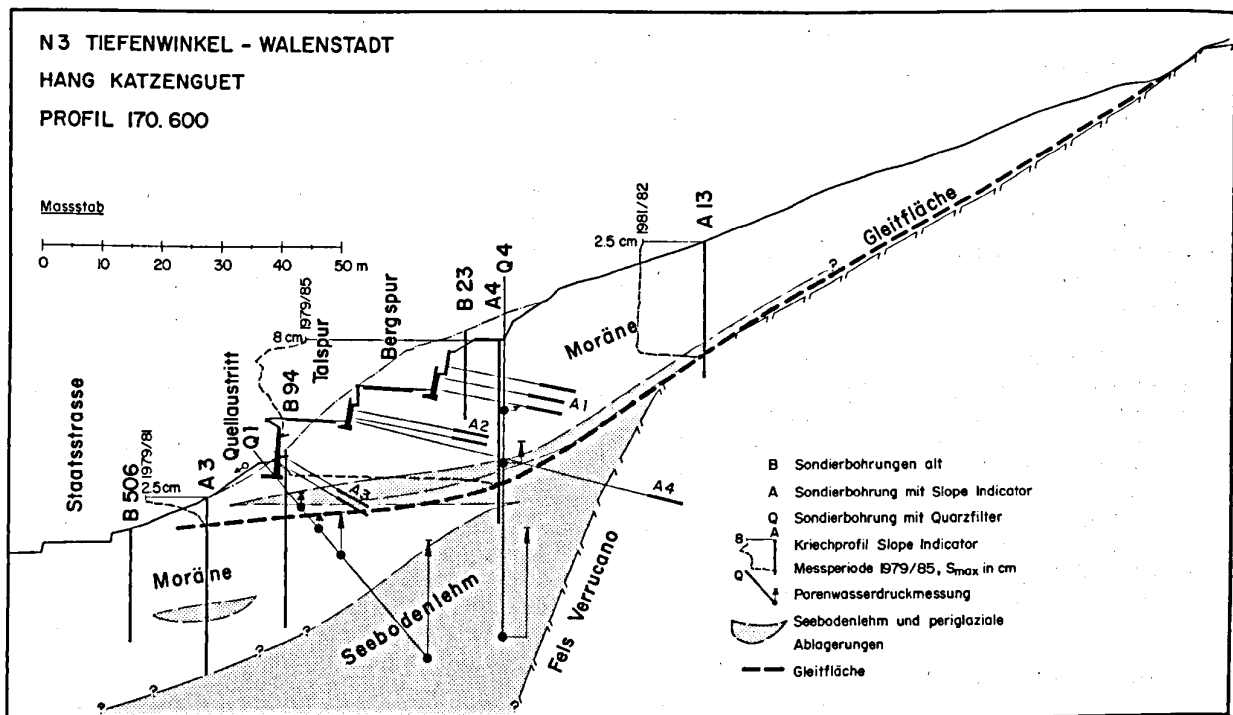
1: Übersicht Hang Katzenguët mit Abgrenzung Kriechhang.

der N3 den ansteigenden Fels nur noch in geringer Mächtigkeit. Über dem Seebodenlehm folgt eine relativ starke, bis 20 m mächtige Moränendecke aus Rheingletscher und Lokalmoräne. Das Moränenmaterial ist kompakt gelagert, mehrheitlich grobsandig bis grobblockig mit meist nur schwach toniger Füllmasse. Die Moränendecke reicht mit Ausnahme einer lokal vorhandenen dünnen Schicht aus Gehänge- und Blockschuttmaterial bis an die Terrainoberfläche. Eine Besonderheit der Lockergesteinsdecke bildet die mehr oder weniger hangparallele Einlagerung einer relativ dünnen Schicht periglazialer Silte und Sande mit zum Teil Einschlüssen von stark gepresster Schieferkohle. Der geologische Schichtaufbau ist in Abb. 2 in einem für den Hang Katzenguët typischen Querprofil skizzenhaft dargestellt.

Im Jahr 1978, das heisst vor Beginn der Bauarbeiten, hatte man über die Existenz des in grösserer Tiefe und in grösserem Ausmass vorhandenen Seebodenlehms noch keine genaue Kenntnis. Die vor Baubeginn ausgeführten Sondierbohrungen, obschon auch bereits 15 bis 39 m tief, reichten ausser im östlichen Bereich nicht bis in den Seebodenlehm, oder liessen ihn mindestens nicht in dem vorhandenen Ausmass erkennen. Erst nachdem ab 1979 Hangverschiebungen beobachtet und sukzessive zusätzliche Sondierbohrungen ausgeführt wurden, wurde man sich in vollem Ausmass des sehr komplexen Schichtaufbaues mit Rheingletschermoränen, Seebodenlehm, Lokalmoräne und periglazialen Sanden mit Schieferkohleneinlagerungen gewahr.

Bauwerk

Wegen der grossen Steilheit des Geländes, das lokal begrenzt Hangneigungen von 35 bis 40° erreicht, und in teilweiser Kenntnis über den komplexen Schichtaufbau mit Seebodenlehm, periglazialen Sanden und Einschlüssen von Schieferkohle und vor allem in Berücksichtigung der Wirkung einer vorhandenen, durch Quellaustritte belegten Hangwasserströmung, wurde der Hang Katzenguët von Beginn an für Bauarbeiten jeglicher Art als recht kritisch beurteilt. Folgerichtig wurde beschlossen, die Autobahn ab Tunnelportal Murgwald auf gestaffelten Trassen zu führen, um mit möglichst geringen Hangeinschnitten und Hangan-schüttungen den Hang Katzenguët queren zu können. Das gewählte Konzept bedurfte, wie Abb. 3 zeigt, den Bau von drei gesonderten Stützmauern. Diese Stützmauern wurden etappenweise erstellt und zur Sicherung des Geländes im Lockergestein, das heisst in der Moräne verankert. Ankerkraft und Ankerlänge folgten aus der Anforderung, dass die lokale Gleitsicherheit (kleinräumiges Hanggleiten nur eine



2: Typisches geologisches Querprofil Hang Katzenguët.

Stützmauer erfassend) minimal $F = 1.3$ und dass die globale Gleitsicherheit (grossräumiges Hanggleiten, gesamtes Bauwerk erfassend) $F \geq 1.1$ betragen soll. Die massgebenden Scherfestigkeitswerte φ' und c' der Baugrundsichten wurden aus einer Rückrechnung des ursprünglichen Zustandes unter Annahme einer plausiblen Hangwasserströmung und einer theoretischen Gleitsicherheit $F = 1.0$ ermittelt. Auf dieser Grundlage wurde für die bergseitige Stützmauer eine erforderliche Ankerkraft von 350 bis 550 kN/m' bei einer freien Ankerlänge von 16 m, und für die talseitige Stützmauer 250 bis 550 kN/m' bei etwa 12 m freier Ankerlänge ermittelt. Die mittlere Stützmauer wurde bei einer freien Ankerlänge von rund 10 m mit einer Ankerkraft von etwa 120 kN/m' gesichert. Konstruktion und Fundation der drei Stützmauern wurden so bemessen, dass auch bei vollständigem Ausfall der permanenten Verankerung noch eine rechnerische Tragsicherheit einschliesslich Grundbuch von $F > 1.0$ nachgewiesen werden konnte. Wie noch gezeigt wird, genügten aber diese Massnahmen nicht um ein auch langfristig sicheres Bauwerk zu erhalten. Zur Erzielung einer genügenden Geländebruchsicherheit musste nachträglich noch eine ergänzende, in den Fels reichende Hangverankerung ausgeführt werden.

Instrumentierung und Messungen

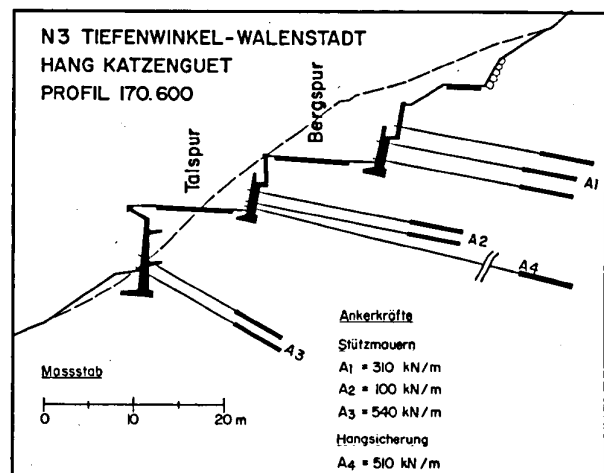
Das gewählte Sicherheitskonzept sah vor, dass der Hang im kritischen Bereich ausreichend überwacht werden muss. Zu diesem Zweck wurden eine grosse Zahl geodätischer Messpunkte gesetzt, und in vier Querprofilen je zwei Slope Indicators versetzt. Nachdem im Winter 1981/82 eine starke Zunahme der Hangverschiebungen beobachtet wurde und zudem einzelne Slope Indicators wegen Bauarbeiten und zu grossen Deformationen bereits ausgefallen waren, wurden in zwei Etappen noch sechs zusätzliche Slope Indicators versetzt. Die Slope Indicators wurden in Sondierbohrungen zur geologisch-geotechnischen Baugrunderkundung installiert und erreichten Tiefen von 20 bis 35 m ab Oberkante Terrain. Gleichzeitig wurde das Mess- resp. Beobachtungsprogramm 1979 durch die Installation von vier Porenwasserdruckstationen mit je vier in der Tiefe gestaffelten Porenwasserdruckgebern erweitert. Diese Massnahme war notwendig, um über die eigentliche Ursache der Hangverschiebungen (Hangwasserströmung, Porenwasserdruck, Scherfestigkeit) bessere Kenntnis zu gewinnen. Einen Überblick über die angeordnete Instrumentierung gibt die Situation Abb. 1 und das geotechnische Hangprofil Abb. 2.

Die ausgeführten Messungen liessen eine klare Abgrenzung des von Kriechbewegungen erfassten Gleitmechanismus (Abb. 1 und 2) erkennen. Auf eine Breite von etwa 180 m und bis in eine maximale Tiefe von rund 30 m wurden Kriechbewegungen und Hangverschiebungen beobachtet. Die Basis des Gleitkörpers, das heisst die eigentliche Gleitfläche, folgt augenfällig der geologischen Schwächezone, gebildet von Seebodenlehm und periglazialen Ablagerungen. Im bergseitigen Teil des Gleitkörpers präsentiert sich die Gleitung als eigentliche Grundleitung, während sie im talseitigen Bereich des Gleitkörpers, als Folge der Krümmung der Gleitfläche und der Durchtrennung der Moräne, in eine fast vollständige Zergleitung übergeht. Der zeitliche Ablauf der beobachteten Verschiebungen ist in Abb. 4 durch eine Auswahl repräsentativer Slope-Indicator-Messungen dargestellt. Die Messungen zeigen, dass

bereits mit Baubeginn 1979 kleine Deformationen auftraten. Eigentliche nennenswerte Verschiebungen wurden aber erst in der Zeit von Herbst 1981 bis Sommer 1982 beobachtet. Dies war auch der Zeitpunkt ab dem zusätzliche bautechnische Massnahmen zur Sicherung des Hanges erarbeitet wurden.

Ursache der Hangbewegungen

Die im Zeitraum 1979 bis 1980 beobachteten Hangverschiebungen von höchstens 1 cm wurden zwar als Alarmzeichen, jedoch noch nicht als abnormale Erscheinung beurteilt. Auch bei grössten Restriktionen bezüglich Massenausgleich und Etappierung der Bauarbeiten waren Kraftumlagerungen mit lokaler Beeinträchtigung der Gleitsicherheit des Hanges nicht zu umgehen. Als aber im Winter 1981/82 die Bewegungen stark zunahm und eine Geschwindigkeit von rund 5 mm/Monat erreichten, wurde der Ursache mit zusätzlichen Sondierungen, Messungen und Untersuchungen nachgegangen. Dabei erkannte man die grosse Ausdehnung der zwar sehr kompakt gelagerten, aber stark tonigen Seebodenablagerungen. Die Slope-Indicator-Messungen zeigten, dass die Gleitfläche, soweit kinematisch möglich, den Seeablagerungen, das heisst der geotechnischen Schwächezone folgte.



3: Schematische Darstellung Strassenführung und Stützkonstruktion.

Eigentliche Ursache für das Auftreten der Gleitung im beobachteten Ausmass war die Ausführung von Aushubarbeiten im westlichen Teilgebiet des Hanges Katzenguët. Im flacheren, westlichen Abschnitt wurde anstelle der talseitigen Stützmauer eine Dammschüttung ausgeführt. Zur Sicherung der Dammschüttung musste am Dammfuss auf einer Breite von etwa 15 bis 20 m und auf eine Tiefe von rund 3 bis 4 m schlechter, verlehmtor Gehängeschutt durch tragfähiges Moränenmaterial ersetzt werden. Dieser Aushub, obschon ganz am Rande des Rutschgebietes und ebenfalls etappenweise ausgeführt, genügte bereits, dass im östlich angrenzenden Hangabschnitt auf einer Länge von 180 m etwa 220 000 m³ Material in Bewegung kamen. Die Situation zeigte nun schlagartig, wie klein die Gleitsicherheitsreserve des Hang Katzenguët war, und dass zur Erhöhung der Gleitsicherheit ergänzende Sicherheitsmassnahmen unumgänglich wurden. Die anschliessend ausge-

fürten geologisch-geotechnischen Untersuchungen ergeben, dass die Ursache der Gleitung im Vorhandensein und in der geringen Scherfestigkeit des Seebodenlehms begründet lag. Entgegen der ursprünglichen Vermutung, dass Hangwasser für den kritischen Zustand hätte ursächlich sein können, zeigten die Porenwasserdruckmessungen eher kleine und relativ konstante Werte. Innerhalb und auch bezogen auf die beobachtete Gleitfläche betrug der gemessene Wasserdruck kaum mehr als 2 bis 5 m Wassersäule, was gemessen an der Mächtigkeit des Gleitkörpers von 20 bis 30 m als eher bescheiden zu bezeichnen ist. Ausgehend vom beobachteten Mechanismus konnte rückschliessend für den Seebodenlehm ein Reibungswinkel von $\varphi' = 20-22^\circ$ bei einer wirksamen Kohäsion von $c' = 20 \text{ kN/m}^2$ ermittelt werden. Dieser Wert lag eindeutig tiefer als ursprünglich auf Grund von Scherfestigkeitsversuchen ($\varphi' = 26^\circ$) angenommen wurde.

Spezielle Hangsicherung

Nachdem die geringe Gleitsicherheit des Hanges Katzenquet offenkundig war, wurde nach speziellen Hangsicherungsmaßnahmen gesucht. Zur Verbesserung der Hangstabilität hätten grundsätzlich folgende bautechnische Massnahmen in Frage kommen können:

- Vernagelung des kritischen Hangabschnittes zur Erhöhung der Schubfestigkeit in der Gleitzone.
- Installation von eigentlichen Schubelementen wie zum Beispiel grosskalibrige Bohrpfähle oder Schlitzwandelemente zur Erzeugung eines zusätzlichen Schubwiderstandes.
- Ausführung einer Hangverankerung mittels Grosslastfelsankern.
- Erhöhung des Gleitwiderstandes durch Ausführung einer Fussvorschüttung resp. Hangfussbelastung.
- Reduktion des wirksamen Hangschubes durch eine zielgerichtete, flächenmässige Hangentwässerung.

In Abwägung aller Vor- und Nachteile und auch in angemessener Berücksichtigung der mit der Sanierung verbundenen kurz- und langfristigen Kosten entschied man sich, sofern solches überhaupt erforderlich, für eine Hangverankerung mittels Grosslastfelsankern. Diese Lösung drängte sich direkt auf, als mit den Stützmauern der N3 ein Teil der Sicherungsarbeiten bereits ausgeführt waren. Im Gegensatz zur bereits ausgeführten Stützmauerverankerung mit

Verankerungszone im Lockergestein müssen die zur Erhöhung der globalen Sicherheit erforderlichen Hangsicherungsanker bis in den gesunden Verrucano-Fels geführt werden. Ob und in welchem Umfang diese Arbeiten aber tatsächlich ausgeführt werden müssen, wollte man vom weiteren Verlauf der Hangbewegungen abhängig machen. Da sich die Kriechbewegungen nach Ausführung der verankerten Stützmauern auf einem zwar kleinen Mass von 0.5 bis 1.0 mm/Monat stabilisierten aber gleichwohl nicht ganz zur Ruhe kamen, wurde anfangs 1984 beschlossen die zusätzlichen Hangsicherungsanker ausführen zu lassen. Die Frage stellte sich, auf welches Sicherheitsmass die ergänzende Verankerung zu bemessen sei. Es ist bekannt, dass zu einer substantiellen Erhöhung der Gleitsicherheit natürlicher Hänge schon bald einmal sehr grosse Ankerkräfte erforderlich sind, dass aber andererseits bereits eine geringe Erhöhung der Gleitsicherheit genügt, um einen labilen Hang mit Kriechbewegungen völlig stabilisieren zu können. Wie auch die nachfolgende Näherungsberechnung zeigt, wäre im Fall Hang Katzenquet eine installierte Ankerkraft von total 180 MN oder 1 MN/m' erforderlich gewesen um die rechnerische Gleitsicherheit von $F = 1.0$ auf $F = 1.1$, das heisst um 10 % erhöhen zu können.

Erforderliche Ankerkraft A zur Erhöhung der Gleitsicherheit um ΔF Näherungsberechnung (Modell und Kräfte siehe Abbildung 5)

$$F_0 = \frac{\sum R}{\sum S} - \frac{R_0}{S_0} : \text{Gleitsicherheit ohne Anker}$$

$$F = F_0 + \Delta F = \frac{R_0 + R_a}{S_0 - S_a} : \text{Gleitsicherheit mit Anker}$$

$$S_0 = G \cdot \sin \alpha_m : \begin{matrix} S_0 \text{ gesamter Hangschub} \\ G \text{ Gewicht Gleitmasse} \\ \alpha_m \text{ mittlere Gleitflächenneigung} \end{matrix}$$

$$R_a = A \cdot \sin \delta \cdot \text{tg } \varphi' : \text{Sicherwiderstand aus A}$$

$$S_a = A \cdot \cos \delta : \text{Hangschub aus A (negativ wirkend!)}$$

$$\delta = \alpha_m + \epsilon_a : \text{Ankerneigung bezogen auf } \alpha_m$$

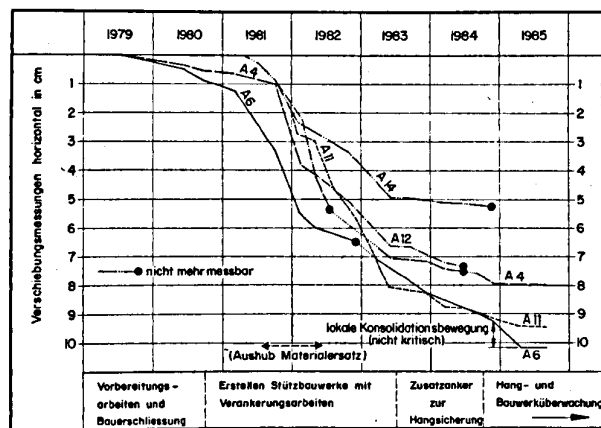
$$A_{\text{erf}} = S_0 \frac{\Delta F}{F \cdot \cos \delta + \text{tg } \varphi' \cdot \sin \delta}$$

$$A_{\text{erf}} \approx S_0 \cdot \Delta F \text{ (grobe Näherung)}$$

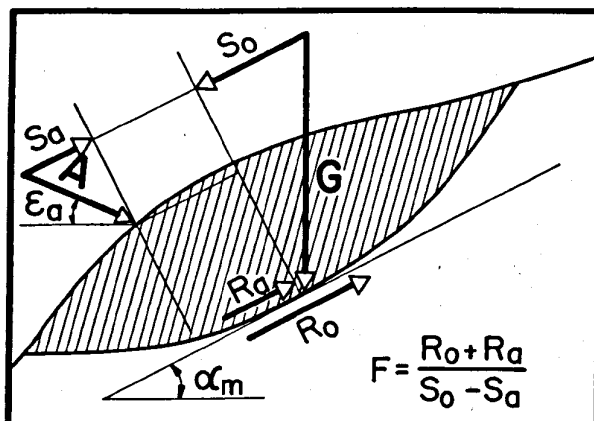
A_{erf} = erforderliche Ankerkraft zur Erhöhung der rechnerischen Gleitsicherheit um ΔF .

Beispiel Hang Katzenquet

- $V = 220\,000 \text{ m}^3$
- $\alpha_m = 22^\circ$
- $\delta = \alpha_m + \epsilon_a = 47^\circ$
- $\varphi' = 22^\circ$
- $S_0 = G \cdot \sin \alpha_m = 1760 \text{ MN}$
- $F_0 = 1.00$
- $A_{\text{erf}} = 87 \text{ MN}$
- $G_{\text{tot}} = 4700 \text{ MN}$
- $\epsilon_a = 25^\circ$
- $\Delta F = 0.05$



4: Verschiebungsmessung ausgewählter Slope-Indicators.



5: Modell zur Ankerkraftberechnung.

Zur Erhöhung der Gleitsicherheit um 5% nach Näherungsberechnung ist eine gesamte installierte Ankerkraft von 87 MN erforderlich. Eine detaillierte Gleitsicherheitsuntersuchung unter Berücksichtigung des räumlichen Einflusses ergab eine erforderliche Ankerkraft von total etwa 90 MN. Als Bemessungsgrundsatz wurde festgelegt, dass, obschon der Gleitsicherheitsnachweis eine Bruch- resp. Traglastuntersuchung darstellt, die rechnerisch erforderliche Ankerkraft als Gebrauchslast und nicht als Bruchlast aufzufassen ist. Die angestrebte Gleitsicherheit resp. Gleitsicherheitserhöhung soll ja bereits im Gebrauchszustand und nicht erst im Bruchzustand wirksam sein.

Aufgrund von Erfahrung, Kosten und Risikoabwägung wurde im Fall Katzenguet entschieden, die Hangstabilisierung mittels Felsverankerung in zwei Etappen ausführen zu lassen. In einer ersten Etappe 1984 sollte die Sicherheit vorerst einmal um 5% erhöht werden. Dazu waren 102 Felsanker $V_g = 870 \text{ kN}$ mit einer total installierten Ankerkraft von 90 MN erforderlich. Genügt diese Massnahme, so sollte auf die Ausführung der zweiten Etappe verzichtet werden. Über ein Jahr wurde der Erfolg der ersten Verankerungsetappe beobachtet. Die ausgeführten geodätischen Vermessungen und Slope-Indicator-Messungen zeigten, dass die Massnahme genügte um den Hang praktisch vollständig ($s \leq 0.1 \text{ mm/Monat}$) zu stabilisieren. Deshalb wurde auf die Ausführung der Stabilisierungsanker der 2. Etappe ($V_{g, \text{total}} = 90 \text{ MN}$) verzichtet, dies vor allem angesichts der Kosten von rund 1 Mio. Franken.

Fazit

Der Hang Katzenguet galt als schwieriges Gelände für die Erstellung der Nationalstrasse. Aufwendige Kunstbauten, die verankert werden mussten, waren für den Bau der Strasse unumgänglich. Als Folge der Bauarbeiten ist dann auch der Hang grossräumig und tiefgründig in Bewegung geraten. Mit Abschluss der Bauarbeiten hat sich der Hang zwar wieder weitgehend stabilisiert, ist aber dennoch nicht vollständig zur Ruhe gekommen. Zur vollständigen Stabilisierung der eingetretenen Hangbewegung, die gesamthaft etwa 220 000 m³ Material erfasste, wurde eine zusätzliche, in den Fels reichende Hangverankerung mittels Grosslastfelsankern ausgeführt. Als Bemessungsziel war vorgesehen in zwei Arbeitsetappen die rechnerische Gleitsicherheit um total 10% zu erhöhen. In der Folge wurde dann aber nur die

erste Etappe mit einer rechnerischen Gleitsicherheitserhöhung um 5% ausgeführt.

Dieses kleine Sicherheitsmass kann verantwortet werden, weil:

- der Hang vor den Bauarbeiten der N3 in Ruhe, das heisst stabil war,
- die durch den Bau ausgelösten Gleit- resp. Kriechbewegungen sich bereits vor der Erstellung der Stabilisierungsanker auf ein sehr kleines Mass von 0.5 bis 1.0 mm/Monat beruhigt hatten,
- die Stabilisierungsanker der ersten Etappe bereits eine praktisch vollständige Beruhigung brachten und der Erfolg der Stabilisierung während mehr als 1 Jahr beobachtet werden konnte,
- die Ausführung einer zusätzlichen Verankerung, sofern je erforderlich, auch zu einem späteren Zeitpunkt und praktisch ohne Beeinträchtigung des Strassenverkehrs noch möglich ist und
- der Hang weiterhin ständig überwacht wird.

Im allgemeinen gilt es als Praxis, dass im Falle von Kriechhängen die rechnerische Gleitsicherheitserhöhung zur Beruhigung der Bewegung mindestens 10% betragen sollte. Aus den dargelegten Gründen blieb das Mass der Sicherheitserhöhung, was aber als Ausnahme gelten sollte, auf 5% beschränkt.

Als weitere Erkenntnis ist zu vermerken, dass in schwierigen Verhältnissen, wie zum Beispiel im Fall Hang Katzenguet, die geologisch-geotechnische Erkundung als Grundlage für die Projektierung nicht zu knapp bemessen werden sollte. Damit soll nicht gesagt werden, dass man in Kenntnis der effektiven geologischen Situation von Anfang an bessere Schlüsse gezogen hätte, aber immerhin wäre es vielleicht möglich gewesen, in bestimmten Bauabschnitten rascher und zielgerichteter reagieren zu können.

