

# Über einen durch Gefügestörung verursachten Seeufereinbruch (Gerzensee, Kt. Bern)

Autor(en): **Moos, Armin von / Rutsch, Rolf F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **37 (1944)**

Heft 2

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-160506>

## **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.

# Über einen durch Gefügestörung verursachten Seeufereinbruch (Gerzensee, Kt. Bern).

Von **Armin von Moos**, Zürich und **Rolf F. Rutsch**, Bern.

Mit 8 Textfiguren.

## I. Einleitung.

Rutschungen und Seeufereinbrüche in Lockergesteinen gehören neben den Bergstürzen zu den eindrucklichsten geologischen Vorgängen unseres Landes. Ihr Studium besitzt nicht nur theoretische, sondern auch grosse wirtschaftliche Bedeutung, belasten doch die durch diese Massenbewegungen entstehenden Schäden Private und Staat oft stark.<sup>1)</sup> Da Erkennung und Verhütung von Rutschungen und Seeufereinbrüchen zu den häufigsten praktischen Aufgaben der Geologen und Ingenieure gehören, ist die schweizerische Literatur, die sich mit diesen Gleichgewichtsstörungen beschäftigt, denn auch umfangreich [ARBENZ (1), BALTZER (2), BECK (3), BENDEL (4, 5), BLATTER (6), GOGARTEN (9), HAEFELI (12, 13), HARTMANN (14), ALB. HEIM (15), HOOL (18), LEHMANN (19), LUGEON (20), MONTANDON (21), SCHARDT (28), WEHRLI (29)].

Wenn wir dieser Fülle von Untersuchungen erneut die Beschreibung und Deutung eines Ufereinbruches am Gerzensee (Kt. Bern) hinzufügen, so geschieht dies deshalb, weil hier Disposition, Ursache und auslösendes Moment sehr klar zu erkennen waren, und sich ausserdem auch einleuchtende Erklärungen der Vorgänge ergaben.

Die Zusammenarbeit der beiden Verfasser gestaltete sich derart, dass der eine (R. R.) die Expertise unmittelbar nach dem Ufereinbruch durchführte, während der andere (v. M.) als Mitarbeiter der Erdbauabteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E.T.H. die Bohrungen, die weiteren Untersuchungen, das Gutachten (zusammen mit Dr. Haefeli, Chef dieser Abteilung) wie auch die vergleichende Zusammenstellung vornahm. Dem Auftraggeber, Herrn Ing. E. Losinger (Bern) sind wir für die Erlaubnis, die Resultate unserer Untersuchungen sowie Fig. 2, 3, 4, 5 zu veröffentlichen, zu grossem Dank verpflichtet.

## II. Äussere Umstände des Ufereinbruches.

Am 17. Januar 1944 ereignete sich am Westufer des Gerzensees (Kt. Bern, Siegfriedblatt 338 Gerzensee, Koord. 608.130/186.750) ein bogenförmiger, scharf begrenzter Ufereinbruch. Das Terrain wurde bei diesem, leider von niemandem

---

<sup>1)</sup> So wird der Schaden der Katastrophe von Zug (1887) auf ca. 690000 Fr., derjenige des Ufereinbruches von Morcote (1862) auf 110000 Fr. beziffert. Vgl. H. LANZ & C. ROMMEL, Elementarschäden und Versicherung, II. Band, Bern, 1936.

beobachteten Vorgang durch eine grössere Zahl von teilweise weit klaffenden Spalten zerrissen und in Schollen aufgelöst. Diese Schollen, die zum Teil schwach gegen die Landseite neigten, hatten sich bis 2 m gegenüber ihrer ursprünglichen Lage gesenkt und bis 3 m seewärts verschoben (Fig. 1 bis 5). Der Schilfsaum unmittelbar am Ufer des damals gefrorenen Sees war nach dem Einbruch noch vorhanden, jedoch in seinem äussersten Teil seewärts umgelegt. An einer Stelle beobachtete man Eisplatten, die hinter dem umgelegten Schilfsaum an die Oberfläche aufgepresst waren. Die Einbruchsstelle, wie auch deren Umgebung waren und sind teilweise heute noch von mächtigen Bäumen (Silberpappeln usw.) bestanden. Während ungefähr eines Monats vor und auch unmittelbar nach dem Uferseinbruch wurde eine Anzahl dieser Bäume gefällt und deren Wurzelstöcke gesprengt. Ihre Stämme lagen alle innerhalb des Einbruchgebietes. Von den verbleibenden Bäumen standen diejenigen im Zentrum des Einbruches, trotz der Verlagerung, noch senkrecht, in den Randgebieten dagegen stellten sich einige schief. — Zur Zeit des Uferseinbruches war der Boden nach den Aussagen Ortsansässiger in einer Mächtigkeit von etwa 0,25 m gefroren, dabei aber schneefrei. Der Wasserspiegel hatte sich im Laufe des Winters um 0,92 m gesenkt. Die Länge des Einbruches, gemessen am Ufer, beträgt ca. 270 m, die max. Breite bis 50 m. Das bei Niederwasser neu vom See eingenommene Gebiet misst etwa 4400 m<sup>2</sup>.

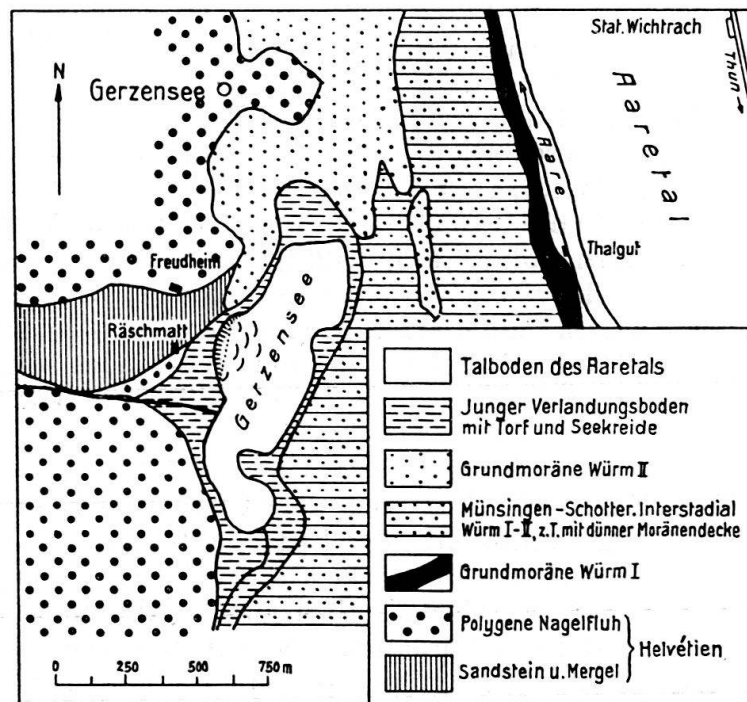


Fig. 1. Geologische Kartenskizze der Umgebung des Gerzensees. Uferseinbruchsstelle östlich Räschmatt.

### III. Geologische Verhältnisse.

Über die geologische Situation des Gerzensees, dessen geographisch-hydrologische Verhältnisse in der Monographie von G. VON BÜREN (7) eingehend beschrieben sind, orientiert Fig. 1.

Es handelt sich um einen der kleinen Mittellandseen, die ihre Entstehung dem würmeiszeitlichen Aaregletscher verdanken. Die Hänge westlich des Sees

bestehen aus miocäner Meeressmolasse (Helvétien), die Ostseite aus Schottern der Spiezerschwankung („Münsingen-Schotter“) der letzten Eiszeit. Molasse und Schotter sind z. T. von einer mehr oder weniger mächtigen Grundmoränendecke überlagert. Die Entstehung des Sees ist wahrscheinlich auf die Tätigkeit des Würm II-Gletschers zurückzuführen, der beim Vorstoss eine flache Wanne zwischen Molasse und Münsingen-Schotter auskolkte, die dann mit Grundmoräne abgedichtet wurde. Nach dem Rückzug des Eises bildete sich durch Zusammenschwemmung von den kahlen Uferhängen in der Wanne zunächst eine lehmig-sandige Grundschicht, über der sich später Seekreide abgelagerte. An den Ufern entstand bei der fortschreitenden Verlandung über der Seekreide eine Torfschicht von wechselnder Dicke (26).

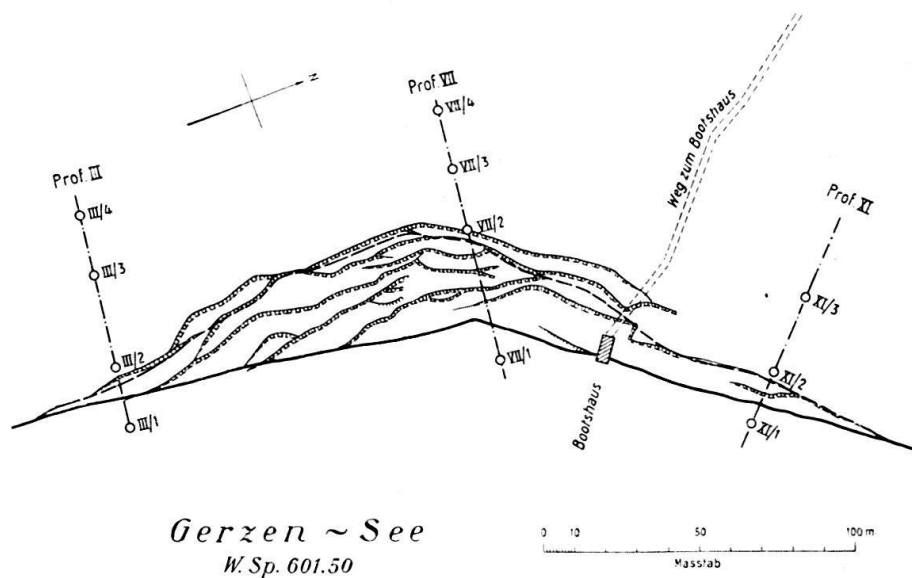


Fig. 2. Situation der Einbruchsstelle mit altem und neuem Seeufer, Verlauf der Spalten und Entnahmestellen der Bohrproben.

Der Uferereinbruch erfolgte am Westufer, wo die Verlandungszone besonders breit ist. Diese grenzt nach Westen, gegen Räschmatt und unterhalb Freudheim, an den hauptsächlich aus polygener Nagelfluh bestehenden ursprünglichen Uferhang (Fig. 4).

Die Sondierbohrungen haben gezeigt, dass der Uferereinbruch vollständig in der flachen, verlandeten Seeuferterrasse liegt, die hier eine ursprüngliche Breite von bis 90 m aufweist. Dieses Seeufer besteht vom Hangenden zum Liegenden aus folgenden Lockergesteinen:

1. Humus, 0,05—0,70 m, im Mittel 0,30 m mächtig, teilweise mit künstlich zugeführtem Moränenmaterial vermischt;
2. Torf, 0,45—1,70 m, im Mittel 0,60 m mächtig, meist braunschwarz, von Schilfwurzeln durchsetzt;
3. Seekreide, 0,20—5,60 m, im Mittel 3,15 m mächtig, meist weisslich bis gelblich, seltener grünlich-rötlich, oft mit Muscheln (z. B. *Pisidium milium* H.). In ungestörtem Zustand fest, wird aber schon durch leichtes Kneten weich-plastisch.
4. Seebodenlehm, 0,20—2,20 m, im Mittel 1,50 m mächtig, blaugrau, oben meist ziemlich fett und sandarm, Sandgehalt nimmt nach unten zu; er geht über in
5. Lehm mit eckigen Steinchen und eingeschlossenen Sandlagen von unbekannter Mächtigkeit.



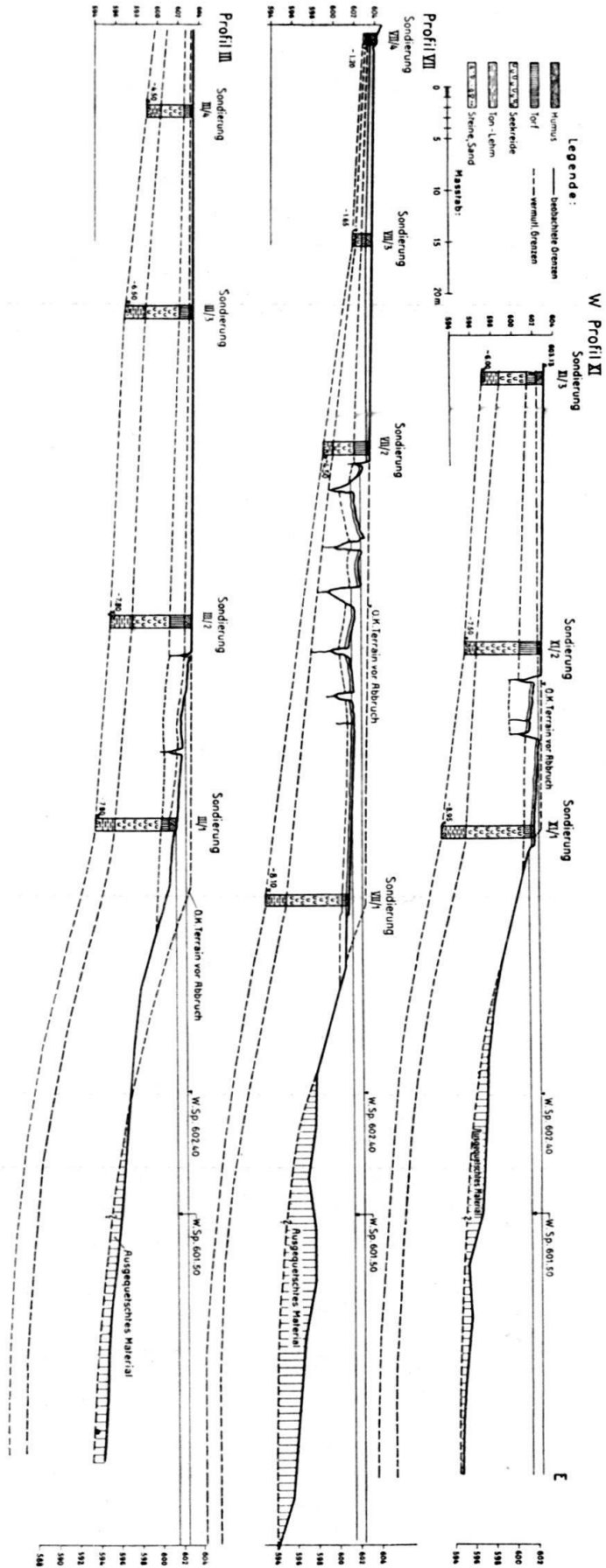


Fig. 3. Stratigraphische Profile durch die Einbruchstelle.

Über den Verlauf der einzelnen Schichten orientiert Fig. 3, aus der die nachfolgenden Angaben ersichtlich sind: Die Mächtigkeit des Torfes nimmt innerhalb der Terrasse seewärts allmählich zu und erreicht 25—50 m vom ehemaligen Ufer entfernt sein Maximum, um dann seewärts wieder abzunehmen. — Die Seekreide dagegen gewinnt innerhalb der durch Bohrungen erschlossenen Profile vom Land zum See an Mächtigkeit, wobei sich die Grenzfläche zum Liegenden innerhalb der Profile mit 4—6° seewärts senkt. — Der Seebodenlehm weist bei den randlichen Profilen III und XI eine ziemlich gleichbleibende Mächtigkeit auf, während im mittleren Profil VII die Mächtigkeit geringer ist, seewärts aber ebenfalls zunimmt. Auch hier senkt sich die Grenzfläche zum unterliegenden grobkörnigen Material mit 3—8° gegen den See.

Über die Zusammensetzung des Seegrundes ausserhalb der Sondierungen besitzen wir keine Anhaltspunkte. Aus Analogie zu andern untersuchten Seen ähnlicher Entstehung ist aber anzunehmen, dass der Seeboden ebenfalls aus Seekreide — vermutlich in geringerer Mächtigkeit als am Ufer — mit unterlagerndem Seebodenlehm besteht.

Lotungen in drei Seeprofilen im Bereich des Uferleinbruches hatten folgende Resultate ergeben (siehe Fig. 3): Am regelmässigsten ausgebildet ist Profil III, wo sich der Seeboden erst rascher mit 14°, dann flacher mit 3—4° gegen die See mitte senkt und 54 m vom ehemaligen Ufer eine Tiefe von 8 m unter Normalwasserspiegel erreicht. — Das Profil XI zeigt einen ähnlichen Verlauf, indem der Seegrund dort mit 13° erst rascher, dann mit 2—5° flacher abfällt, wobei sich aber bei ca. 34 m vom ehemaligen Ufer eine Aufwölbung bemerkbar macht. 60 m vom ehemaligen Ufer entfernt beträgt die Wassertiefe 7,6 m unter Normalwasserspiegel. Am aufschlussreichsten ist das mittlere Profil VII, wo sich ebenfalls bei etwa 34 m vom ehemaligen Seeufer entfernt eine deutliche Aufwölbung feststellen lässt. Der Seegrund hebt sich dort um etwa 0,80 m gegenüber der uferseitigen Umgebung. In einer Entfernung von ca. 60 m vom ehemaligen Seeufer beträgt die Seetiefe 8,3 m.

#### IV. Untersuchung der Bodenproben.

Bei den vorgenommenen Bohrungen wurden eine Anzahl von gestörten und auch eine ungestörte Probe entnommen und anschliessend im Laboratorium untersucht (10, 11, 22).

Die Seekreide und der Lehm unterschieden sich vorerst gemäss ihrer verschiedenen Entstehung im Karbonatgehalt; er liegt bei der ersteren nach Bestimmung im Passonapparat mit 96% sehr hoch, beim letzteren mit 38% dagegen für einen mittelländischen moränennahen Lehm normal.

Bezüglich Raumgewicht und Wassergehalt im Anlieferungszustand bestehen zwischen den beiden Materialien ebenfalls grosse Unterschiede; der abnormal hohe Wassergehalt von 84% und das relativ niedere Raumgewicht von 1,4 t/m<sup>3</sup> der Seekreide haben ihre Ursache in der Beteiligung von wasserbindender organischer Substanz; der niedrige Wassergehalt von 30% und das höhere Raumgewicht von 1,9 t/m<sup>3</sup> des Lehms hängen mit den anorganischen Bestandteilen des letzteren zusammen.

Besonders aufschlussreich ist die Kegelprobe, wie sie an der Erdbauabteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau durchgeführt wird. Sie gibt ein Bild über die Konsistenz der Materialien im Entnahmezustand. Dabei wird ein Kegel mit der Spitzenöffnung 90° und dem Gewicht 1 kg vorerst auf der ungestörten und dann auf der durch Kneten gestörten Oberfläche der Probe abge-

stellt und die Einsenkung nach 2 Minuten, nachdem der Kegel praktisch zur Ruhe gelangt ist, gemessen. Daraus errechnet sich eine spezifische Grenzbelastung. Besonders charakteristische Werte ergab der Kegelversuch bei einer ungestört entnommenen Seekreideprobe. Während die spez. Grenzbelastung im ungestörten Zustand  $0,32 \text{ kg/cm}^2$  betrug, erreichte sie im gestörten Zustand nur  $0,033 \text{ kg/cm}^2$ . Darin kommt die ausgesprochene Neigung der Seekreide zur Gefügebildung und zur Bindung von Wasser zum Ausdruck. Beim Kneten geht das Gefüge verloren, das frei werdende Wasser macht das Material breiartig.

Die Konsistenzgrenzen nach ATTERBERG geben ein Bild über die plastischen Eigenschaften eines Lockergesteines. Man bestimmt dazu einerseits die Fliessgrenze, d. h. den Wassergehalt beim Übergang vom plastischen zum fliessbaren Zustand, ausgedrückt in % Wasser bezogen auf das Gewicht der Trockensubstanz. Die Ausrollgrenze kennzeichnet den Zustand zwischen dem festen und dem plastischen Zustand, ebenfalls ausgedrückt in % Wasser, bezogen auf das Gewicht der Trockensubstanz. Die Differenz beider Werte gibt den Plastizitätsbereich an.

Die Seekreide weist zufolge ihres organischen Gehaltes eine abnorm hohe Fliessgrenze (103%) und eine etwas tiefere Ausrollgrenze (82%) auf; der Plastizitätsbereich (21%) ist im Verhältnis zum hohen Ausrollwassergehalt somit relativ klein. Die Seekreide stellt deshalb ein nicht sehr bindiges Material dar. Bei wesentlich kleinerer Fliess- (42%) und Ausrollgrenze (24%) ist der Plastizitätsbereich (18%) beim anorganischen Lehm angenähert gleich gross, im Verhältnis zum Ausrollwassergehalt aber relativ gross, es handelt sich somit um einen fetten Lehm.

In der Kornverteilung ergeben sich zufolge der verschiedenen Bildung der beiden Materialien ebenfalls grosse Unterschiede. Die Seekreide enthält trotz des hohen Wassergehaltes gewichtsmässig praktisch keine Anteile unter  $0,002 \text{ mm}$ , dagegen eine Anhäufung in den Fraktionen  $0,002$ — $0,02 \text{ mm}$  (41,4%) und  $0,02$ — $2 \text{ mm}$  (51,3%); über  $0,2 \text{ mm}$  ist der Anteil wieder gering (7,3%). Demgegenüber enthält der Lehm trotz geringerer Wasserbindung nahezu ein Viertel Anteile unter  $0,002 \text{ mm}$  (22,6%), über die Hälfte in der Fraktion  $0,002$ — $0,02 \text{ mm}$  (56%), der Rest verteilt sich auf die Fraktionen  $0,02$ — $0,2 \text{ mm}$  (13,5%),  $0,2$ — $2,0 \text{ mm}$  (6,9%) und über  $2 \text{ mm}$ .

Die Seekreide weist in gestörtem Zustand eine relativ geringe Durchlässigkeit  $k$  von  $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ cm/sec}$  auf, diejenige des Lehmes ist indessen als Folge der vermehrten Anteile von Teilchen unter  $0,002 \text{ mm}$  noch rund 10mal kleiner und beträgt ca.  $1,2 \cdot 10^{-7} \text{ cm/sec}$ .

Die Scherfestigkeit, die gleich der Tangente des scheinbaren Winkels der inneren Reibung ist, beträgt bei der gestörten Seekreide bei einer Vorbelastung von etwa  $1 \text{ kg/cm}^2$   $0,75 \text{ kg/cm}^2$  und ist damit etwa so hoch wie diejenige eines Sandes. Beim Lehm dagegen wird sie wohl als Folge der vermehrten Anteile unter  $0,002 \text{ mm}$  kleiner ( $0,57 \text{ kg/cm}^2$ ).

Die Zusammendrückungszahl  $\Delta e$  einer Probe wird im Zusammendrückungsapparat (Oedometer) durch Steigerung der Vertikalbelastung von  $1 \text{ kg/cm}^2$  auf  $2,72 \text{ kg/cm}^2$  ermittelt. Im gestörten Zustande ist sie bei der Seekreide, zufolge der grösseren Wasserbindung ihrer Bestandteile, grösser (10,3—8,9%) als beim Lehm (4,5—5,0%). Bei einer Seekreideprobe, die erst im ungestörten, dann im gestörten Zustande untersucht wurde, zeigen sich, zufolge der Zerstörung des Gefüges, bemerkenswerte Unterschiede in der Zusammendrückbarkeit (ungestört 14,9%, gestört 8,7%).

### V. Ursachen des Ufereinbruches.

Die allgemeine Disposition für einen Ufereinbruch war gegeben durch die Anwesenheit einer flachen Verlandungsterrasse am Seeufer, die vom Hangenden zum Liegenden aus Torf, Seekreide und Lehm bestand. Von diesen Materialien besitzt, wie namentlich der Kegelversuch gezeigt hat, die Seekreide bei hohem Wassergehalt ein sehr lockeres Gefüge.

Die Stabilitätsverhältnisse dieser Uferterrasse verschlechterten sich zunächst durch die Absenkung des Sees um 0,92 m, wodurch zufolge Wegfall des Auftriebes der Untergrund eine zusätzliche Belastung von rund  $1 \text{ t/m}^2$  erhielt. Indessen hatten die schon früher im Laufe der Jahre öfters vorgekommenen Seeabsenkungen nachweislich weder hier noch an andern Uferpartien von gleicher geologischer Beschaffenheit Ufereinbrüche ausgelöst. Es muss deshalb angenommen werden, dass die durch die Mehrbelastung bewirkte Setzung des Untergrundes von diesem früher ohne Gefügezusammenbrüche aufgenommen wurde und somit auch beim jetzt erfolgten Ufereinbruch keine auslösende Rolle gespielt haben konnte.



8011 BRB 3. 10. 39.

Fig. 4. Ansicht des nördl. Teils der Einbruchstelle mit gefällten Bäumen. Die Knickstelle zwischen junger Uferterrasse und Molassehang ist im Mittelgrund deutlich sichtbar. Im Hintergrund das Dorf Gerzensee.

Diese auslösende Wirkung hatten dagegen eindeutig die Baumfällungen und Wurzelsprengungen gezeitigt, was schon daraus hervorgeht, dass die Einbruchzone scharf auf dieses Gebiet beschränkt war. Die Auswirkung dieser Arbeiten auf den Ufereinbruch kann nun, wie nachfolgend gezeigt werden soll, verschieden gedeutet werden.

Kolloidchemische Betrachtungsweise: Die über einen Monat dauernden Baumfällungen, besonders aber die kurz vor dem Ufereinbruch erfolgten Wurzelsprengungen, hatten durch ihre dynamischen Kräfte das Gefüge der Seekreide mehr und mehr gelockert. Die Fortpflanzung der Erschütterungs-



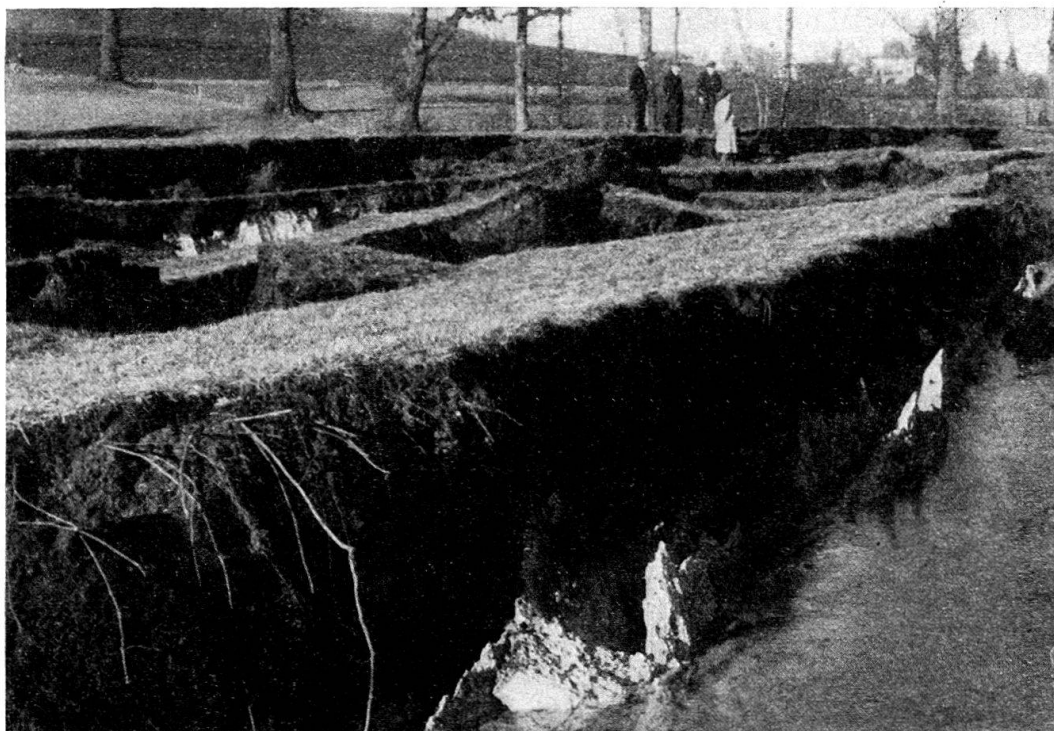
wellen wurde durch die steif gefrorene Deckschicht, aber auch durch den nahen Grundwasserspiegel begünstigt. Der Vorgang führte schliesslich zu einer Art Verflüssigung der Seekreide. Diese Verflüssigung durch dynamische Einwirkung erinnert an die aus der Kolloidchemie bekannte Erscheinung der Thixotropie. Diese wurde von PETERSI, SZEGVARI & SCHALECK, von H. FREUNDLICH und Wo. OSTWALD u. A. (22), in erweitertem Sinne sodann von WINKLER (30) von Solen und Suspensionen sowohl in starken wie auch in schwachen Konzentrationen beschrieben und gedeutet. Der letzte Autor definiert die Thixotropie als Erscheinung, „bei der in einem submikroskopischen oder mikroskopischen System fest-flüssig Änderung der physikalischen Eigenschaften lediglich durch mechanische Beanspruchung (und zwar dynamischer Art — v. M.) auftreten. Hört die mechanische Beanspruchung auf, so wird nach einer gewissen Ruhezeit (Erstarrungszeit) der Ausgangszustand wieder erreicht. Die Untersuchungen von WINKLER u. a. haben gezeigt, dass jede Substanz bei hinreichend kleiner Korngrösse und geeigneter Flüssigkeit Thixotropie zeigt, dass der Vorgang aber besonders ausgeprägt bei Mineralien mit Schichtgitterbau (z. B. Tonmineralien), und bei gewissen Gelen in Erscheinung tritt, bei welchen beiden viel Wasser adsorptiv gebunden wird.

Bei der Seekreide scheint die Thixotropie weniger an den kaum wesentlich Wasser bindenden feindispersen Kalkspat, der nach den Versuchen von WINKLER zu den Substanzen mit geringer Neigung zur Thixotropie gehört, als an die aus organischer Substanz bestehenden wasserreichen gelartigen Hüllen, welche die Mineralkörner umgeben, gebunden zu sein. Diese durch die Erschütterung herbeigeführte Gel-Sol-Umwandlung, die sich in dem Freiwerden vorher gebundenen Wassers, d. h. in einer Verflüssigung äusserte, liess die Reibungsverhältnisse der Seekreide sich denjenigen von Wasser nähern. Unter den vorliegenden geologischen Umständen wurde die verflüssigte Seekreide deshalb unter der Wirkung der Überlagerung, die sie dank dem adsorptiv gebundenen Wasser im ungestörten Gefüge vorher getragen hatte, im Hauptbereich der Erschütterung zwischen der hangenden, nicht verflüssigten, zugfesteren Torflage und dem liegenden, weniger empfindlichen, plastischen Lehm, bei dem die Wasserhüllen wesentlich fester gebunden waren, wie aus einer Tube ausgepresst. Die vorliegenden Oberflächen- und Belastungsverhältnisse bedingten ein seewärts gerichtetes Ausweichen der Seekreide und führten dort zu den festgestellten Aufwölbungen des Seegrundes. Bei dieser Ausquetschung zerfiel die Deckschicht in eine Anzahl von Schollen, die sich senkten, verstellten und, wenn auch unbedeutend, seewärts verlagerten. Nach dem Ufereinbruch verfestigte sich die Seekreide wieder etwas (Sol-Gel-Umwandlung), was durch den festgestellten, wenn auch geringen Bohrwiderstand manifestiert wurde.

Diese Deutungsweise, die den beiden Verfassern als die gegebene erscheint, hatte der geologische Experte (R. R.) von Anfang an als die wahrscheinlichste angenommen. Zu ihrer Überprüfung wurden deshalb die Bohrungen und Laboratoriumsversuche durch die Erdbauabteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau der E.T.H. ausgeführt. Im Gutachten dieses Instituts hat dann Herr Dr. R. Haefeli, Chef der Erdbauabteilung, eine die mechanischen Zusammenhänge betonende Betrachtungsweise zum Ausdruck gebracht, die wir im folgenden wörtlich wiedergeben:

Erdbaumechanische Betrachtungsweise: „Als primäre Ursache, welche die Herbeiführung eines kritischen Spannungszustandes zur Folge hatte, ist die Absenkung des Seespiegels bei gleichzeitigem Gefrieren der obersten

Bodenschicht zu betrachten. Die Absenkung des Sees um 0,92 m hatte eine Mehrbelastung des ganzen Gebietes um nahezu  $1 \text{ t/m}^2$  und damit entsprechende Setzungen zur Folge. Da aber die oberste Bodenkruste gleichzeitig gefror und zahlreiche tiefgründige Baumwurzeln vorhanden waren, so konnten sich diese Setzungen nicht gleichmässig vollziehen. Es musste ein kompliziertes Gleichgewichtssystem mit ausgesprochenen Gewölbbildungen entstehen, wobei die Wurzeln zum Teil als Armierungen, zum Teil als abstützende Pfeiler wirksam waren. Damit war eine momentane Entlastung der Seekreideschichten verbunden. Indessen hatten Absenkungen in früheren Wintern keine Einbrüche hervorgerufen. Um die Einbrüche herbeizuführen, bedurfte es noch eines weiteren Anstosses.



8011 BRB 3. 10. 39.

Fig. 5. Spaltenbildung in der Einbruchszone. Einzelne Schollen sind schwach gegen die Landseite geneigt. Unter Humus und Torf ist die weisse Seekreide deutlich sichtbar. Sie ist von senkrechten Scherflächen durchsetzt.

Als auslösendes Moment, welches zu plötzlichem Uferseinbruch führte, ist das Fällen der Bäume und Sprengen der Wurzelstöcke zu betrachten. Durch das Sprengen wurden die Stütz- und Tragkraft der Wurzeln geschwächt, die gefrorene, als biegeunfähige Platte wirksame, oberste Bodenschicht, welche im erstarrten Zustand die Fortpflanzung der Erschütterungswellen begünstigte, zerrissen, und bedeutende Erschütterungen hervorgerufen, die sich in einer teilweisen Zerstörung des Gefüges der Seekreide auswirken mussten. Gleichzeitig erfolgte eine plötzliche Belastung der Seekreideschichten durch die in einzelne Schollen aufgelöste und von gefälltten Bäumen belastete oberste Bodendecke. Sowohl die Gefügestörung, wie die plötzliche Mehrbelastung der Seekreide, führte einzeln zur Entstehung gespannten Porenwassers, bzw. zu einer sehr empfindlichen Herabsetzung des Winkels der inneren Reibung und damit einer sogenannten, Verflüssigung der Seekreide.“

„Besonders aufschlussreich für diesen Vorgang ist der Vergleich der Zusammendrückungs- und Wassergehaltskurven in Funktion des Druckes für die gestörte und ungestörte Seekreideprobe, wie er in Fig. 6 dargestellt ist. Zunächst lässt die Zusammendrückungskurve für das ungestörte Material deutlich erkennen, dass bei einer Belastung  $\sigma = 0,30 \text{ kg/cm}^2$  (Knickpunkt) die ursprünglich in der Natur infolge des Gewichtes der natürlichen Überlagerung vorhandene Belastung überschritten wurde. Sodann liegen die Wassergehalte der ungestörten Probe im untersuchten Bereich bedeutend höher als diejenigen der gestörten. An Hand der beiden Wassergehaltskurven lässt sich ein für das Verständnis des vorliegenden Ufereinbruches wesentlicher Vorgang erklären. Würde man z. B. ein mit  $0,5 \text{ kg/cm}^2$  belastetes ungestörtes Material plötzlich, ohne Veränderung des Wassergehaltes, stören, so zeigt der entsprechende auf einer Horizontale durch A gelegene Punkt B, dass das gestörte Material nur einen äquivalenten Verdichtungsdruck von  $0,04 \text{ kg/cm}^2$  aufweist, d. h. mit andern Worten, dass mehr als 90% der Vertikalbelastung von  $0,5 \text{ kg/cm}^2$  unmittelbar nach der Störung durch das Wasser aufgenommen werden müsste (gespanntes Porenwasser). Dementsprechend würde in diesem Momente der Winkel der innern Reibung der Seekreide auf etwa den zehnten Teil des Normalwertes heruntersinken.“

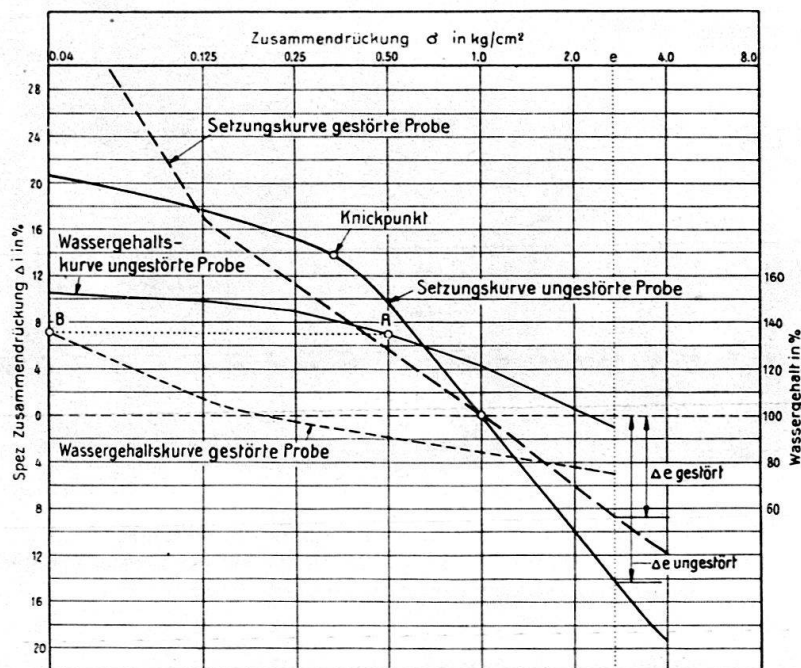


Fig. 6. Zusammendrückungsdiagramm einer ungestörten und einer gestörten Seekreideprobe.

Nach den vorliegenden Überlegungen scheint es sehr wahrscheinlich zu sein, dass die Fällungen und Sprengungen sowohl durch dynamische Beanspruchungen die zu thixotropischen Erscheinungen führten, wie auch durch statische Einwirkungen Gefügestörungen und damit Verflüssigungen in der Seekreide herbeiführten. Diese Gefügestörungen verminderten durch das Freiwerden vorher gebundenen Wassers die Reibungsverhältnisse der Seekreide vermutlich auch unter Entstehung gespannten Porenwassers und führten damit den Seeufereinbruch herbei.



## VI. Weitere Beispiele von Gefügezusammenbrüchen.

Beim Studium des vorliegenden Uferleinbruches stellt sich die Frage, ob ähnliche Erscheinungen bereits bekannt sind, und ob Beziehungen zu anders gearteten Vorgängen bei solchen Bewegungen von Lockergesteinen bestehen. Überblickt man eine grosse Zahl von Rutschungen und Uferleinbrüchen in Lockergesteinen, so kann man je nach Material verschiedene Typen mit Gefügezusammenbrüchen feststellen, wofür nachstehend einige Beispiele genannt werden sollen.

### A. In stark bindigen, dicht gelagerten Materialien.

Bei Lehmen und Tonen ist allgemein das Verhältnis von adsorptiv gebundenem zu freiem Porenwasser sehr zugunsten des ersteren verschoben. Der Schervorgang hat hauptsächlich diese Adsorptionskräfte zu überwinden.

Die Gefügezusammenbrüche treten hier meist nur zonenweise, besonders längs Gleitflächen auf, wo eine gewisse Verflüssigung stattfindet.

Die Verlagerungen können erdbaumechanisch vereinfacht als Bewegungen längs zylindrischen Kreisflächen betrachtet und angenähert auch berechnet werden. Man untersucht dabei den Vorgang in einem Kreisschnitt, der senkrecht und in der Fallinie der Gleitung verläuft. Erreichen längs der Gleitfläche die aktiven Scherkräfte die Reibungskräfte des Materials, so entsteht ein labiles Gleichgewicht, das durch geringe zusätzliche statische oder dynamische Kräfte gestört wird und zu Gefügestörungen, Freiwerden von vorher gebundenem Wasser, Verflüssigungen längs der Gleitflächen und zur Auslösung der Bewegung führt. Als

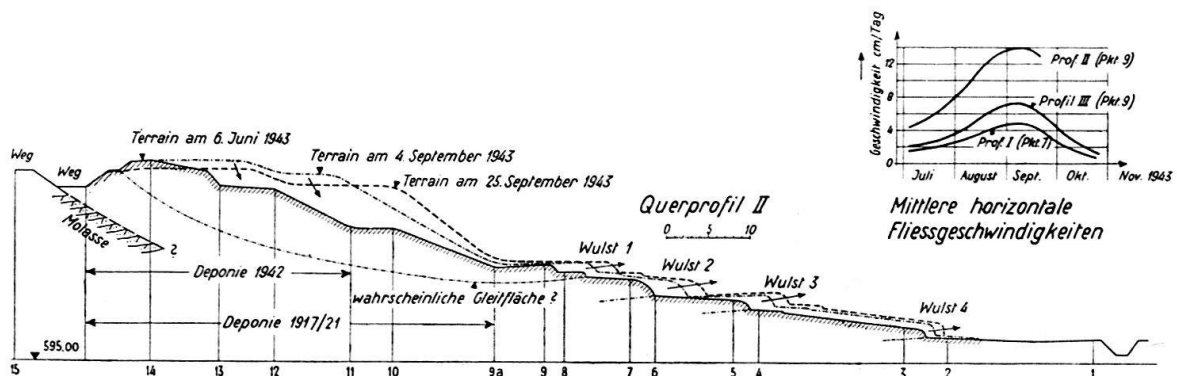
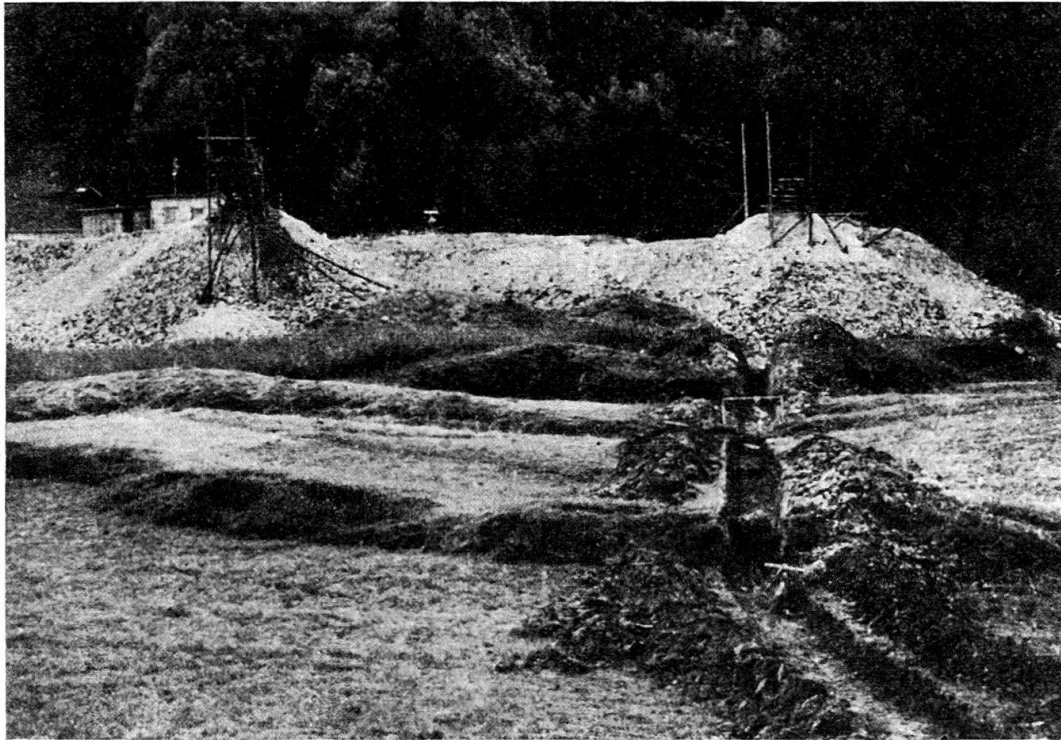


Fig. 7. Profil durch die Deponierutschung.

Beispiel einer solchen Bewegung sei eine Deponierutschung angeführt, die auf einem aus Gehängelehm bestehenden Hang in der Nähe einer Molassekohlengrube erfolgte. Nachdem dort 1917—1921 eine erste Deponie (Berge aus dem Kohleabbau) abgelagert worden war, erfolgte im Verlaufe der neuen Kohleförderung von September 1942 bis Oktober 1943 die Schüttung wieder in demselben Gebiet. Anfangs Mai traten aber in der Deponie starke Senkungen und Verschiebungen auf, die sich ständig vergrösserten und in der regnerischen Zeit zwischen 4. und 25. September 1943 zu horizontalen Verschiebungen von bis 13,6 cm pro Tag anwuchsen. Nachdem die Schüttungen im Oktober 1943 sistiert und ausserdem schon im Juni 1943 durch Fassung einer Quelle und durch tiefe Entwässerungsgräben das Gebiet nach Möglichkeit ausgetrocknet worden war, klangen die Bewegungen bis zum Sommer 1944 allmählich aus. Wie Fig. 7, 8 zeigen, machten

sich die Bewegungen in den oberen Partien durch starke Absenkungen, im unteren Teil durch herausgepresste, z. T. überkippte Wülste, seitwärts durch Scherrisse bemerkbar.



8011 BRB 3. 10. 39.

Fig. 8. Ansicht der Deponierutschung am 8. Juni 1943 (vgl. Fig. 7).  
Die im Text erwähnten Wülste sind deutlich sichtbar.

Der Mechanismus und die Entstehung dieser Rutschung sind nach den erdbaumechanischen Ansichten von Dr. Haefeli, dem wir hier folgen und ihm für die Bewilligung zur Publikation bestens danken, insofern nicht ganz selbstverständlich, als die durchschnittliche Neigung des Untergrundes nur etwa  $9^{\circ}$  beträgt (Fig. 7), während der scheinbare Winkel der inneren Reibung einer gestörten Einzelprobe aus dem Untergrund zu  $20^{\circ}$  ermittelt wurde. Der Vorgang lässt sich dagegen erklären, wenn man die Wirkung des gespannten Porenwassers auf die innere Reibung berücksichtigt (4, 12, 24). Durch das Aufbringen der Deponielast, die als auslösendes Moment der Bewegung zu betrachten ist, entstand eine erste Zone mit gespanntem Porenwasser und gleichzeitig eine erste gekrümmte Gleitfläche. Indem die abgescherte Masse oben absackte und sich unten wulstförmig vorschob (Fig. 7, Wulst 1), geriet sie längs dieser Fläche in Bewegung. Während der Wulstbildung wurde die darunterliegende Zone vertikal belastet und erfuhr, infolge der Überschiebung durch den ersten Wulst, gleichzeitig einen bedeutenden zusätzlichen Horizontalschub nach aussen. Diese Zusatzkräfte führten wiederum zur Bildung gespannten Porenwassers (resp. zum Freiwerden vorher adsorptiv gebundenen Wassers, v. M.) unter Wulst 1 und damit zur Entstehung einer neuen Gleitfläche und eines neuen Wulstes (Fig. 7, Wulst 2). Auf diese Weise pflanzte sich die Bewegung mehr oder weniger rasch hangabwärts fort, wobei eine Reihe von Gleitflächen und Wülsten entstanden, die nicht nur eine horizontale Verschiebung, sondern gleichzeitig eine gewisse Hebung des unteren Rutschgeländes

zur Folge hatten. Durch die Unterbindung neuer Schüttungen und durch die Entwässerungen kamen mehr und mehr die normalen Reibungsverhältnisse zur Auswirkung, und die Rutschung kam zum Stillstand.

### B. In wenig bis nichtbindigen Materialien.

#### a) Ohne innere Erosion.

Bei den Rutschungen und Uferleinbrüchen, die man in jüngerer Zeit eingehend untersucht hat, gehen den Verlagerungen ohne Zweifel auffällige Gefüge-Umwandlungen voraus, die oft ganze Schichten ergreifen. Bei der Ablagerung gewisser feinkörniger Lockergesteine bilden sich lockere, aber geordnete Gefüge, z. T. mit hohem Gehalt an Adsorptionswasser, zwischen dem auch freies Wasser eingeschlossen ist. Diese entstehen dadurch, dass Einzelkörner in lockerer Lagerung vorliegen, dass als Folge einer Koagulation bei der Sedimentation Flocken entstehen oder endlich, dass durch gelartige organische Massen die anorganischen fein bis grobdispersen Körner voneinander getrennt sind. Werden diese Gefüge durch natürliche Sedimentation oder durch künstliche Ablagerung allmählich belastet, so erfolgt die Gefügeverdichtung, d. h. die Neuordnung der Teilchen und Bindungen und auch das Abströmen des nicht gebundenen Porenwassers allmählich, und die Setzungen wirken sich gleichmässig aus. Brechen diese Gefüge aber durch rasche Beanspruchung statischer oder dynamischer Art zusammen, so entsteht zunächst, z. B. durch thixotrope Erscheinungen, ein sehr ungeordneter Zustand, wobei ein Teil des vorher gebundenen Wassers frei wird. Da dieses wie auch das primäre freie Wasser aber nicht wie bei langsamer Belastung allmählich entweichen kann, tritt darin wiederum gespanntes Porenwasser auf, das die inneren Reibungsverhältnisse verkleinert. Dadurch kann sich das vorher kompakte Lockergestein in einen mehr oder weniger zähen Gesteinsbrei umwandeln, der bei sehr geringer Neigung sich verlagert, seitlich ausgequetscht wird oder an die Oberfläche ausfliesst. Es ist bis heute nicht möglich, diese Verhältnisse rechnerisch zu erfassen.

Der in den ersten Kapiteln beschriebene Uferleinbruch am Gerzensee in einer Seekreide, d. h. einem Lockergestein mit organischen Gelhüllen, bildet ein Beispiel für diesen Vorgang.

Ähnliche Erscheinungen sind sodann von Schlammsanden und Feinsanden, d. h. anorganischen Lockergesteinen, die zufolge ihrer Sedimentation ein lockeres, hohlraumreiches Gefüge mit geringem Gehalt an adsorptiv gebundenem Wasser, aber grösserem an freiem Porenwasser aufweisen können, bekannt. BLATTER (6) beschreibt einen solchen Zusammenbruch in einer jungen Terrasse am Meeresufer. Unter einer 10–15 m mächtigen Sand- und Kiesschicht folgte eine ebenso mächtige Schlammsandlage. Proben davon wiesen eine Plastizitätszahl nach ATTERBERG (22) von 10 und einen relativ hohen natürlichen Wassergehalt von bis 37,5% auf, der zum Teil höher als die Fliessgrenze lag. Durch eine künstliche Aufschüttung, die etwa ein Drittel der natürlichen geologischen Auflast betrug, erfolgten sehr grosse, bis 40 cm betragende Setzungen. Auf Grund von experimentellen Untersuchungen wurden dieselben auf Gefügezusammenbrüche und damit in Zusammenhang stehende Verdichtungen in der Schlammsandlage zurückgeführt.

Eine auf Grund solcher Überlegungen vorgenommene Überprüfung des Uferleinbruches von Zug 1887 lässt es heute als wahrscheinlich erscheinen, dass auch jene Katastrophe auf solche Erscheinungen im Schlammsand zurückzuführen sind. Die Spannung auf den durch Auflasten (Quaierstellung) und Erschütterungen (Pfählungen) gestörten Untergrund führte zu einem Gefügezusammenbruch, zu



Verdichtungen, zum Freiwerden von Wasser und zu einem Ausquetschen des Schlamm-sand-Wassergemisches in den See, wo es sich in Form eines Schlammstromes, der sich auf dem Seeboden ausbreitete und mit einem Gefälle von nur 4,4% ablagerte.

Endlich sei noch ein von EHRENBERG (8) beschriebenes Beispiel eines typischen Gefügezusammenbruches in anorganischen, nichtbindigen Lockergesteinen angeführt: In einer Braunkohlengrube floss ein etwa 1 Million Kubikmeter umfassender Teil einer Sandkippe, die aus Sand verschiedener Korngrösse bestand, im Umfang von 600 m Länge und 650 m Breite durch eine 100 m breite Öffnung in die Kohlengrube aus und erfüllte diese in wenigen Minuten auf eine Länge von 700 m. Das Sand-Wassergemenge war leicht fließbar und zeigte nach Ablagerung ein Oberflächengefälle von nur 1,3%. Der Sandstrom war von Schollen bedeckt, die aus der obersten, nicht mit Wasser durchtränkten, aber kapillar zusammengehaltenen Sanddecke stammten, welche letztere teils zusammengebrochen war, teils mitgerissen wurde. — Bei der Untersuchung über die Entstehung des Vorganges wurde festgestellt, dass der Grundwasserspiegel, der durch Niederschläge bis zum Ausbruchstage stark angestiegen war, im Gebiet der ersten Bewegung, d. h. am Kippenrand, ein starkes Gefälle in Oberflächennähe aufwies und dank der Sickerströmung einen Schub auf den lose geschütteten Sand ausübte. „Das plötzliche Nachgeben des Kippenrandes rief eine Erschütterung im Boden und im Grundwasser hervor, die sich in Form einer Welle bei der sehr geringen Dämpfung im nassen Boden bis tief in die Kippe erstreckte und bei dem verhältnismässig lose gelagerten Sande zu einer geringen Verlagerung der Sandteilchen führen musste, die infolgedessen eine dichtere Lagerung und damit eine Verengerung der Poren anstrebten. Eine Verringerung des Porenvolumens der Bodenmasse war aber nur möglich, wenn das überschüssige Porenwasser abfließen konnte. Das ist bei Sanden im allgemeinen wohl möglich, beansprucht aber je nach der Feinheit der Sande eine gewisse Zeit. Während dieser Zeit ist die Berührung zum grossen Teil aufgehoben, und der Schub, den das fließende Grundwasser durch seine Reibung an den Bodenkörnern auf die Bodenmasse ausübt, setzt den gesamten Bodenkörper in Bewegung, der sich nun im weiteren Verlaufe und dem Einfluss des Wassers wie eine zähe Flüssigkeit verhält.“

Ähnliche Erscheinungen sind auch vom Schnee und zwar bei Anwesenheit von Schwimmschnee bekannt. Die Empfindlichkeit der Schneedecke gegen mechanische Störung ist so gross, dass Rissbildung und Lawinen bereits durch Schallwellen ausgelöst werden und die Sprengwirkung von Explosivstoffen bei der künstlichen Auslösung von Lawinen praktisch verwertet wird.

#### b) Mit innerer Erosion.

Unter gewissen Umständen werden die eben erwähnten Gefügezusammenbrüche in nichtbindigen Materialien durch Sandausspülungen eingeleitet. Tritt Grundwasser oder eine einzelne Wasserader in absteigender Bewegung aus Sand bis Schlamm-sand an einen Hang aus, so führt dieses Wasser oft Sand mit sich. Die Sickerströmung fördert diesen Sand aus dem Inneren längs Adern, die durch mechanische oder chemische Lockerung entstanden sind. Solche Ausspülungen mit Substanzverlust führen zu inneren Hohlräumen, zu rein mechanischen Nachbrüchen oder zu Gefügezusammenbrüchen, die sich zu Ausweitungen bis an die Oberfläche und zu breiigem Ausfliessen des Sand-Wassergemisches führen können.

Nachdem TERZAGHI (24) 1926 einen solchen Einsturz vom Ufer des Mississippi beschrieben hatte, haben sich RODIO, BERNATZIK & DAXELHOFER (25) 1937

eingehender mit diesen als «érosion interne» beschriebenen Vorgängen befasst. Veranlassung dazu gab der Einbruch einer grösseren Anzahl von Bauten auf einer erhöhten Sandterrasse in der Nähe von Mostaganum bei Oran (Nordafrika). Diese meerwärts abfallende Terrasse bestand aus Feinsand zwischen 0,1—1 mm, deren Unterlage, ein kompakter dichter Mergel, sich ebenfalls meerwärts senkte, aber über dem Meeresspiegel ausstrich. Das im Sand über dem Mergel abfliessende Grundwasser stieg nach längeren abnormen Niederschlägen an und verursachte grössere Quellen und Sandausspülungen. Die dadurch geschaffenen langgestreckten, inneren Hohlräume brachen in der Folge zusammen und führten zu grossen und ungleichmässigen Setzungen. Ausgehend von den Wasseraustritten über dem Ausbiss der Mergel, verflüssigte sich der Sand immer mehr und floss als zähe Flüssigkeit allmählich gegen das Meer zu.

Zum Schlusse sei noch darauf hingewiesen, dass Gefügezusammenbrüche nicht nur bei geneigter sondern auch bei horizontaler Terrainoberfläche sich einstellen können. Auch dort kommen als Ursache sowohl Beanspruchungen statischer (Grundwasserspiegeländerungen, Belastungen durch Bauten oder Schüttungen) wie auch dynamischer (Erschütterungen durch Verkehr, Maschinen, Sprengungen oder Erdbeben, Wellenschlag) Natur in Frage und führen, da Ausweichmöglichkeiten fehlen, zu Verdichtungen, d. h. zu Setzungen (12), wobei das überschüssige Wasser abströmt.

## VII. Zusammenfassung.

In der vorliegenden Arbeit wird ein auffallender Seeufereinbruch am Gerzensee, Kt. Bern, beschrieben. Dieser ereignete sich in einer flachen, aus Lehm, Seekreide und Torf bestehenden Ablagerungsfolge, deren oberste Zone gefroren war und in der die Stabilität durch eine Seespiegelabsenkung labil geworden war. Der Einbruch wurde durch Baumfällungen und Wurzelsprengungen ausgelöst, die einen Gefügezusammenbruch bewirkten. Kolloidchemisch kann dieser Vorgang auf einen durch dynamische Kräfte bewirkten thixotropischen Effekt zurückgeführt werden, bei dem das adsorptiv gebundene Wasser plötzlich frei wird. Vom erdbaumechanischen Standpunkt aus wird der Zusammenbruch der plötzlichen Belastung der Seekreide durch die in Schollen zerfallende Deckschicht, durch die Bäume, ferner den Wegfall der tragenden und stützenden Wurzeln zugeschrieben. Beide Vorgänge führen zu einer Verflüssigung, damit zu einer Herabsetzung der inneren Reibung und zum Ausquetschen der verflüssigten Seekreide.

Um die wichtige, bis heute vielleicht zu wenig beachtete Bedeutung der Gefügezusammenbrüche bei Rutschungen und Seeufereinbrüche zu illustrieren, werden am Schluss weitere Beispiele in bindigen, schwach bindigen und nicht bindigen Lockergesteinen angeführt, und auch auf Gefügezusammenbrüche bei Setzungen hingewiesen.

## VIII. Literaturverzeichnis.

1. ARBENZ, P.: Die Rutschungen am Ankenfelsen bei Kollbrunn im Tösstal. Mitt. Natf. Ges. Winterthur, S. 100, 1914.
2. BALTZER, A.: Der Erdschlipf von Böttstein. Vierteljahresschr. Natf. Ges. Zürich, 21, S. 285, 1876.
3. BECK, P.: Die Natur des Amtes Thun. In: Das Amt Thun, Bd. I, S. 37: Ufereinbrüche. 1943.

4. BENDEL, L. und RUCKLI, R.: Die Erdrutsche von Emmenegg und Dallenwil. *Strasse und Verkehr* 23, S. 299 und 321, 1937.
5. BENDEL, L.: Rutschungen. *Schweiz. Techn. Zeitschrift* 14, 1939.
6. BLATTER, C.: Erkenntnisse und Erfahrungen über Schluff- und Schlammböden. *Schweiz. Bauzeitung*, Bd. 124, 1944.
7. VON BÜREN, G.: Der Gerzensee. Eine limnologische Studie. *Mitt. Natf. Ges. Bern* 1935, S. 29, 1936.
8. EHRENBERG, J.: Das Ausfliessen einer Sandkippe in einer Braunkohlengrube. *Bautechnik* 1933.
9. GOGARTEN, E.: Terrainbewegungen in der Schweiz. *Naturwiss. Wochenschrift*, N.F. 8, S. 538, 1909.
10. HAEFELI, R.: Mechanische Eigenschaften von Lockergesteinen. *Schweiz. Bauzeitung*, Bd. 111, 1938.
11. HAEFELI, R. und VON MOOS, A.: Drei Lockergesteine und ihre technischen Probleme. *Schweiz. Bauzeitung*, Bd. 112, 1938.
12. HAEFELI, R.: Zur Mechanik aussergewöhnlicher Gletscherschwankungen. *Schweiz. Bauzeitung*, Bd. 115, 1940.
13. HAEFELI, R. und SCHAAD, W.: Setzungen infolge Senkung, Schwankung und Strömung des Grundwassers. *Schweiz. Bauzeitung*, Bd. 123, 1944.
14. HARTMANN, AD.: Der Erdrutsch von Ittental 1924—26. *Mitt. Aarg. Natf. Ges.* 18, S. 53, 1928.
15. HEIM, ALB.: Bericht und Gutachten über die im Februar 1875 in Horgen vorgekommenen Rutschungen. Zürich 1876.
16. HEIM, ALB., MOSER, R. und BÜRKLII, A.: Die Catastrophe von Zug. Hofer & Burger, Zürich, 1888.
17. HEIM, ALB.: Bergsturz und Menschenleben. *Vierteljahresschr. Natf. Ges. Zürich*, 77, 1932.
18. HOOL, TH.: Die Abrutschungen im Sörenberggebiet. *Mitt. Natf. Ges. Luzern* 7, S. 29, 1917.
19. LEHMANN, O.: Über Rutschungen im Graslande ohne vorher bestehende Gleitflächen. *Inst. de Géogr. de l'Université Prag*, 1936.
20. LUGEON, M.: Le glissement des hameaux de Montagnon et Produit. *Bull. de la Murith.*, Fasc. 49, S. 84, 1931/32.
21. MONTANDON, F.: Chronologie des grands éboulements alpins du début de l'ère chrétienne à nos jours. *Mat. pour l'étude des calamités*. No. 32, 1933.
22. VON MOOS, A.: Geotechnische Eigenschaften und Bestimmungsmethoden der Lockergesteine. *Schweiz. Bauzeitung*, Bd. 111, S. 268 und 277, 1938.
23. PALLMANN, H.: Zur physikalischen Chemie des Bodens. *Schweizer Archiv*, Bd. 4, 1938 und *Erdbaukurs der E.T.H.* 1938.
24. REDLICH, K. R., TERZAGHI, K., KAMPE, R.: *Ingenieurgeologie*. Springer, Wien 1929.
25. RODIO, G., BERNATZIK, W. et DAXELHOFER, J. P.: *Erosions internes et autres phénomènes affectant la stabilité des massifs pulvérulants saturés d'eau*. Paris 1937.
26. RUTSCH, R.: *Geologische Karte des Belpbergs*. 1 : 25000. Bern (Kümmerly & Frey) 1927.
27. SCHARDT, H.: Note sur un éboulement survenu à la Neuveville le 11 février 1909. *Bull. soc. neuch. sc. nat.* 37, p. 355, 1911.
28. SCHARDT, H.: Effondrement du quai de Montreux. *Eclogae geol. helv.*, Vol. 3, p. 355, 1892.
29. WEHRLI, L.: Der Erdschlipf bei Sattel am Rossberg. *Zeitschrift f. prakt. Geologie* 18, 1910.
30. WINKLER, H. G. F.: Thixotropie von Mineralpulvern mikroskopischer Grösse. *Kolloid-Beihefte*, 48. Bd., S. 341—376, Heft 4—12, 1938.

Manuskript eingegangen den 15. November 1944.