

Setzungsmessungen 1887-1944 und Baugrund im Rutschgebiet von Zug

Autor(en): **Moos, Armin von**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **41 (1948)**

Heft 1

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-161038>

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.

Setzungsmessungen 1887–1944 und Baugrund im Rutschgebiet von Zug

Von **Armin von Moos** (Zürich)

Mit 5 Textfiguren

1. Einleitung.

Am 5. Juli 1887 ereignete sich im Städtchen Zug, am flachen Ufer des Zugersees ein Seeufereinbruch. Dabei versanken 150000 m³ Material mit zahlreichen Häusern und Menschen. Dieser Einbruch, dem bereits 1435, 1592/93, 1594 solche vorangegangen waren, entstand zufolge Überlastung des Ufers durch Erstellung eines Quais, verbunden mit einem starken Grundwassergefälle und wurde vermutlich durch Pfählung ausgelöst. Dank den Publikationen von ALB. HEIM (Lit. 2—4) ist dieser Rutsch als klassischer Fall für einen Seeufereinbruch an einem der zahlreichen Schweizerseen in die Literatur eingegangen.

Um weitere solche Ufereinbrüche zu verhindern oder rechtzeitig zu erkennen, wurden auf Vorschlag der damaligen Experten in der Umgebung des Rutschgebietes folgende Massnahmen getroffen: Abtrag einer Reihe von Häusern, systematische Entwässerung des Gebietes, Pfählungsverbot (!) für einen Teil der Seezone (Lit. 5), periodisch sich wiederholende Präzisionsvermessung der Uferzone.

Ein Teil dieser Massnahmen, sowie verschiedene inzwischen durchgeführte Sondierungen haben unsere Erkenntnisse über dieses Seeufereinbruchgebiet, wie auch über die spezielle Geologie von Zug erweitert, so dass sich eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse lohnt.

Die Veröffentlichung der Resultate des Präzisionsnivelements, das von Stadt und Kanton Zug finanziert wird und von der Eidg. Landestopographie in Bern-Wabern durchgeführt wurde, verdanke ich Herrn Stadtingenieur E. Derron in Zug.

2. Geologie.

Das Seeufer-Einbruchgebiet in Zug liegt generell in einer flachen Deltazone der „Lorze“, sowie verschiedener Nebenbäche. Diese haben am Rande der See-depression detritisches Material, hauptsächlich Schlamm-sand, sodann Sand und Kies aus ihrem Einzugsgebiet (Sandsteine, Nagelfluh, Moränen) abgelagert, das sich am Seeufer, teilweise mit organischem Material gemischt hat. Es wird von Moräne unterlagert und von feinkörnigen Seeablagerungen (Seekreide usw.),

ferner jüngerem Bachschutt (Kies, Sand), sowie künstlichen Aufschüttungen überdeckt (Fig. 1, 2, 3).

Die fest gelagerte, zähe Grundmoräne (Lehm mit Kies) wurde 1938 im südlichen Gebiet festgestellt (Sondierungen Nr. 41—44). Ihre Oberfläche fällt gegen N und W ab, konnte aber in den übrigen Bohrungen nicht erreicht werden.

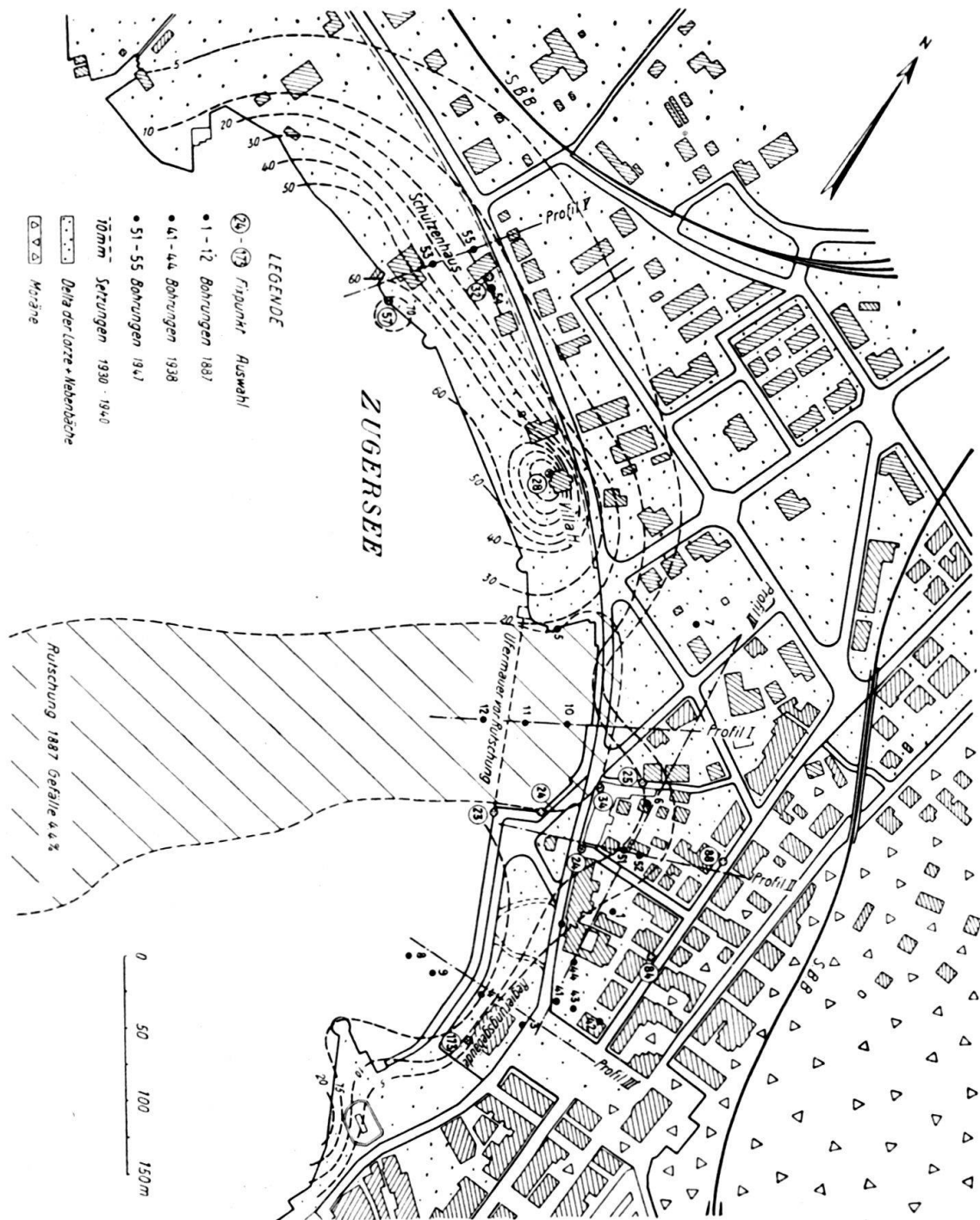


Fig. 1. Situation des Setzungs- und Rutschgebietes von Zug mit Kurven gleicher Setzung in 10 Jahren (Aufnahmen Eidg. Landestopographie Bern), ferner Lage der Fixpunkte, Sondierungen und Profile.

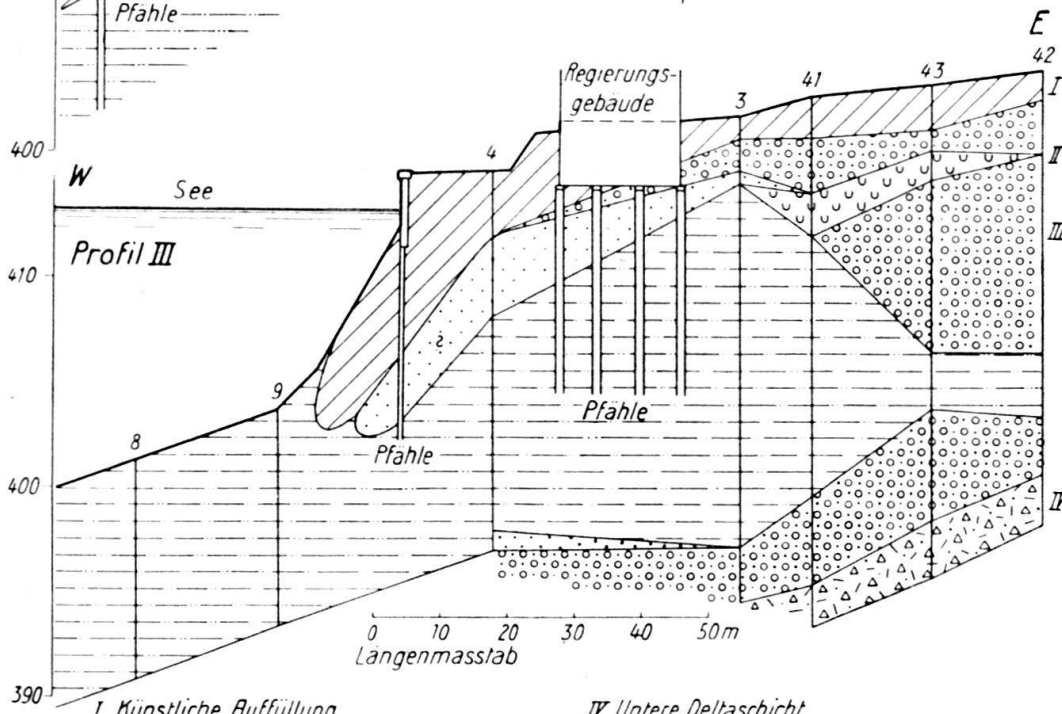
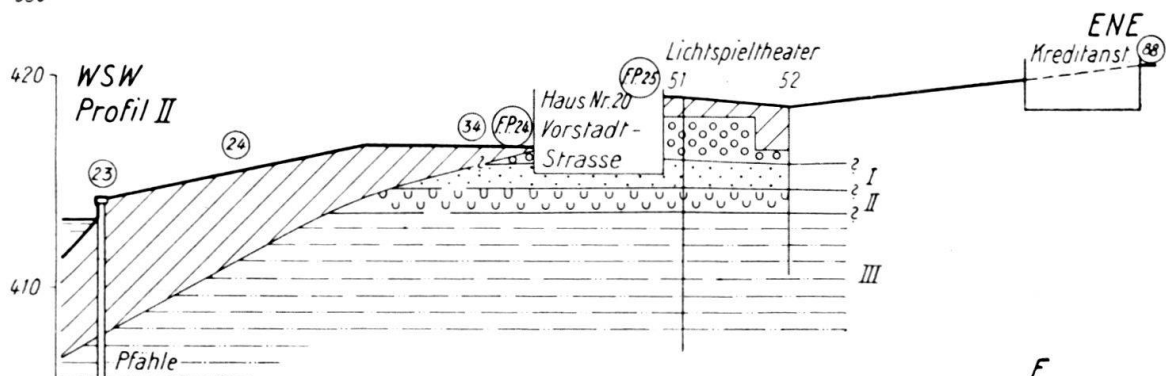
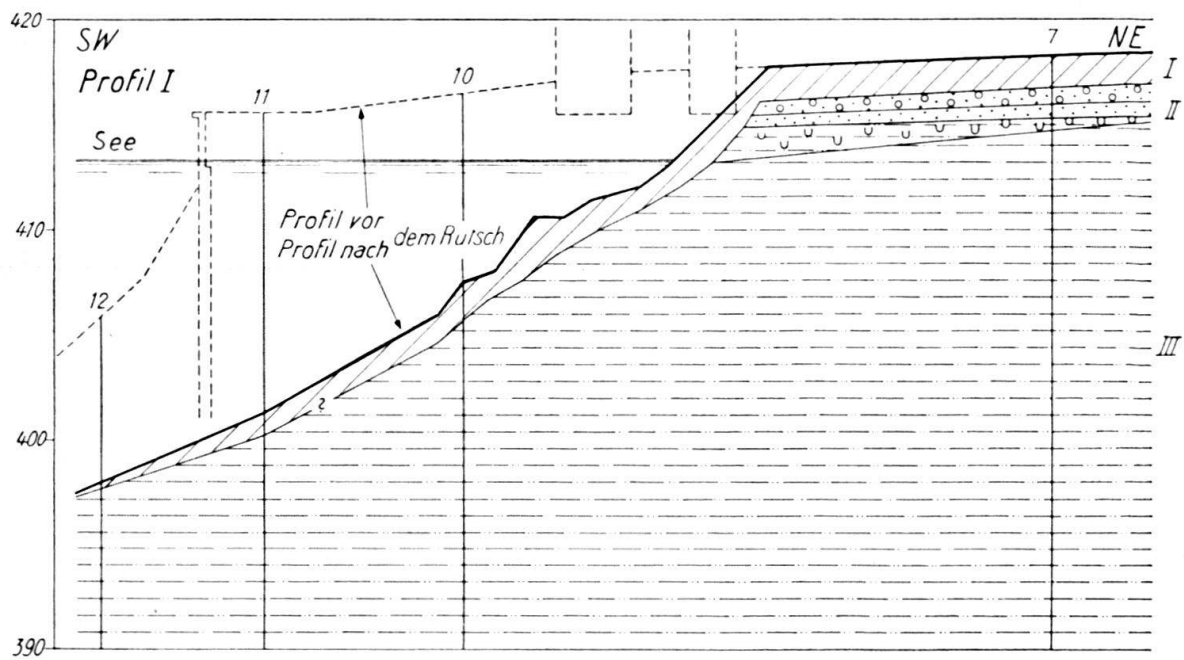
Sie tritt dagegen E dem in Fig. 1 dargestellten Setzungsgebiet an die Oberfläche. Eine untere Deltaschüttung besteht im Süden aus Kies, Sand und Schlamm-sand, während im Norden nur noch Schlamm-sand auftritt, dem sich, besonders in den höheren Partien, auch organische Bestandteile beimengen. Die grobkör-nigen Ablagerungen dieser Deltaschüttung verdanken ihre Entstehung den lo-kalen Bächen. Die nördlichen Schlamm-sande dagegen stammen von der Lorze, deren Material in der Seebucht sich mit vom See, namentlich im Herbst zuge-schwemmtem und gewehtem organischem Material (Holz, Blätter) gemischt hat. Besonders im Süden folgen über diesen unteren Deltaschüttungen weiche orga-nische Seeuferablagerungen (Seekreide, Torf), die vermutlich an Ort und Stelle entstanden und somit nicht zugeschwemmt sind. Sie werden von einer oberen gelbbraun verwitterten Sand- und Kiesschicht, dem eigentlichen Baugrund des unteren Stadtgebietes von Zug, überdeckt. Diese stellen eine jüngere obere Deltaschüttung dar und sind zumeist von künstlichen Auffüllungen über-lagert¹⁾.

3. Lagerungsdichte.

Bereits die Sondierungen von 1887 haben gezeigt, dass die Delta- und See-ablagerungen dieses Gebietes namentlich in den oberen Zonen locker gelagert sind, während in der Tiefe stellenweise fester gelagerte Partien angefahren wurden (Lit. 2). 1947 wurden in zwei Gebieten Rammsondierungen durchgeführt. (Über das Prinzip der Rammsondierungen siehe Lit. 1, 6, 7). In Fig. 4 werden die Resultate der Sondierungen für eine Kinobaute im SE-Teil unseres Gebietes dar-gestellt. Sie zeigen in der oberen Deltaschüttung (Kies, Sand) relativ grosse Spitzenwiderstände von 40—120 kg pro cm². Sehr locker gelagert ist dagegen die unterlagernde Seekreideschicht, deren Spitzenwiderstände unter 20 kg/cm² (zumeist sogar unter 10 kg/cm²) liegen. Wechselvoll, aber doch fester gelagert, ist die untere Deltaschüttung, wo die Spitzenwiderstände zwischen 20 und 200 kg/cm² schwanken und gegen die Tiefe allgemein zunehmen.

Im Gegensatz zu diesen Feststellungen beim Lichtspiel-Theater hat eine Rammsondierung für eine Turnhalle (Schützenhaus, siehe Fig. 1 und 2) im NW-Teil unterhalb der oberen Deltaschüttung inkl. Auffüllung bis in eine Tiefe von —24,80 m Spitzenwiderstände erreicht, die durchgehend unter 30 kg/cm², meist sogar unter 20 kg/cm² liegen, ohne dass ein festerer Grund angefahren wurde. Diese Feststellung lässt auf eine sehr lockere Lagerung des fast durchgehend mit orga-nischem Material durchgesetzten Schlamm-sandes schliessen (Fig. 2, Profil V).

¹⁾ Nach Abschluss der vorliegenden Arbeit hat uns Herr Stadtingenieur Derron freundlicher-weise noch die nachfolgenden Resultate einer 1943 ausgeführten Bohrung zur Verfügung gestellt, die 375 m westlich Bohrung 53 (Fig. 1) und 40 m vom Seeufer entfernt zum Studium des Bau-grundes einer Kläranlage abgeteuft wurde und sehr locker gelagerte Materialien angetroffen hat: 0,0—1,4 m Auffüllung, 1,4—1,90 m Torf?, 1,90—3,90 m braunschwarzer Feinsand mit Pflanzen-resten, 3,90—5,25 m Feinsand mit Torf, 5,25—6,75 m Torf mit etwas Schlamm-sand, 6,75—8,30 m Feinsand mit Pflanzenresten, 8,30—10,50 m grauer Schlamm-sand, 10,50—12,00 m Sand mit Pflanzenresten, 12,00—14,00 m grauer sandiger Lehm, 14,00—16,00 m grauer sandiger Lehm mit etwas Pflanzenresten, 16,00—17,35 m grauer sandiger Lehm, 17,35—18,40 m grauer sandiger Lehm mit etwas Seekreide (?), 18,40—22,30 m grauer sandiger Lehm, 22,30—23,95 m Schlamm-sand mit Torf, 23,95—24,30 m grauer Lehm, 24,30—25,15 m grauer Lehm mit Sandlagen. — Wassergehalt im Anlieferungszustand 32—68%, Raumgewicht im Anlieferungszustand 1,5—1,9 t/m³, Zusammendrückbarkeit von 1 auf 2,71 kg/cm² = 3,4—8,1%, Scherfestigkeit $\tan \theta = 0,59—0,73$ (siehe Fussnote 2). Auch bei diesen Angaben von Torf dürfte es sich zum grössten Teil um zugeschwemmtes Material handeln.



I Künstliche Auffüllung
II Obere Deltaschicht
III Seeablagerung

IV Untere Deltaschicht
V Grundmoräne
3, 41 etc. Bohrungen

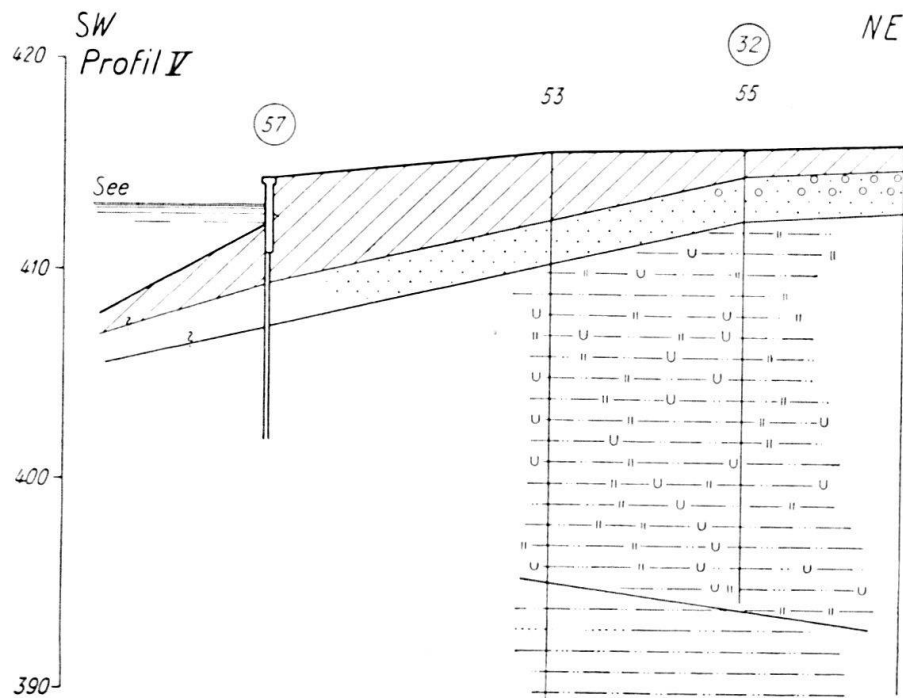


Fig. 2. Geologische Querprofile durch das Ufergebiet von Zug (Lage siehe Fig. 1).

4. Materialuntersuchung.

Die in Tab. 1 S. 122 zusammengestellten Werte zeigen, dass parallel mit dem hohen Humusgehalt das Raumgewicht niedrig, der Wassergehalt und die Zusammendrückbarkeit dagegen hoch sind. Seekreide und Schlammsande weisen mit einer Anhäufung der Gemengteile zwischen 0,002 und 0,2 mm ähnliche Kornverteilung auf, womit auch ähnliche Scherfestigkeiten parallel gehen. Trotzdem variieren die Konsistenzgrenzen (Fließgrenze, Ausrollgrenze, Plastizitätszahl) stark, d. h. zeigen bei Auftreten von Humus einen bemerkenswerten Anstieg. Während bei der Seekreide der Kalkgehalt hauptsächlich auf Neubildung zurückgeführt werden muss, ist der Kalkgehalt der übrigen Proben durch das zugeführte Gesteinsmaterial bedingt.

5. Präzisionsnivellement.

Das von 1889 bis 1944 periodisch durchgeführte Präzisionsnivellement stützt sich auf ca. 100 Beobachtungspunkte. Es ergibt zunächst, dass grössere Gebiete in der Nähe des Seeufers in langsamer Senkung von unterschiedlicher Geschwindigkeit begriffen sind, wobei die Setzungsbeträge allgemein vom Land gegen den See zunehmen (siehe Fig. 1 und 5 nach Aufnahmen der Eidg. Landestopographie).

Das Hauptsetzungsgebiet liegt NW der ehemaligen Rutschung. Wir können dort deutlich zwei Setzungstendenzen unterscheiden. Vorerst tritt eine allgemeine Setzung des Terrains auf, die zwischen 0,5 und 7 mm pro Jahr schwankt und ein Gebiet von rund 50000 m² ergriffen hat.

Eine zusätzliche Setzung hat ein einzelnes, 1928 in der Nähe des Seeufers erstelltes Haus (Villa H.) erhalten, das auf einer Fundamentplatte liegt und eine

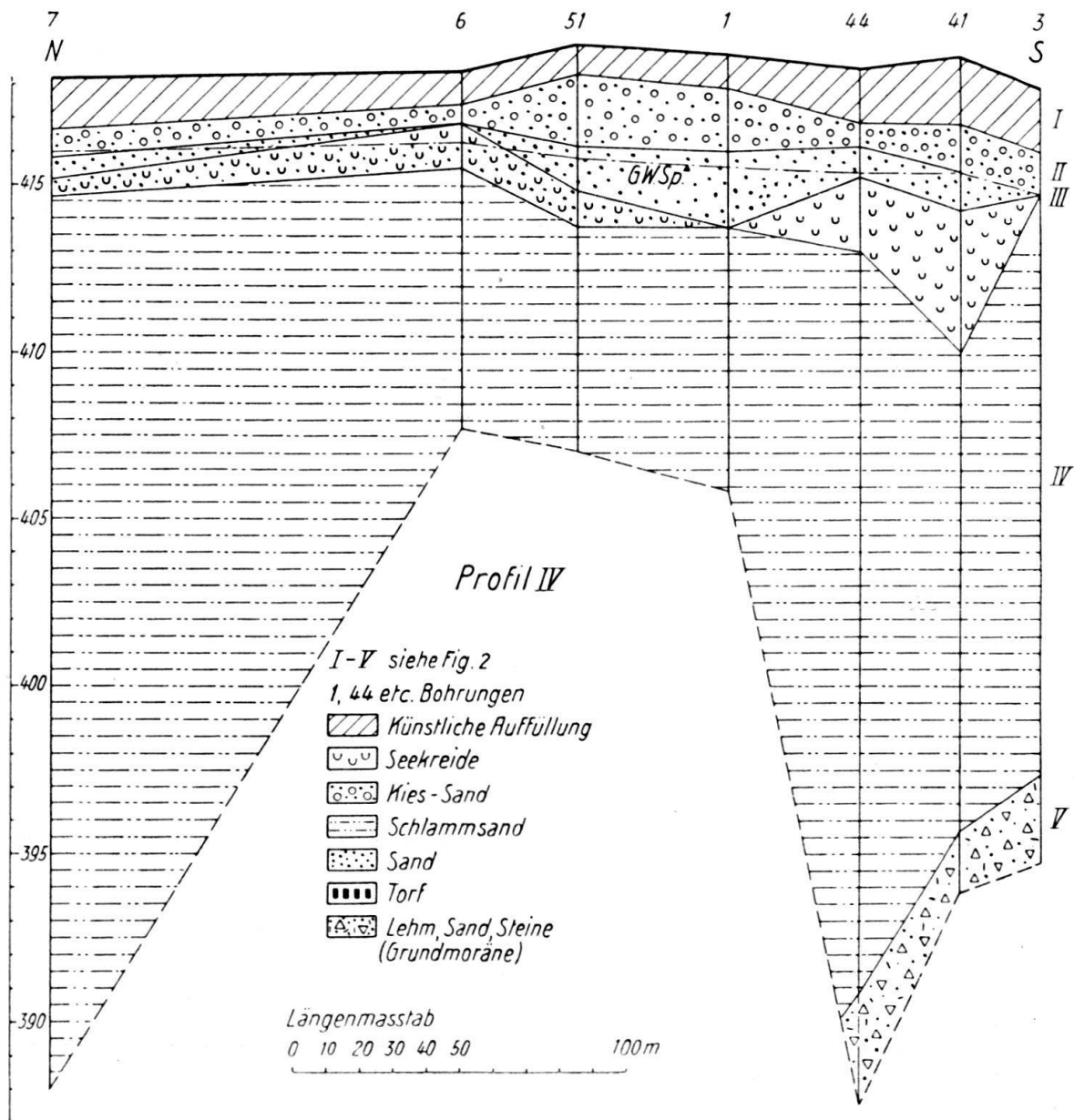


Fig. 3. Geologisches Längsprofil in Ufernähe (Lage siehe Fig. 1).

mittlere Bodenpressung von $0,3 \text{ kg/cm}^2$ aufweisen soll. Es stellten sich sehr grosse und unterschiedliche Totalsetzungen ein, wobei die maximalen Setzungen in der NE-Ecke (F. P. 28) im Mittel $10,8 \text{ mm}$ pro Jahr erreichten (siehe Fig. 5).

Nachdem man zufolge mangelnder Sondierungen lange Zeit über die Zusammensetzung des Untergrundes in diesem Gebiete im Ungewissen war, haben die Bohrungen und Rammsondierungen 1947 (Nr. 53, 54, 55, Fig. 1, 2) beim Schützenhaus gezeigt, dass der Untergrund zur Hauptsache aus über 20 m sehr locker gelagertem Schlamm-sand, der von organischen Gemengteilen durchsetzt ist, besteht.

Im Rücken der Rutschung und SE davon sind Umfang und Beträge der Setzung kleiner und variieren nur zwischen $0,5$ und $1,5 \text{ mm}$ pro Jahr. Diese

Abnahme steht mit der durch Sondierungen belegten Tatsache im Einklang, dass der organische Gehalt des Schlamm-sandes hier zurücktritt, mehr Kies und Sand auftritt, die Lagerung allgemein fester ist und die Schichtmächtigkeit über der festgelagerten Grundmoräne abnimmt.

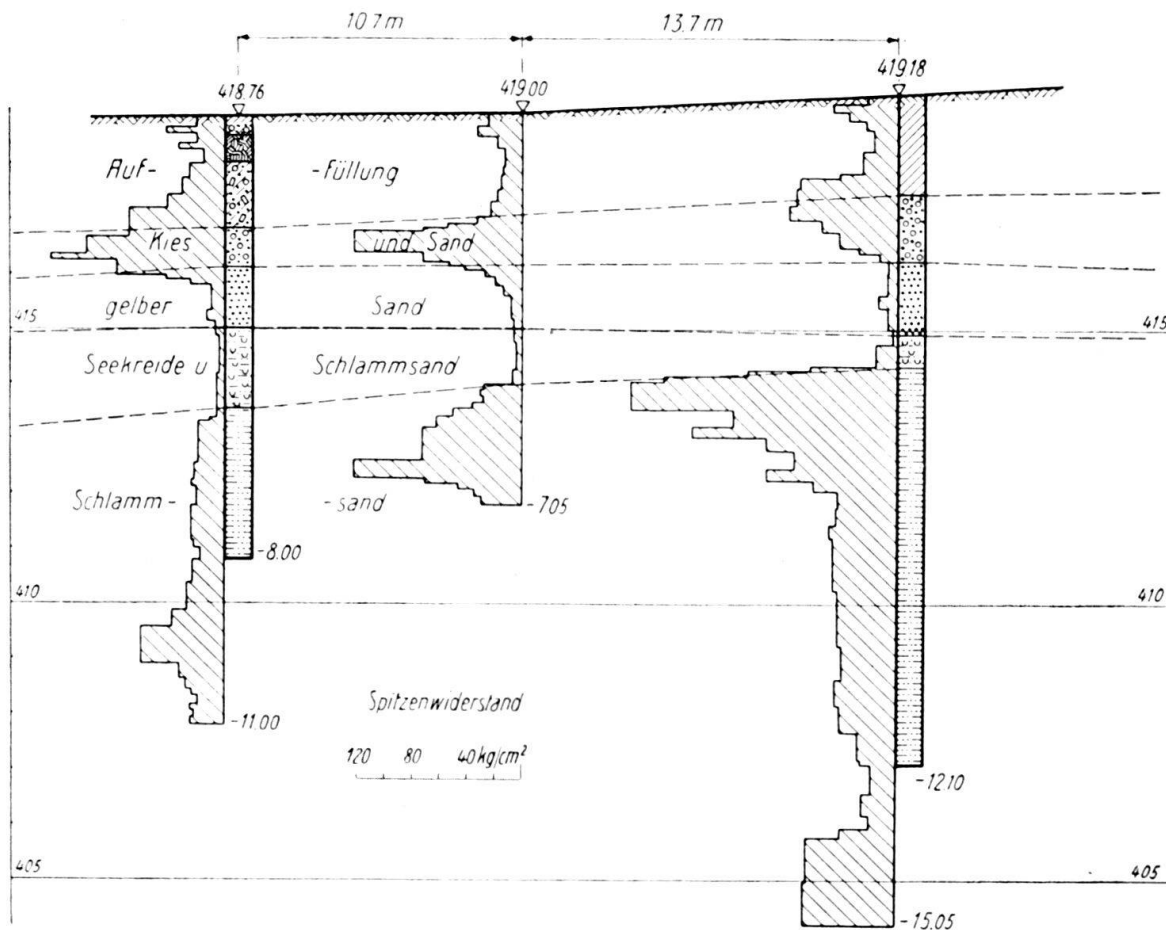


Fig. 4. Profil der Rammdigramme im Gebiet des Lichtspieltheaters.

Die zusätzliche Setzung durch Gebäude konnte am Regierungsgebäude ermittelt werden. Dieses Bauwerk wurde 1870 erstellt, steht auf 555 Pfählen von im Mittel 8,5 m Länge (Lit. 2). Die Setzungen betragen im Mittel 1 mm pro Jahr (1900—1945), sind somit rund 10mal kleiner als bei der Villa H. und bewegen sich im Rahmen der allgemeinen Setzung dieses Gebietes (siehe Fig. 5).

6. Ursache der Setzungen.

Die Gründe der Setzungen haben wir in folgenden Ursachen zu suchen, die nicht deutlich voneinander getrennt werden können:

- a) Es liegt ein wenig konsolidiertes, feinkörniges Material, zum Teil mit erheblichem organischem Gehalt, von bis über 20 m Mächtigkeit vor.

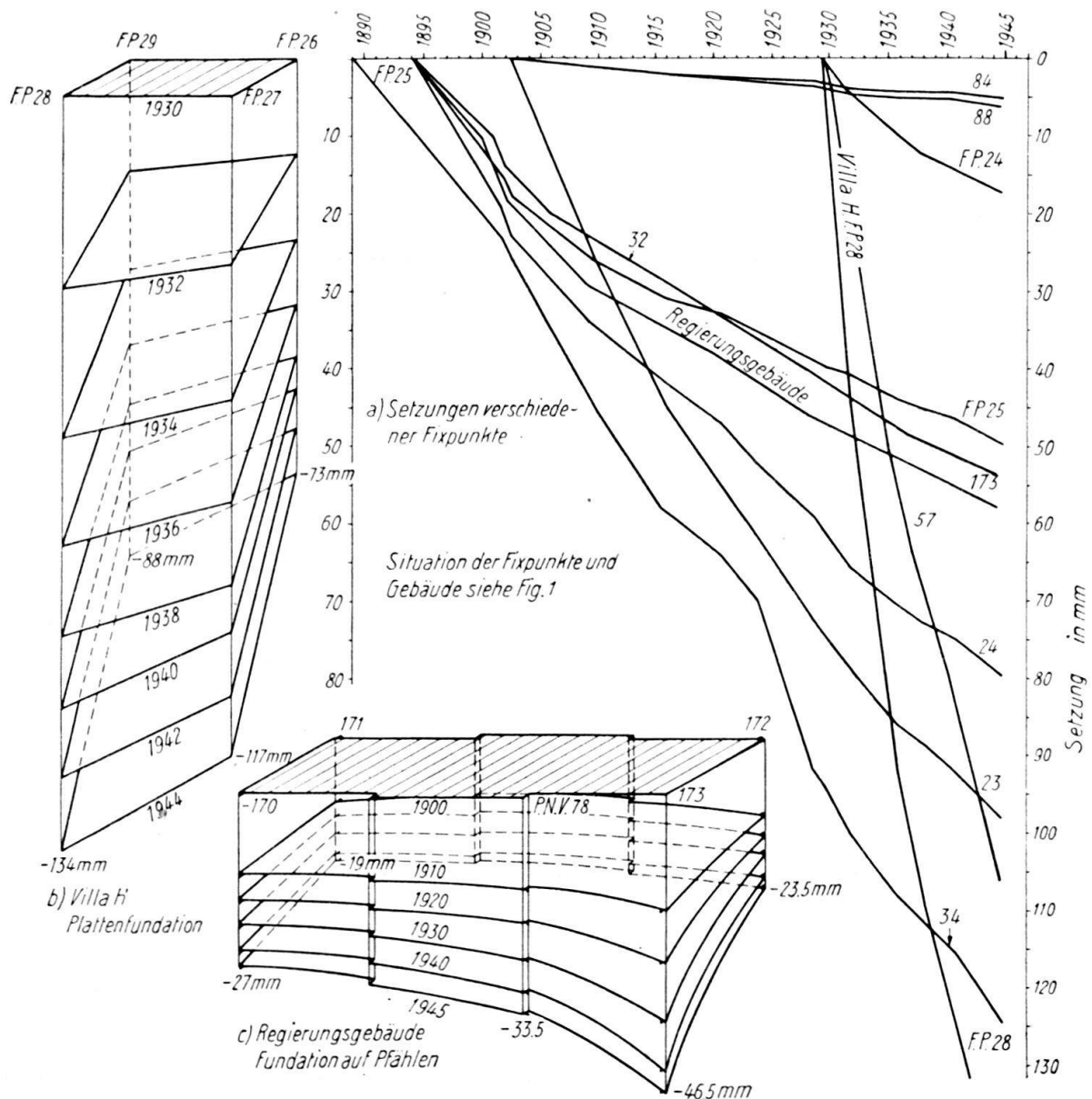


Fig. 5. Setzungen einiger Fixpunkte und Gebäude (Lage siehe Fig. 1).
(Aufnahme Eidg. Landestopographie Bern.)

- b) Dieses Material erhielt durch frühere natürliche Überlagerung, durch die Bebauung, durch Drainagen und allgemeine Grundwasserabsenkungen eine zunehmende Belastung.
- c) Die Terrainoberfläche fällt bis zum Ufer flach, im See etwas steiler ab und ermöglicht dadurch ein langsames, seitliches Abwandern des Materials (Kriechen).
- d) Alle diese Vorgänge führen durch Porenverengerungen, zum Teil durch geringfügiges Ausweichen, zu allgemeinen Setzungen, wobei diese Setzungen durch örtliche Neubelastungen vergrößert werden.

7. Rutschung 1887.

Während normalerweise die vertikalen Bewegungen überwiegen und die seewärts gerichteten Kräfte zurücktreten, können Verhältnisse auftreten, die diese

letzteren aktivieren. So führte 1887 das Zusammenfallen mehrerer ungünstiger Umstände, wie rasche künstliche Aufschüttung (gespanntes Porenwasser), starkes Grundwassergefälle (Strömungsdruck seewärts), Pfählung (dynamische Beanspruchung) zum Rutsch.

Zu diesen Umständen trat, dass im oberen Teil der unteren Seeablagerung und in der oberen Seeablagerung eine sehr lockere Lagerung vorhanden ist, wie das durch die Sondierungen 1947 nachgewiesen werden konnte (Fig. 2). Durch die Beanspruchung traten im Rutschgebiet Gefügezusammenbrüche auf, die zur Verflüssigung führten und einen Schlammstrom bildeten, der über 1000 m weit auf dem flachen Seeboden (4,4% Gefälle) dahinfluss. Abgesehen von den obenerwähnten baulichen Umständen, entstand der Rutsch dort, wo relativ reine Schlamm-sande auftraten, d. h. er entstand weder in der von Kies durchsetzten SE-Zone, noch in der mit zum Teil wenig zersetztem organischem Material bestehenden NW-Zone.

8. Zusammenfassung.

In der Umgebung des im Jahre 1887 erfolgten Seeufereinbruches von Zug ergibt das seither durchgeführte Präzisionsnivellement, dass in einer schmalen Zone das Ufer links und rechts des Rutsches sich kontinuierlich, aber langsam abnehmend setzt. Neben einer allgemeinen Setzung des Terrains, die zwischen 0,1 und 7 mm pro Jahr schwankt und seewärts zunimmt, treten zusätzliche Setzungen durch neu erstellte Gebäude auf, die bis zu totalen Setzungsbeträgen von bis 11 mm pro Jahr führen (Villa H., Flachgründung).

Die Sondierungen haben gezeigt, dass im NW-Gebiet über 20 m mächtige, locker gelagerte Schlammsandlagen mit organischen Beimengungen auftreten, die gegen SE abnehmen, wobei zugleich der organische Gehalt zurücktritt und die Lagerung fester wird.

Die Ursache der allgemeinen Setzung liegt in der Verdichtung des weichen Schlammsandes durch natürliche und künstliche Belastung, durch Grundwasserabsenkung, vermutlich auch durch ein Kriechen seewärts.

Überwiegen die seewärts gerichteten Kräfte, so genügen grosse Erschütterungen, hohe Grundwasserstände und rasch erfolgte Auflasten, um Rutschungen auszulösen, wie das beim Rutsch 1889 geschah. In dem wenig bindigen Material entstand dabei vermutlich durch Strukturzusammenbrüche ein Schlamm-Wassergemisch, das bei einem Gefälle von nur 4,4% über 1000 m weit in den See floss.

Summary.

In the neighbourhood of the famous landslide which took place at Lake Zug in 1887, precise measurements of level have been made at about 100 fixed points for a period of 55 years, from 1889—1944. These observations have shown that the whole shore, together with the buildings constructed on it has been subjected to a continuous process of settlement. Of particular interest are the measurements made on a building with pile foundations where the settlement was about 1 mm. a year, and on a building with a raft foundation where the settlement was at a rate of about 11 mm. a year. A number of test borings and penetration resistance tests have been made on the site and these, together with certain laboratory investigations are used to interpret the recorded settlements, the geological history of the shore and the landslide of 1887.

Tabelle 1. Erdbaumechanische Kennziffern der 4 wichtigsten Bodenarten, ermittelt an repräsentativen Proben im Laboratorium der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau ETH.²⁾.

Nr.		1	2	3	4
Material		Sand	Seekreide	Schlammsand mit organischen Gemengteilen	Schlammsand bis Feinsand ohne organ. Gemengteile
Bohrloch (Lage siehe Fig. 1) . .	Nr.	51	44	55	51
Tiefe ab O.K. Terrain	m	3,5	4,1	8,4	11,9
Karbonatgehalt*	%	55	76	34,0	38
Humusgehalt*	%	—	5,0	8,6	—
Raumgewicht im Anlieferungszustand	t/m ³	1,95	1,71	1,52	2,11
Wassergehalt im Anlieferungszustand*	%	25,0	55,9	70,3	18,6
Fliessgrenze*	%	—	44,5	71,4	32,5
Ausrollgrenze*	%	—	31,2	52,9	27,4
Plastizitätszahl*	%	—	13,3	18,5	5,1
2 — 0,2 mm	%	43	2	3,6	7,1
0,2 — 0,02 mm	%	47	41	62,7	76,8
0,02 — 0,002 mm	%	8	42	28,4	10,8
kl. 0,002 mm	%	2	15	5,3	5,3
Zusammendrückbarkeit					
Δe ungestört	%	2,0	4,1	8,6	0,5
Durchlässigkeitsziffer k	cm/sec	—	$6,10^{-9}$	$2,10^{-7}$	$7,10^{-7}$
Reibungswinkel	tg ϑ	0,72	0,67	0,76	0,72

*) Bezogen auf Trockensubstanz.

²⁾ Der Karbonatgehalt, hauptsächlich CaCO_3 , wurde mit dem Passonapparat bestimmt. Die Humusbestimmung erfolgte nach der Chromsäuretitrationmethode (siehe *Anne Annales agronomiques* Heft 2, 1945). Die sog. Atterbergschen Konsistenzgrenzen, die Fliessgrenze und die Ausrollgrenze und die Plastizitätszahl charakterisieren bestimmte Konsistenzzustände von bindigen Lockergesteinen und werden heute in der Erdbau- und Sedimentpetrographischen Literatur allgemein zur Charakterisierung von bindigen Lockergesteinen verwendet. — Die Kornverteilung wurde mit Maschensieben und der Aräometermethode ermittelt. — Die Zusammendrückungszahl Δe stellt die prozentuale Zusammendrückbarkeit einer Probe dar, die im Zusammendrückungsapparat bei verhinderter Seitenausdehnung von 1 auf 2,71 kg/cm² belastet wurde. — Die Durchlässigkeitsziffer k ist gleich der Filtergeschwindigkeit des Wassers beim Druckgefälle = 1 durch eine Probe, ausgedrückt in cm/sec.

Nähere Angaben über die Bestimmung und Bedeutung dieser Werte siehe Lit. 6. Eine stark geologisch orientierte Darstellung der praktischen Erdbaumechanik findet sich in: K. TERZAGHI und R. B. BECK, *Soil Mechanics in Engineering Practise*. Chapman and Hall Ltd. London 1948.

9. Literatur.

1. R. HAEFELI, Erdbaumechanische Probleme im Lichte der Schneeforschung. Schweiz. Bauzeitung Bd. 123, 1944.
2. ALB. HEIM, R. MOSER, A. BÜRKLI, Die Katastrophe von Zug am 5. Juli 1887, Zürich 1888.
3. ALB. HEIM, Geologie der Schweiz, Bd. I, S. 431, Leipzig 1919.
4. ALB. HEIM, Bergsturz und Menschenleben. Vierteljahresschr. Nat. Forsch. Ges. Zürich, Bd. 77, 1932.
5. J. HILDEBRAND, Gesetzgebung des Kts. Zug, I. Band, S. 286 Kollaudationsprotokoll 1891. 1932.
6. A. VON MOOS und FR. DE QUERVAIN, Technische Gesteinskunde. Birkhäuser, Basel, 1948.
7. J. STUMP, Aus der Praxis der Rammsondierung. Schweiz. Bauzeitung Jg. 65, 1947.

Manuskript eingegangen am 12. Januar 1948.
