

Die Beobachtungsmethode: eine Strategie zu wirtschaftlichem Bemessen in Grundbau

Autor(en): **Vollenweider, Ulrich**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **112 (1994)**

Heft 21

PDF erstellt am: **07.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78451>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

nicht Teil des Querschnittes sind und unter Last ihre Lage bezüglich desselben ändern können.

Näher liegt es, die Vorspannung als äussere entlastende Einwirkung zu betrachten. Damit stellt sich für das Bemessungskonzept mit Teilsicherheitsfaktoren sofort die Frage nach dem anzunehmenden Lastfaktor γ_P . Es kann gezeigt werden, dass dem ersten Vorgehen ein Lastfaktor $\gamma_P = 1/\gamma_R$ entspricht (γ_R : Widerstandsbeiwert). Wird $\gamma_R = 1.2$ gesetzt (Norm SIA 162), so wird $\gamma_P = 0.833$, d.h. etwa so gross, wie die Norm SIA 160 den Lastfaktor für günstig wirkende Eigenlasten ansetzt.

Soll die Vorspannkraft höher, beispielsweise mit ihrem Kennwert eingesetzt werden ($\gamma_P = 1.0$), sind weitere Überlegungen anzustellen bezüglich der Streuung der Kabelkräfte und dem Last-Verformungsverhalten bis zum Bruch.

Daneben muss selbstverständlich ein Nachweis mit der ungünstig wirkenden maximalen Vorspannkraft (nach Norm SIA 160 $\gamma_P = 1.2$) geführt werden.

Auf internationaler Ebene sind Normierungsbestrebungen im Rahmen des Eurocodes im Gang (EC 2, Teil 1 D). Man geht aber mit Recht eher behutsam ans Werk. In einem ersten Schritt sollten vor allem die Minimalstandards für die Kabel und mögliche und zu fordernde geometrische Toleranzen bei der Ausführung geregelt werden.

Übrige Gefährdungsbilder

Wichtiger als ein Ausnutzen der letzten Prozente der Tragkapazität für Verkehrslasten ist die Analyse der übrigen Gefährdungsbilder. Im Gegensatz zu Schrägseilbrücken, deren Zugglieder auch für den Benutzer sichtbar sind, bleiben mutwillige oder fahrlässige Beschädigungen von Spannkabeln im Brückenkasten unter Umständen lange unentdeckt. Auch ein Brand im Kasteninnern hätte fatale Folgen. Deshalb müssen im Rahmen des Sicherheitsplanes folgende Fragen behandelt werden:

- Verhinderung des Zugangs Unbefugter
- Brandrisiko aus Brückenentwässerung
- Risiken aus Werkleitungen, die im Hohlkasten geführt werden.

Ausblick

Die externe Vorspannung wird die konventionelle Vorspannung sicher nicht verdrängen, da zurzeit auch Anstrengungen unternommen werden, die Kontrollierbarkeit der Vorspannung mit Verbund zu verbessern. In der Tragwerkserhaltung wird sie jedoch noch vermehrt eingesetzt werden.

Die bevölkerungsreichen Agglomerationen des Fernen Ostens und der Dritten Welt werden in Zukunft industriell-

Literatur

- [1] Buschmann, Thiele: Der Bau einer Saalebrücke aus Eisenbeton bei Alslieben. In: Beton u. Eisen, 28. Jhg. Heft 22, 20.11.1929, S. 405-409
- [2] Schönberg, M., Fichtner, F.: Die Adolf-Hitler-Brücke in Aue (Sa.). In: Die Bautechnik, 17. Jhg. Heft 8, 24.2.1939, S. 97-104
- [3] Dutoit, D.: Les récents développements de la précontrainte extérieure aux Etats-Unis In: SEBTP (ed.): La Précontrainte Extérieure. Paris 1993, p. 120-134
- [4] SETRA: External Prestressing, Bagnaux Cedex (F) 1990, p. 115 f
- [5] AFPC: Behaviour of external prestressing in structures. Tagungsband Saint-Rémy-Lès-Chevreuse (F), 1993
- [6] VSL International Ltd.: External Post-Tensioning. VSL Report Series 1, Bern, 1990

le Lösungen für die Viadukte der Nahverkehrssysteme benötigen. Dabei werden Bauverfahren, die mit externer Vorspannung kombinierbar sind (Segmentbauweise, Taktvorschub) bevorzugt werden. Sicher werden auch Verbundlösungen, die die Vorteile der Baustoffe Stahlbeton, Konstruktionsstahl und Vorspannstahl kombinieren, vermehrt Bedeutung erlangen.

Adresse des Verfassers: Prof. Thomas Vogel, Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK), ETH Höggerberg, Gebäude HIL, 8093 Zürich

Die Beobachtungsmethode

Eine Strategie zu wirtschaftlichem Bemessen im Grundbau

Die Beobachtungsmethode beinhaltet eine Strategie zur Bemessung von Tragwerken bei im voraus fehlender Basisinformation. Da der Ingenieur im Grundbau sehr oft Bauwerke unter dieser Voraussetzung konzipieren und bemessen muss, hat die Beobachtungsmethode gerade für den Ingenieurgrundbau grosse Bedeutung. Die Beobachtungsmethode ist ein auf den klassischen Berechnungs- und Bemessungsverfahren basierendes dynamisch-fortschreitendes Bemessungskonzept.

Vor rund 10 Jahren tauchte in der Fachliteratur im Zusammenhang mit der europäischen Normierung der Be-

grundbau hingewiesen. In der demnächst erscheinenden Euronorm ENV EC 7 «Geotechnical Design» ist die Beobachtungsmethode als Weg zur Bemessung von Grundbauwerken ausdrücklich erwähnt. Hinweise auf diese Methode finden sich aber auch in nationalen Normentwürfen, so zum Beispiel im Entwurf DIN 1054 «Sicherheitsnachweis im Erd- und Grundbau». Die Situation mag es daher gerechtfertigt erscheinen lassen, dass sich der geo-

technisch interessierte Ingenieur bereits heute mit der Beobachtungsmethode zu befassen beginnt.

Was beinhaltet nun aber diese Beobachtungsmethode? Grundsätzlich umschreibt sie eine Denkweise und regelt ein Bemessungskonzept, das dem fachkundigen Ingenieur schon längst vertraut ist. Mit der Kultivierung des Ingenieurschaffens, und als solche ist die heute verbreitete Normierung ja wohl zu verstehen, wurden bisher eher unreflektiert verwendete Begriffe mit konkreten, wohldefinierten Inhalten versehen. Man denke zum Beispiel an Ausdrücke wie Gefährdungsbild, Sicherheitsplan oder Qualitätssicherung; alles Begriffe, die auch für die Beobachtungsmethode Bedeutung haben. Im Zuge nach Versachlichung, Verständigung und Transparenz werden nun auch die Beobachtungsmethode und die damit erfasste Strategie zur wirtschaftlichen Bemessung von Tragwerken ordnungsmässig geregelt.

VON ULRICH VOLLENWEIDER,
ZÜRICH

griff der Beobachtungsmethode auf. Seither wurde wiederholt in Fachbeiträgen auf die grosse Bedeutung dieser Methode für den Ingenieur-

Fall Grundbau

Die Beobachtungsmethode ist nicht ausschliesslich auf den Fall Grundbau anzuwenden. Für dieses Ingenieurgebiet erhält sie aber besondere Bedeutung. Es ist denn auch bezeichnend, dass gerade in geotechnischen Normentwürfen Hinweise auf diese Methode zu finden sind. Eine kurze Betrachtung zum Sonderfall Grundbau ist daher angezeigt.

Der Grundbau unterscheidet sich in mancherlei Belangen vom übrigen konstruktiven Ingenieurbau. So insbesondere in der Verfügbarkeit und Verlässlichkeit der zur Bemessung erforderlichen materialtechnischen Unterlagen. Während im konstruktiven Ingenieurbau (Stahl, Beton, Holz, ...) die materialtechnischen Grundlagen weitgehend im konstruktiven Normenwerk verbindlich geregelt sind, sind im Grundbau die entsprechenden Unterlagen erst durch eine Baugrunderkundung objektspezifisch zu erarbeiten.

Überspitzt ist zu formulieren: Das Entsprechende zu den materialtechnischen Normen auf der einen Seite bildet das Baugrundgutachten auf der anderen Seite. Oder, der Stellung einer Normenkommission entspricht die Stellung des Baugrundgutachters! Diese Sachlage allein erhellt bereits den eklatanten Unterschied in der Qualität der projekterforderlichen Unterlagen. Die materialtechnische Beschreibung des Werkstoffes Baugrund wird in den seltensten Fällen eine den Werkstoffen Stahl, Beton oder Holz vergleichbare Güte aufweisen. Es gibt auch niemand, was doch wesentlich ist, der die Qualitäten

des Baugrundes vorbehaltlos garantieren würde. Zudem kommt, dass vielfach nicht nur bezüglich der materialtechnischen Eigenschaften des Baugrundes, sondern auch bezüglich des gesamten Baugrundaufbaus oder des Baugrundes als Tragwerk erhebliche Unsicherheiten bestehen. Letzteres ist nicht unbedingt einem Mangel der Baugrunderkundung oder derer geotechnischen Interpretation zuzuschreiben, sondern liegt in der Natur der Sache. Es ist einfach zu akzeptieren, dass die Materie Baugrund in vielen Fällen nur mit wahrrscheinlichkeitsbezogenen Aussagen beschrieben werden kann, und dass der Ingenieur bei der Konzeption, Konstruktion und Bemessung von Grundbauwerken diesem Tatbestand Rechnung zu tragen hat.

Zur Beobachtungsmethode

Definition

Die Beobachtungsmethode beinhaltet eine Strategie zur sicheren und wirtschaftlichen Bemessung von Tragwerken in Fällen, in denen im voraus eine Vorhersage über das Tragwerkverhalten aufgrund von rechnerischen Nachweisen nicht mit ausreichender Zuverlässigkeit möglich ist.

In der angegebenen Definition stecken bereits alle Merkmale, die das Wesen der Beobachtungsmethode charakterisieren:

- unzureichende Prognostizierbarkeit des Tragwerkverhaltens im voraus
- Bemessung und Konstruktionswahl aufgrund von Kosten-Nutzen-Überlegungen

- Gewinnung der fehlenden Information mit Erstellung bzw. Nutzung des Bauwerks
- Gewährleistung von Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit aufgrund ergänzender Bau- und Sicherheitsmassnahmen.

Die Beobachtungsmethode kann als ein auf den klassischen Berechnungs- und Bemessungsmethoden basierendes dynamisch-fortschreitendes Bemessungskonzept verstanden werden.

Bereits die Definition der Beobachtungsmethode lässt die grosse Bedeutung dieser Methode für den Ingenieurbau augenfällig werden. Es ist unbestritten, dass gerade im Grundbau sehr oft im voraus verlässliche Unterlagen für eine sichere Bemessung fehlen.

Gleichwohl hat der Ingenieur unter Beachtung der wirtschaftlichen Zwänge die Planung für ein qualitativ einwandfreies Bauwerk auszuführen.

Sinn und Zweck

Der Ingenieur ist sich bereits heute gewohnt, nach den für die Beobachtungsmethode geltenden Kriterien Ingenieurprojekte zu erarbeiten. Er tut dies, ohne von der Beobachtungsmethode vermutlich je etwas gehört zu haben. Zu denken ist in diesem Zusammenhang etwa an folgende Aufgaben:

- Festlegung der Stärke einer Fundationsschicht aufgrund der Baugrundbeurteilung nach Erstellen des Baugrubenaushubes.
- Definitive Auslegung der Wasserhaltung für die Trockenlegung einer Baugrube aufgrund der Messungen während der Baugrubenerstellung.
- Bestimmung der Länge von Ramm-pfählen aufgrund von Rammversuchen und Pfahlhitzenaufzeichnungen.
- Festlegung von Umfang und zulässiger Last einer Verankerung aufgrund von Ankerversuchen und Ankerprüfungen während der Ausführung.
- Massnahmen zur Sicherung der Baugrubenböschung aufgrund der beobachteten Erscheinungen beim Aushub.
- Sicherung eines Tunnelgewölbes mit Spritzbeton und Anker aufgrund der Beobachtungen beim Vortrieb und Ausbruch des Tunnels.

Die Beispiele könnten beliebig erweitert werden. Allen ist gemeinsam, dass die für eine sorgfältige und wirtschaftliche Bemessung erforderlichen Informationen anfänglich fehlen, jedoch mit Ausführung des Bauwerks hinzuge-wonnen werden können. Die angewendete Technik kann auch bezeichnet werden als «learn as you go». Die Frage mag

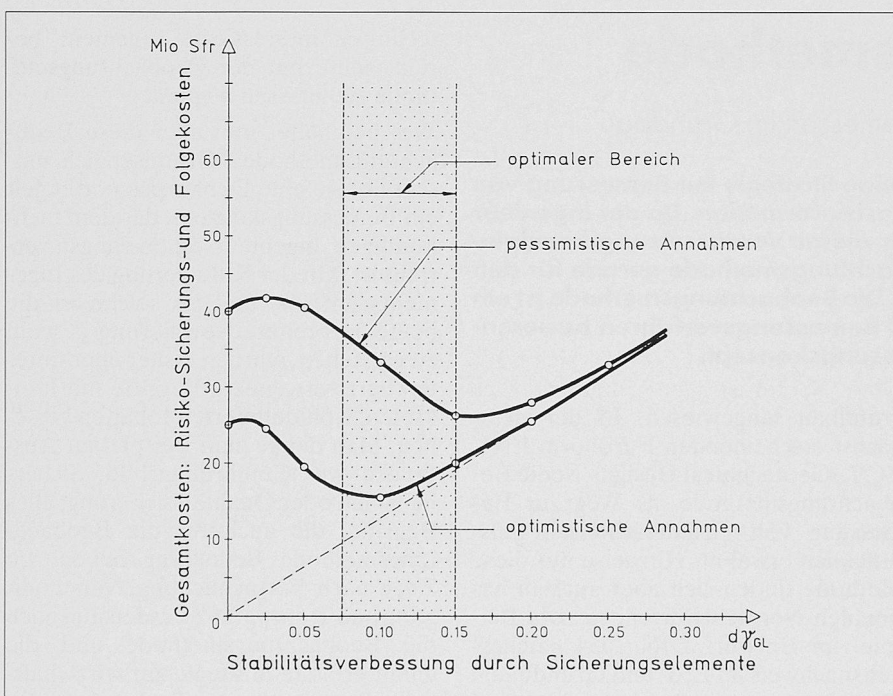


Bild 1. Risiko-Kosten-Optimierung

berechtigt erscheinen: Wieso braucht es eine neue Methode für etwas, das der Ingenieur schon immer getan hat? Die Gegenfrage darf gestellt werden: Wieso brauchen wir eine neue Sicherheitsphilosophie mit Gefährdungsbildern, wenn der Ingenieur schon immer in diesen Kategorien gedacht hatte? Oder: Wieso brauchen wir heute eine Qualitätssicherung mit QS-Handbuch und QS-Plänen, wenn der Ingenieur schon früher stets für Qualität besorgt war? Eine positive Antwort auf die gestellten Fragen: Das Ingenieurwissen schreitet fort, die Technik entwickelt sich weiter, die Bauabläufe werden komplexer, die Bauwerkherstellung erfolgt rascher, die Projektrealisierung ist interdisziplinär, und unter Druck und Zwang sind die Baubeteiligten in ihrer Arbeit oft überfordert. Die geänderte Baupraxis erfordert auch angepasste Methoden. Die Beobachtungsmethode möchte in dieser Situation durch einfache, aber zwingend zu beachtende Regeln eine Hilfe geben.

Anforderungen

Als Konsequenz einer mit Risiko behafteten, dynamisch fortschreitenden Bemessung ist die Anwendung der Beobachtungsmethode an eine Reihe von Voraussetzungen und Anforderungen gebunden:

- *Generalgrundsatz:* Die Bauwerkplanung, Tragwerkbemessung und Qualitätssicherung hat auf der Grundlage einer sorgfältigen Gefährdungsbild- und Risikoanalyse zu erfolgen.
- *Wirtschaftlichkeit:* Das eingegangene Risiko soll stets in einem angemessenen Verhältnis zum wirtschaftlichen Nutzen stehen.
- *Prognose Tragwerkverhalten:* Über das Verhalten von Baugrund und Bauwerk ist im voraus eine Prognose zu erstellen. Es sind Grenzwerte für den akzeptablen und den kritischen Verhaltensbereich wie auch Grenzwerte (Interventionsgrenzen) für die Auslösung von ergänzenden Bau- und Sicherungsmassnahmen festzulegen.
- *Bauwerküberwachung:* Es sind Kontrollen und Messungen zu planen und auszuführen, mit denen das Baugrund- und Tragwerkverhalten überwacht und der Handlungsbedarf für ergänzende Bau- und Sicherungsmassnahmen vorhergesehen werden können.
- *Qualitätssicherung:* Es sind bautechnische Massnahmen vorzubereiten und allfällige Sicherungsmassnahmen bereitzustellen, mit denen der Risikofall ausgeschlossen oder mindestens beschränkt gehalten werden kann.

- *Projektanpassungen:* Mit Ausführung der Arbeiten bzw. Nutzung des Bauwerks sind allenfalls aufgrund der gemachten Feststellungen vorgeplante Projektanpassungen vorzunehmen.
- *Projektüberprüfung:* Die Prognosen, die Grenzwerte, die Bauwerküberwachung und die Qualitätssicherungsmassnahmen sind im Laufe der Bauwerkrealisierung bzw. Nutzung periodisch auf Richtigkeit und Angemessenheit hin zu überprüfen.
- *Risikoabsprache:* Über das eingegangene Risiko ist mit dem Auftraggeber bzw. dem Bauherrn unter Nennung von Folgen und Folgekosten eine klare Vereinbarung zu treffen.

Beispiel aus der Praxis

Vorbemerkung

Die Anwendung der Beobachtungsmethode soll am Beispiel der Sanierung des Kriechhanges Arschella Ost bei Sedrun, Kanton Graubünden, illustriert werden. Konzept und Bemessung der Hangsicherung werden dabei nur summarisch präsentiert, geht es hier ja nicht in erster Linie um die Bemessung des Bauwerks, sondern um die Anwendung der Beobachtungsmethode.

Ausgangslage

Die Oberalpstrasse und die Furka-Oberalp-Bahn queren im Gebiet von Arschella einen ausgeprägten und latent rutschgefährdeten Kriechhang. Die Oberalpstrasse, als einzige Strassenverbindung von Disentis nach Sedrun, wurde bereits 1983 durch eine lokale Rutschung unterbrochen. Ab diesem Datum zeigten die Verschiebungsmessungen im gefährdeten Rutschgebiet eine starke Zunahme der Verschiebungsgeschwindigkeiten mit Werten von 25 bis 100 mm/Jahr. Alle Anzeichen deuteten darauf hin, dass die Sicherheit der Verkehrsträger, auch kurzfristig betrachtet, nicht mehr gewährleistet war, und dass eine Sanierung des Kriechhanges bzw. Sicherung der Verkehrsträger unumgänglich wurde.

Geotechnische Situation

Der Kriechhang Arschella Ost umfasst bei einer Länge von rund 250 m und einer mittleren Breite von rund 100 m ein Gebiet von rund 25 000 m². Die mittlere Rutschtiefe, bezogen auf den kritischen Gleithorizont, beträgt rund 14 m. Die gesamte Rutschmasse des rd. 30° steilen Hanges umfasst rund 350 000 m³,

der geschätzte Extremwert liegt bei ca. 450 000 m³. Der massgebende Gleithorizont wird in weiten Bereichen von der Oberfläche des glazial geprägten Kaririffelsens gebildet. Hangwasser und Porenwasserdrücke konnten innerhalb der Gleitmasse und auch bis in eine beachtliche Tiefe unter den Gleithorizont nur in untergeordnetem Ausmass festgestellt werden. Die zahlreichen, tief in den Fels reichenden Drainagebohrungen blieben praktisch ohne Ergiebigkeit. Das Abgleiten bzw. Kriechen der Deckschicht auf und zum Teil im Kaririffels wird durch Erreichen der Restscherfestigkeit verursacht.

Hangsicherung

Zur Sanierung des gefährdeten Rutschhanges Arschella Ost und zur Sicherung der Verkehrsträger wurde eine Kombination von Hangverankerung und Hangverdübelung ausgeführt. Insgesamt wurden in mehreren Etappen und in der Höhenlage gestaffelt total 394 Zuganker von 500 bis 600 kN Gebrauchslast, 46 Bohrpfähle Ø 900 mit HEM 600 Schubdübelprofilträgern und 24 Mikropfähle Ø 219 mm mit Stahlrohreinsetzung Ø 152.4/16 mm ausgeführt. Die Konzeption der Hangsicherung erfolgte nach einer sorgfältigen Risikoabwägung und einer eingehenden Optimierung zur Festlegung des zweckmässigsten Sicherungssystems.

Bemessung

Die zentrale Frage der Bemessung der Hangsicherung war die Festlegung des Wertes der erforderlichen Stabilitätsverbesserung (Sicherheitsniveau). Keine Hilfestellung in dieser Frage konnte das SIA-Normenwerk geben, da der vorliegende Fall im Normenwerk nicht behandelt ist. Dagegen boten sich ersatzmässig als Bemessungskriterien die folgenden Betrachtungsweisen an:

- Reduktion der mittleren Kriechgeschwindigkeit des Hanges auf ein zulässiges Mass von rund 1–2 mm/Jahr
- Optimieren der installierten Hangsicherung unter einer integralen Kosten-Nutzen-(Risiko)-Betrachtung
- Festlegung der Stabilitätsverbesserung aufgrund von Erfahrungswerten

Bei allen Überlegungen war von einem labilen Zustand mit $\gamma_{GI} = 1.00$ auszugehen. Für die Bemessung selbst wurden vorsichtige Mittel- und Erwartungswerte, nicht aber Extremwerte angenommen.

Kriterium zulässige Kriechgeschwindigkeit

Ausgehend vom rheologischen Kriechverhalten des Bodens kann unter bestimmten Annahmen für die Stabi-

litätsverbesserung folgende Beziehung aufgestellt werden:

$$d\gamma_{Gl} = \rho \cdot \log \frac{v_o}{v}$$

$d\gamma_{Gl}$: bezogene Stabilitätsverbesserung

ρ : rheologischer Festigkeitsbeiwert

v_o : mittlere Kriechgeschwindigkeit ohne Hangsicherung

v : zulässige Kriechgeschwindigkeit mit Hangsicherung

In der Literatur findet man für den rheologischen Festigkeitsbeiwert für einen Boden vom Typ Arschella Werte von rund 0.025 (Skempton), 0.05 (Bishop) und 0.085 (Casagrande).

Unter der Annahme, dass die mittlere Kriechgeschwindigkeit um einen Faktor 100 reduziert werden soll, und dass der rheologische Festigkeitsbeiwert 0.05 beträgt, folgt:

$$d\gamma_{Gl} = 0.10 \text{ erforderliche Stabilitätsverbesserung}$$

Kriterium Kosten-Nutzen

Beim Kriterium Kosten-Nutzen bzw. Risiko-Kosten müssen Annahmen bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadenereignisses (grossräumige Geländeinstabilität) in Abhängigkeit der Hangsicherungsmassnahmen (Stabilitätsverbesserung) getroffen werden. Ferner müssen die gesamten Kosten des Schadenereignisses und die Kosten der Hangsicherungsmassnahmen ermittelt werden. Auf diesen Grundlagen sind, als Optimierungsproblem, die minimalen Gesamtkosten zu ermitteln. Die Optimierung erfolgte im wesentlichen unter folgenden Annahmen:

Kosten Schadenereignis mit Unterbrechung von Strasse und Bahn einschliesslich aller Folgekosten Fr. 25–40 Mio.

Kosten konstruktiver Sicherungsmassnahmen inkl. aller Folgekosten. Bezogene, aufgezinste Kosten für Stabilitätsverbesserung um 1% in 10 Jahren Fr. 1.3 Mio.

Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadenereignisses ohne Sicherungsmassnahmen in 10 Jahren

$$p_t = 0.5-1.0 \text{ (50–100\%)}$$

Bezüglich der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadenereignisses in Abhängigkeit der Stabilitätsverbesserung wurde eine optimistische und eine pessimistische Annahme einer möglichen Verteilungsfunktion (intuitive Schätzung) getroffen.

Stabilitätsverbesserung

Aufgrund der Untersuchungen und unter Berücksichtigung von Erfah-

rungswerten wurden für den Hang Arschella Ost folgende Kriterien für die Stabilitätsverbesserung festgelegt:

globale Stabilitätsverbesserung

$$d\gamma_{Gl} = 0.10$$

lokale Stabilitätsverbesserung

$$d\gamma_{Gl} = 0.15$$

Der zu installierende Hangschubwiderstand, bezogen auf eine vorsichtige Schätzung der gesamten Gleitmasse, beträgt (approximative Betrachtung):

$$R_{tot} \approx d\gamma_{Gl} G_o \sin\alpha_m$$

$$R_{tot} \approx 0,1 \cdot 7 \cdot 10^6 \cdot 0,5 = 350\,000 \text{ kN}$$

G_o : gesamte Gleitmasse (vorsichtiger Mittelwert)

$\sin\alpha_m$: mittlere Gleitneigung rund 30°

R_{tot} : gesamter Hangschubwiderstand aller Sicherungselemente Anker und Schubpfähle.

Gesamtbeurteilung

Die Sicherung des Rutsch- und Kriechhanges Arschella wurde nach dem Prinzip und den Kriterien der Beobachtungsmethode bemessen. Aus Kosten-Nutzen-Überlegungen wurde bewusst ein gewisses Risiko in Kauf genommen. Im Sicherheitsplan sind die relevanten Gefährdungsbilder wie auch die massgebenden Grenzwerte für das Tragwerkverhalten festgelegt. Als zulässig werden zum Beispiel Kriechverschiebungen absolut von max. 50 mm, bzw. relativ von max. 5 mm/Jahr, als kritisch werden solche von 100 mm bzw. 10 mm/Jahr betrachtet. Erwartet werden nach der Sanierung Kriechbewegungen von weniger als 1–2 mm/Jahr.

Der Sicherheitsplan nennt die Massnahmen (Entspannung der Verankerung, Verstärkung der Hangsicherung, Vernagelung der Deckschicht, Entspannung des Hang- und Kluftwassers soweit vorhanden, usw.), die bei Überschreiten der zulässigen Grenzwerte zu ergreifen sind. Im Sicherheitsplan sind auch die Verantwortlichkeiten für die Überwachung und die Sicherungsarbeiten geregelt.

Der Überwachungsplan regelt die Kontrollen und Messungen, die während der Nutzungsdauer des Bauwerks auszuführen sind. Im wesentlichen sind es visuelle Kontrollen, geodätische Vermessungen und Messungen der installierten Slope Indicatoren in Abständen von 1 bis 2 (5) Jahren. Die Überwachung der Ankerkräfte und der Porenwasserdrücke erfolgt über permanent installierte Messstationen.

Entsprechend der Auflage der Beobachtungsmethode erfolgte betreffend des akzeptierten Risikos eine Absprache mit dem Bauherrn. Mit grosser Wahrscheinlichkeit darf der Hang Ar-

Literatur

- [1] SIA 260: Sicherheit und Gebrauchsfähigkeit von Tragwerken. Weisung des SIA an seine Kommissionen für die Koordination des Normenwerks, 5. Fassung. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1981.
- [2] SIA 260: Sicherheit und Gebrauchsfähigkeit von Tragwerken. Erwägungen der Kommission SIA 260 für Tragwerksicherheit, bereinigte Fassung, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1982.
- [3] CEN: Eurocode 7, Part 1 Geotechnical Design, General Rules, Working Document 4th Version, 1983.
- [4] DIN 1054: Sicherheit im Erd- und Grundbau, Abschnitt 1 und 2, Entwurf Oktober 1993.
- [5] Franke, E.: Einige Anmerkungen zur Anwendbarkeit des neuen Sicherheitskonzeptes im Grundbau. Geotechnik 1984.

schella Ost als saniert betrachtet werden. Gleichwohl kann nicht ausgeschlossen werden, dass im Laufe der Zeit zusätzliche Sicherungsmassnahmen erforderlich werden können, wie auch ein gewisses Restrisiko einer möglichen Hanginstabilität bestehen bleibt. Beides muss aber nach dem Kriterium einer optimalen Kosten-Nutzen-Betrachtung als akzeptiertes Risiko hingenommen werden.

Schlussbemerkung

Die Anwendung der Beobachtungsmethode bringt, speziell im Grundbau, wirtschaftliche Vorteile. Die Bemessung des Tragwerks wird nicht deterministisch vorbestimmt, sondern erfolgt unter Berücksichtigung von Kosten-Nutzen-Überlegungen mit Anpassung an die objektbezogenen Verhältnisse. Die Methode verlangt aber in der Ingenieurbearbeitung des Projektes eine integrale Risikoanalyse und Sicherheitsplanung, was eher ungewohnt ist, und sie fordert für die Ausführungs- und Nutzungsphase eine konsequente Bauwerküberwachung.

Bei der Anwendung der Beobachtungsmethode wird der Ingenieur in allen Bereichen wesentlich mehr gefordert, als wenn er von allem Anfang an eine sichere, dafür aber vielleicht unwirtschaftliche Lösung in Vorschlag bringt.

Adresse des Verfassers: Ulrich Vollenweider, Dr. sc. techn., Dr. Vollenweider AG, Beratende Ingenieure ETH/SIA/ASIC, Hegarstrasse 22, 8032 Zürich.