

# Kriechen von Böschungen in vorbelasteten Tönen

Autor(en): **Bjerrum, Laurits**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **86 (1968)**

Heft 31

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-70094>

## **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.

im Jahre 1954 gab das Startzeichen für die Untersuchungen über das Verhalten des Bodens unter dynamischer Beanspruchung.

In dieser Zeit widmete sich Prof. R. Haefeli der Bereinigung verschiedener Publikationen, die als Mitteilungen der VAWE herausgegeben wurden.

Ende 1954 umfasste die Erdbauabteilung insgesamt 18 Mitarbeiter, wovon 12 mit akademischem Titel.

Rückblickend auf die 20jährige Tätigkeit des Mitgründers und ersten Chefs der Erdbauabteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH, möchten wir ihm vorab danken für den Impuls, den er in unermüdlicher, ja beinahe rastloser, intensiver Arbeit diesem jungen Zweig der Ingenieurwissenschaft gegeben hat. Jede Anregung zum besseren Verständnis der Zusammenhänge zwischen dem Verhalten und der Beanspruchung des Materials gab ihm Anlass, dank ausserordentlichem Geschick als Experimentator, zahlreiche sinnvolle Geräte und Apparate zu entwickeln. Die über 70 von ihm abgefassten «Internen Berichte» sind Zeugen seiner ideenreichen mathematischen Begabung, Versuchsergebnisse in einer Theorie zu formulieren.

Wenn auch bestimmte, zum Teil sehr persönliche Darstellungen, wie zum Beispiel seine Setzungsanalyse, mit dem von ihm eingeführten Zahlenwert  $\Delta_e$  durch die Weiterentwicklung der Bodenmechanik überholt wurden, hat seine einmalige Synthese über das plastische Verhalten in der Fels-, Boden-, Schnee- und Eismechanik vor der Nachwelt sicheren Bestand.

#### Literaturverzeichnis

- [1] 1938 E. Meyer-Peter/R. Haefeli/A. von Moos: Das Institut für Erdbauforschung, SBZ Bd. 111, Nr. 14, 1938.
- [2] 1953 E. Meyer-Peter: Der Ergänzungsbau der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH, Zürich. «Neue Zürcher Zeitung» Nr. 207, 28. Januar 1953.
- [3] 1942 R. Haefeli: Spannungs- und Plastizitätserscheinungen der Schneedecke unter besonderer Berücksichtigung der Schneedruckberechnung und verwandter Probleme der Erdbauforschung.

Adresse der Verfasser: Prof. Gerold Schnitter und Ing. Charles Schaerer, VAWE, 8006 Zürich, Gloriastrasse 39.

## Kriechen von Böschungen in vorbelasteten Tonen

DK 624.131.221

Von Laurits Bjerrum, geotechnisches Institut, Blindern, Oslo

Seit Professor Dr. R. Haefeli in den frühen dreissiger Jahren mit seiner wissenschaftlichen Arbeit auf dem Gebiete der Eis-, Schnee-, Boden- und Felsmechanik begann, widmete er sein Hauptinteresse stets dem Problem des Kriechens. Während vier unvergesslichen Arbeitsjahren an der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH in Zürich führte der Jubilar den Verfasser dieser Abhandlung in die Probleme der langsamen Böschungsbewegungen ein. Mit diesem Beitrag – einer kurzen Studie über einen speziellen Fall des Kriechens – in der Festschrift zum 70. Geburtstag von Professor Haefeli möchte der Verfasser gerne seiner tiefen Dankbarkeit seinem Lehrer und Freund gegenüber Ausdruck verleihen.

«Kriechen von Böschungen» ist ein weitgefasster Ausdruck, der in der Ingenieurgeologie gebraucht wird, um Abwärtsbewegungen zu bezeichnen, die mit kaum feststellbarer Geschwindigkeit erfolgen (Terzaghi, 1950). Die folgende Erörterung soll aber auf den Mechanismus des Kriechens von *Tonböden-Böschungen* beschränkt bleiben. Es wird dabei unterschieden zwischen dem Fall, bei dem die Bewegung in der Zone erfolgt, in welche der Frost im Winter eindringt, und jenem Fall der Böschungsbewegung, der Gegenstand der nachfolgenden Ausführung ist. Dieser Fall kann auf tieferliegende Bewegungen zurückgeführt werden, jener sollte eher unter der «Solfuktion» behandelt werden. Doch sogar mit solch einer Einschränkung des Begriffes sind noch verschiedene Arten des Kriechens von Tonböden-Böschungen möglich (Bild 1).

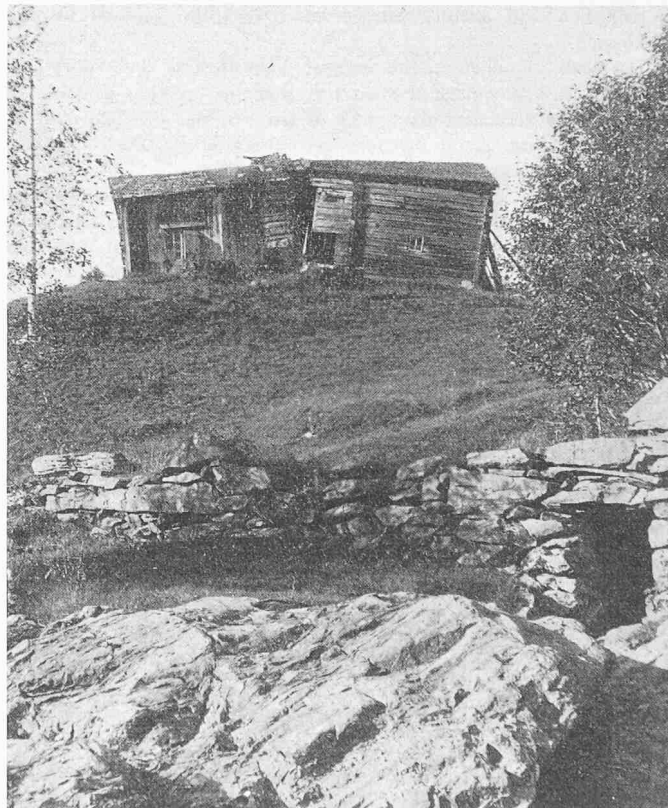
Ein Studium des Verhaltens der Böschungen von Tonböden verschiedenartigen geologischen Ursprungs und Geschichte führt zu dem interessanten Schluss, dass das Kriechen von Böschungen umso ausgeprägter wird, je grösser die Festigkeit des ursprünglichen Tones oder des Ursprungsgesteines war. Ein Gebiet, in welchem öfters Kriechvorgänge vorkommen, befindet sich im östlichen Teil der Schweiz. Dort besteht das Ursprungsgestein aus schwachzementierten, tonigen Schiefen, die ihre grosse Festigkeit durch ehemalige grosse Überlagerungen erhalten haben (es ist auch möglich, dass diese Schiefer eine Umwandlung erfahren haben). Kommen sie jedoch mit Wasser oder Luft in Berührung, so quellen und zerfallen sie (Jäckli, 1948 und 1957; von Moos, 1953; Haefeli, 1944; und Haefeli et al., 1953). Nahe an diese Art kommt das Kriechen, das man bei Böschungen in den etwas weicheren Schiefertönen im südlichen Europa und in mehreren Schiefertongebieten der Vereinigten Staaten beobachten kann, wie zum Beispiel in Pennsylvania und an der kalifornischen Westküste (Sharpe und Dosch, 1942; Ladd, 1927 bis 1928; Gould, 1960; Peterson, 1954). Andererseits zeigt die Erfahrung, dass ein Kriechen von Böschungen in Schweden, Norwegen und Kanada, wo der Ton weich und normal- oder beinahe normalkonsolidiert ist, nur selten oder überhaupt nicht vorkommt. Das gleiche gilt auch für Löss. Es ist daher nicht unwahrscheinlich, dass die Natur des hier erörterten Falles von Kriechen mit der geologischen Geschichte des Ursprungsgesteines eng verbunden ist.

Vor kurzem wurde gezeigt (Bjerrum, 1967), wie ein Teil der Zusammendrückungsenergie bei Tonen und Schiefertönen, die während einer Vorbelastung grossen Drücken ausgesetzt waren, eine

Biegung der schuppenförmigen Tonteilchen verursacht. Sobald die Last entfernt wird, versuchen die Tonteilchen so weit wie möglich ihre ursprüngliche Form wiederzuerhalten. Das ist nur unter der Voraussetzung möglich, dass die Belastung die Elastizitätsgrenze nicht überschritten hat. Ein Ton, der unter einem gegebenen Druck konsolidiert wird, enthält demnach einen gewissen Anteil von sogenannter Dehnungsenergie.

In der gleichen Abhandlung wurde auch gezeigt, wie die Dehnungsenergie in einigen Tonen bei der Entlastung wieder frei wird, während es andere Tone gibt, bei denen die Dehnungsenergie eingeschlossen bleibt und infolgedessen nicht sofort frei wird. Die Erklärung, warum die Dehnungsenergie in einigen Tonen erhalten bleibt, wurde darin gefunden, dass in diesen Tonen während der maximalen Vorbelastung diagenetische Bindungen entstanden sind. Diese Bindungen haben die Eigenschaft, die Berührungsstellen der Teilchen zusammenzuschweissen. Auf diese Weise werden die gebogenen Teil-

Bild 1. Kriechen in zwei Richtungen in einem Hügel in Vuku, Norwegen. Photo G. Holmsen, 1915 NGI



chen daran gehindert, sich bei der Entlastung wieder gerade zu biegen. Mit der Zeit können die diagenetischen Bindungen aufgehoben werden, sofern der nahe an der Oberfläche liegende Ton den verschiedenen Verwitterungskräften ausgesetzt wird. Während der Verwitterung wird die eingeschlossene Dehnungsenergie nach und nach frei.

Es besteht folglich ein wesentlicher Unterschied im Verhalten zwischen vorbelasteten Tonen mit schwachen und solchen mit starken diagenetischen Bindungen.

Bei Tonen mit schwachen Bindungen wird der grösste Teil der Dehnungsenergie bei der Entlastung freigegeben. Da ja der Ton die Tendenz hat, sich auch horizontal auszudehnen, nimmt bei seitlicher Einspannung das Verhältnis der wirksamen horizontalen zur wirksamen vertikalen Spannung zu. Beim Aufheben der seitlichen Einspannung durch Abtrag dehnt er sich auch seitlich aus. Die Verwitterung der oberen Schichten solcher Lehme hat nur geringe Wirkung.

In Schiefertönen mit starken diagenetischen Bindungen bleibt die elastische Dehnungsenergie während der Entlastung erhalten. Die Quellung bleibt daher beschränkt, die horizontalen wirksamen Spannungen sind verhältnismässig klein und somit ebenso die Tendenz des Tones, sich horizontal auszudehnen. Wenn aber ein Schiefertone mit starken diagenetischen Bindungen den verschiedenen Verwitterungskräften ausgesetzt wird, erfolgt eine progressive Vernichtung dieser Bindungen. Das Ergebnis ist eine sehr kräftige Quellung, und es ergibt sich eine Steigerung der wirksamen Spannungen in paralleler Richtung mit der Oberfläche sowie eine Tendenz der Tonteilchen, sich in dieser Richtung auszudehnen.

Auf das Problem des Kriechens von Böschungen angewandt, bietet sich nun folgende Möglichkeit, diesen Vorgang zu erklären: Das Kriechen ist eine Erscheinung, die mit der langsamen Volumenausdehnung verglichen werden kann. Diese Ausdehnung ist auch eine Begleiterscheinung beim Verwitterungszersfall von Tonen und Schiefertönen, welche eine grosse elastische Dehnungsenergie besitzen. Für diese Erklärung eines solchen Kriechvorganges müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

1. Der ursprüngliche Boden oder das Ursprungsgestein muss aus Tonteilchen bestehen, die ausgesprochen elastische Eigenschaften aufweisen. Zudem müssen die chemischen und mineralogischen Änderungen während der grössten Belastung des Tones klein sein, damit die elastischen Eigenschaften der Tonteilchen nicht durch Rekristallisation oder ähnliche Prozesse vernichtet werden.
2. Die Bindungen, die beim Ton unter dem maximalen Konsolidierungsdruck entstanden, müssen so gross sein, dass sie nur einen kleinen Teil der elastischen Dehnungsenergie während der Entlastung freigeben. Sie sollen jedoch durch die verschiedenen physikalischen und chemischen Verwitterungskräfte zerstört werden können.
3. Die Dehnungsenergie, die bei der Verwitterung des Tones frei wird, muss ausreichend sein, um seitliche Spannungen solcher Grösse zu erzeugen, dass diese zusammen mit der Schwerkraft imstande sind, einen progressiven Scherbruch in der Tonmasse zu verursachen.

Wenn man in Erwägung zieht, was sich bei der Verwitterung der oberen Kruste eines Schiefertones ereignet, so zeigt es sich, dass die beiden wichtigsten Faktoren, die zum Kriechen beitragen, folgende sind: die allmähliche Zunahme der Tendenz einer seitlichen Ausdehnung und die gleichzeitig mit der Erhöhung des Wassergehaltes einhergehende Reduktion der Scherfestigkeit. Es ist nicht zu vermeiden, dass irgendwo in der Böschung günstige Bedingungen für den Beginn eines progressiven Bruches vorhanden sind, so zum Beispiel im Böschungsfuss. Sobald die Bewegungen im Gange sind, schreiten sie in aufsteigender Richtung fort.

Ein weiteres Sich-Entwickeln des Kriechens hängt sowohl von der Neigung der Böschung als auch von der Restscherfestigkeit des

Tones in der normalerweise hangparallelen Gleitfläche ab. Ist die Böschung so steil, dass die Restscherfestigkeit des Tones kleiner als die Scherbeanspruchung ist, wird das Kriechen schliesslich in ein Gleiten (Skempton, 1964) übergehen. Dadurch wird dann eine neue Tonoberfläche aufgedeckt und der Prozess fängt von neuem an. Wie schnell eine Böschung eines Schiefertones schichtweise weggetragen wird, ist bei einem solchen Vorgang von der Geschwindigkeit der Verwitterung der oberen Schichten abhängig.

Wenn die von der Schwerkraft herrührende Scherbeanspruchung in der Bruchzone mit der Restscherfestigkeit übereinstimmt, erfährt die Böschung ein ununterbrochenes, langsames Kriechen. Die Bewegungen werden nicht in ein Gleiten übergehen.

Den allgemeinen Mechanismus des Kriechens kann man in zwei Phasen einteilen. In der ersten Phase bildet sich durch progressiven Bruch eine durchgehende Gleitfläche. Sobald sich eine Schicht auf diese Weise losgelöst hat, beginnt die Phase der Kriechbewegungen. In diesem Zustand ist im Prinzip der Sicherheitsfaktor gegen ein Abrutschen der Böschung gleich eins. Jede seitliche Ausdehnung des Tones während der weiteren Verwitterung wird eine entsprechende Bewegung des Gleitkörpers verursachen. Da der Widerstand gegen ein Abwärtsgleiten sehr klein ist, ergibt diese seitliche Dehnung ein talwärts gerichtetes Kriechen. Die Bewegungen sind selbstverständlich ungleichmässig. Durch die Rissbildung, eine Begleiterscheinung des Kriechens, ändert sich der Porenwasserdruck in der Bruchzone bei Regen beträchtlich. Man kann folglich von einem jahreszeitlichen Charakter des Kriechens sprechen. Mit fortschreitender Bewegung nimmt der Zerfall der weniger gestörten Tone und Trümmerstücke des unberührten Tones zu. Das kann zusammen mit einer lokalen Beschleunigung der Bewegung zu einer weiteren Reduktion der Restscherfestigkeit führen.

In Böschungen, die so flach sind, dass die Scherspannung infolge der Schwerkraft kleiner ist als die Restscherfestigkeit, wird kein Schwerkraftkriechen eintreten. Auf lokalen schwachen Stellen können aber trotzdem einige seitliche Bewegungen auftreten, die von inneren Kräften herrühren, doch können diese die Stabilität der Böschungen nicht beeinflussen. Mit der Zeit werden die oberen Schichten weicher, und gleichzeitig nehmen die seitlichen Kräfte ab, weil der maximale Wert des Hauptspannungsverhältnisses von der Scherfestigkeit des Tones abhängt.

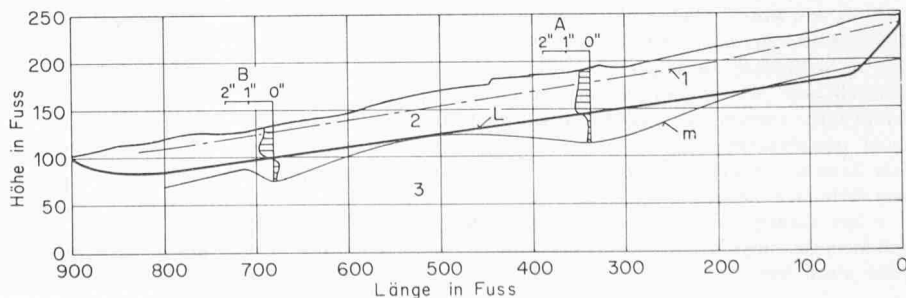
Nur sehr wenige Untersuchungen von Kriechen von Tonböschungen wurden veröffentlicht. Die einzige Untersuchung, die umfangreich genug ist, um ein eindeutiges Bild von den Erscheinungen zu geben, ist diejenige, die Gould in einer Abhandlung für die Boulder-Konferenz veröffentlicht hat (1960). Er beschreibt die Ergebnisse der Untersuchungen von mehreren Böschungen an der Westküste von Kalifornien. Es handelt sich um zwei stark vorbelastete Meerestone aus tertiärer Zeit mit verhältnismässig starken diagenetischen Bindungen. Die Böschungen variieren von steilen Abhängen bis zu flachen Neigungen von nur 9°. Seine Untersuchungen umfassten die Beobachtungen des Porenwasserdruckverlaufes sowie Inklinometermessungen, die die Bewegungen in verschiedenen Tiefen anzeigen. Eine der beobachteten Böschungen ist 165 Fuss hoch, sehr flach und hat eine Inklination von 10° (Bild 2). Die Böschung befindet sich in einem ständigen Kriechen, dessen durchschnittliche Bewegungsgeschwindigkeit ein Fuss pro Jahr beträgt. Wie aus den Inklinometermessungen (Bild 2) hervorgeht, ist es möglich, den wichtigen Schluss zu ziehen, dass das Kriechen das Resultat einer Bewegung der oberen Schicht ist, längs einer deutlich abgegrenzten Rutschfläche oder einer begrenzten Bruchzone, die bei den Messungen in einer Tiefe von 45 Fuss lokalisiert wurden. Die Scherspannung infolge des Schwerkrafts entlang dieser Gleitebene stimmt ungefähr mit der Restscherfestigkeit, die einem resultierenden  $\Phi^{Rest}$  von rund 10° ÷ 12° entspricht, überein. Dieser Fall ist somit ein typisches Beispiel einer Böschung, in der sich ein ständiges Kriechen entwickelt, das

Bild 2. Kriechen von Böschungen an der Westküste von Kalifornien (Gould, 1960)

A Bewegung in 38 Tagen, B Bewegung in 175 Tagen

1 Grundwasser, 2 Unverwitterter Martinez-Ton, 3 Unverwitterter sandiger Martinez-Ton

L Gleitfläche, m Übergang zum sandigen Martinez-Ton



durch seitliche Ausdehnung des Tones infolge der Verwitterung verursacht wird. In diesem besonderen Fall ist es auch sehr unwahrscheinlich, dass das Kriechen zu einem Gleiten führt. Aus der Untersuchung von Gould geht hervor, dass es in demselben Gebiet Böschungen gibt, die mit Neigungen zwischen  $9^\circ$  und  $28^\circ$  und unter der Voraussetzung, dass  $c' = 0$  ist, einen erforderlichen  $\Phi'$ -Wert von  $12^\circ \div 45^\circ$  aufweisen.

Die Geschichte dieser Gebiete weist deutlich darauf hin, dass mit der Zeit an allen Böschungen, bei denen der erforderliche  $\Phi'$ -Wert grösser als ungefähr  $10^\circ \div 12^\circ$  ist, ein Bruch eintreten wird. Doch bis dahin kann sehr viel Zeit verstreichen. Der Langzeitfaktor, der allmählich zu einem Gleiten führt, ist eng mit dem Kriechen verbunden. Die Stabilität der Böschungen wird bei diesem Vorgang mit der Dauer der Einwirkung der Verwitterungskräfte abnehmen. Goulds Beobachtungen deuten an, dass für diese besonderen Tone, die eine Fließgrenze von  $65 \div 70\%$  und einen natürlichen Wassergehalt, der knapp unter der Ausrollgrenze liegt, aufweisen, eine ansehnliche Bewegung notwendig ist, um die Struktur zu zerstören und die Scherfestigkeit des Tones auf den Restwert zu erniedrigen.

In der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, wie eng das Verhalten vorbelasteter Tone und Schiefertone in Böschungen mit den ingenieur-geologischen Eigenschaften dieser Tone verbunden ist. Sie enthalten eine elastische Dehnungsenergie, welche durch diagenetische Bindungen eingeschlossen werden und nur dann zerstört werden können, wenn der Ton einer Verwitterung ausgesetzt ist.

#### Literatur:

- Bjerrum, L.* (1967): Progressive failure in slopes of overconsolidated plastic clay and clay shales. The third Terzaghi Lecture. American Society of Civil Engineers, Proceedings, Vol. 93, No. SM 5, p. 3-49.
- Gould, J. P.* (1960): A Study of Shear Failure in Certain Tertiary Marine Sediments, ASCE Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils, Boulder, Colo., 1960, pp. 615-641.
- Haefeli, R.* (1938), Mechanische Eigenschaften von Lockergesteinen, Vortrag, «Schweizerische Bauzeitung», Bd. 111, No. 24, pp. 299-303; No. 26, pp. 321-325.

*Haefeli, R.* (1944), Zur Erd- und Kriechdruck-Theorie, «Schweizerische Bauzeitung», Bd. 124, No. 20, pp. 256-260; No. 21, pp. 267-271.

*Haefeli, R.* (1951), Investigation and Measurements of the Shear Strengths of Saturated Cohesive Soils, «Géotechnique», Vol. 2, No. 3, pp. 186-208.

*Haefeli, R., Schaerer, Ch., and Amberg, G.* (1953), The Behaviour Under the Influence of Soil Creep Pressure of the Concrete Bridge Built at Klosters by the Rhaetian Railways Company, Switzerland, Proceedings, International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 3, Zürich, 1953, Vol. 2, pp. 175-179.

*Jäckli, H.* (1948), Die Bodenbewegungen im Hinterrhein-Tal und ihre bautechnischen Auswirkungen, «Schweizerische Bauzeitung», 66. Jg., No. 37, pp. 503-507.

*Jäckli, H.* (1957), Gegenwartsgeologie des bündnerischen Rheingebietes, Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Lieferung 36, Bern, 136 pp.

*Ladd, G. E.* (1927-1928), Landslides and Their Relation to Highways; a Report of Observations. . . Part I-II, «Public Roads», Vol. 8, No. 2, 1927, pp. 21-32; Vol. 9, 1928, pp. 153-163.

*Moos, A. von* (1953), The Subsoil of Switzerland, Proceedings, International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 3, Zürich, 1953, Vol. 3, pp. 252-264.

*Peterson, R.* (1954), Studies of Bearpaw shale at a damsite in Saskatchewan, Proc. Sep. No. 476, ASCE, Vol. 80, 28 pp.

*Sharpe, C. F. S., and Dosch, E. F.* (1942), Relation of Soil-Creep to Earthflow in the Appalachian Plateaus, «Journal of Geomorphology», Vol. 5, pp. 312-324.

*Skempton, A. W.* (1964), Long-term stability of clay slopes. 4. Rankine lecture. «Géotechnique», Vol. 14, No. 2, pp. 77-102.

*Terzaghi, K.* (1950), Mechanism of Landslides, Application of Geology to Engineering Practice, The Geological Society of America, (Berkey Volume), pp. 83-123.

Adresse des Verfassers: *L. Bjerrum*, Dr. sc. techn., Direktor des Norwegischen Geotechnischen Institutes, Blindern, Oslo, Norwegen.

## Gletscherbeobachtungen in der Schweiz

DK 551.311.125

Von **P. Kasser**, Abteilung für Hydrologie und Glaziologie der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH, Zürich

Die von *Plinius* im ersten Jahrhundert geäußerte Auffassung, dass Bergkristall nichts anderes sei als Eis, das durch die starke Kälte des Hochgebirges eine hohe Härte und Widerstandsfähigkeit erlangt habe, mag *Gessner* noch beeinflusst haben, als er im Jahre 1541 schrieb: «Ist doch das Hochgebirge anscheinend über die Geschiebe des Tieflandes erhaben und nicht mehr unseren Witterungsgesetzen unterworfen, gleich als läge es in einer anderen Welt. Anders wirken dort die so machtvolle Sonne, die Luft und die Winde. Ewig dauert der Schnee; ein Ding, das unter der zartesten Berührung selbst der Fingerspitzen zergeht, kehrt sich an keine Anfeindung durch Hitze und Sonnenbrand und weicht auch der Zeit nicht, sondern erstarrt vielmehr zu allerhärtestem Eis und ständigem Kristall».

In der Chronik von *Johann Stumpf* finden sich 1548 bereits Hinweise auf die Schnee- und Firnschmelze. Die Bewegung der Gletscher war damals in der wissenschaftlichen Welt noch nicht bekannt. Nachdem im 16. Jahrhundert bei *Gessner* der Schrecken vor dem Hochgebirge durch Bewunderung und erste naturwissenschaftliche Erklärungsversuche abgelöst wird, erfolgt im 18. Jahrhundert eine entscheidende Umstellung im Verhältnis der gebildeten Welt zur Natur. *Scheuchzer* versucht, die Welt der Bibel mit den Naturwissenschaften in Einklang zu bringen, *Rousseau* weckt die Liebe zur Natur, *Saussure* untersucht die Gebirgswelt nach wissenschaftlichen Methoden. Den grössten Auf-

schwung erlebte die Gletscherkunde im vergangenen Jahrhundert. Wissenschaftliche Neugier und die Notwendigkeit, technische Probleme zu lösen, waren die Triebfedern. Im Jahre 1818 kämpfte der Wasserbauingenieur *Venez* darum, dem durch Eislawinen des Giétro-Gletschers gestauten See von Mauvoisin einen ungefährlichen Abfluss zu verschaffen. Durch seine Tätigkeit als Ingenieur angeregt, sucht er in der Natur die Geschichte der Gletscher zu lesen. 1829 erklärt er die Herkunft der erraticen Blöcke im Mittelland und im Jura. Es gelingt ihm, den Salinendirektor *Charpentier* von Bex zu überzeugen, der gemeinsam mit ihm vor der Versammlung der Naturforschenden Gesellschaft in Luzern im Jahre 1834 den Blocktransport durch Gletscher verteidigt und 1841 sein Buch über Gletscher schreibt. *Agassiz* verhilft dann der Idee endgültig zum Durchbruch. In den vierziger Jahren des neunzehnten Jahrhunderts messen *Agassiz* und *Desor* am Unteraargletscher, um den Mechanismus des Gletschers zu untersuchen. Genaue Ablationsmessresultate und die Karte von *Wild* sind einige der überlieferten wichtigen Ergebnisse. Unabhängig von dieser Arbeitsgruppe finden wir auch *Hugi* am Unteraar.

Mit der Motion von *Eugen Rambert* vom Jahre 1868, der Schweizerische Alpenclub (SAC) möge zur systematischen wissenschaftlichen Erforschung der Gletscher mit-helfen und sich zu diesem Zwecke mit der Schweizerischen Naturforschenden Gesell-

schaft (SNG) in Verbindung setzen, beginnt das Zeitalter der durch Organisationen getragenen systematischen Beobachtungen an Schweizer Gletschern. Das im Jahre 1869 gegründete, aus je drei Vertretern des SAC und der SNG bestehende «Gletscherkollegium» begann seine Arbeiten mit der «Instruktion für die Gletscherreisenden des SAC», die im Jahrbuch des SAC 1871 erschien, und den Vorstudien für ein «Gletscherbuch», als Manuskript im Jahre 1874 gedruckt, einem ersten Versuch für den bis heute nicht ausgeführten Kataster der Schweizer Gletscher. Die dritte und grösste Unternehmung war die im Jahre 1874 begonnene Vermessung des Rhonegletschers, die dank einem Vertrage mit dem Schweizerischen Militärdepartement (für das damalige topographische Bureau) sich zu der grundlegenden Arbeit entwickelte, deren Resultate *P. L. Mercanton* im Jahre 1916 als Band LII der «Neuen Denkschriften der SNG» unter dem Titel «Vermessungen am Rhonegletscher 1874-1915» publiziert hat. Im Jahre 1880 begann *Forel* die jährlichen Beobachtungen an den Gletscherenden im Wallis im Zusammenhang mit einem Gutachten zu den Überschwemmungen des Genfersees. Mit der Publikation der Resultate in den ersten beiden Jahren im «Echo des Alpes» und anschliessend in der Zeitschrift des SAC begründete er die bis heute ununterbrochene Reihe der «Variations-Berichte». Als im Jahre 1893 das Gletscherkollegium durch die «Gletscherkommission der SNG» abgelöst wurde, ge-