

Beitrag zur Untersuchung des physikalischen und statischen Verhaltens kohärenter Bodenarten

Autor(en): **Gruner, H.E. / Haefeli, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **103/104 (1934)**

Heft 16

PDF erstellt am: **18.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-83198>

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.

sei ferner vorausgesetzt, dass sich im Schlickkern das diesem Spannungszustand entsprechende natürliche Porenwasser eingestellt habe.

Betrachten wir nun den Grenzfall des Gleichgewichtes für den höchsten zulässigen Wasserspiegel, so wirken auf den über der Gleitfläche liegenden Dammteil folgende Kräfte:

Die Eigengewichte G der einzelnen Elemente des Gleitkörpers, der Auftrieb A der Körperelemente, sowie diese vom Wasser betroffen werden, sowie die normal und tangential zur Gleitfläche wirkenden Auflagerreaktionen N und T . Zur Ermittlung der letztgenannten wird nach Krey¹⁰⁾ unter Vernachlässigung der sich teilweise aufhebenden Erddrücke auf die seitlichen Trennflächen der Elemente vorläufig angenommen, dass die auf jedes Element wirkende Reaktion dem durch Eigengewicht und Auftrieb bedingten Gewicht P entspreche. Die Normalkräfte N können darnach als Komponenten von P auf die Normale zur Gleitfläche bestimmt werden, die Reibungskräfte T werden für den Grenzzustand des Gleichgewichtes, in dem die Gleitung beginnt, näherungsweise berechnet zu

$$T = N \cdot \operatorname{tg} \varphi_0 \quad \dots \dots \dots (6)$$

Die Gleitung erfolgt um den Kreismittelpunkt o als Bewegungszentrum. Bezeichnen wir mit $M_{(+)}$ das Moment aller Kräfte in Bezug auf dieses Zentrum, die in der Drehrichtung des Abgleitens wirken (hier Uhrzeigersinn) und mit $M_{(-)}$ das Moment aller der die Gleitung verhindernden Kräfte, so erscheint als Gleitsicherheit das Verhältnis:

$$n = \frac{M_{(-)}}{M_{(+)}} \quad \dots \dots \dots (7)$$

Erfährt der Wasserspiegel des Kanals eine rasche Senkung um die Höhe Δh_1 , so folgt die Sickerlinie in der durchlässigen Kiesvorlage dieser Bewegung, während die Sickerlinie des Schlickkernes sich den veränderten Bedingungen nur langsam anpasst, sodass sie im Zeitpunkt vollendeter Absenkung des Kanals luftseitig annähernd unverändert und wasserseitig längs der Begrenzung des Schlickkernes verläuft. Die dem Wegfall des Auftriebes in der Kiesschicht der abgesenkten Zone entsprechende Gewichtszunahme P_{A1} erzeugt in der Gleitfläche des Schlickkernes den Zustand gespannten Porenwassers. Sie bedingt eine Zunahme der Normalkräfte N ohne Vergrößerung der Reibungskräfte T , weil die Druckerhöhung allein vom Porenwasser aufgenommen wird. Das Moment $M_{(-)}$ bleibt somit unverändert, das Moment $M_{(+)}$ erfährt den Zuwachs $P_{A1} a_1$, was eine entsprechende Reduktion des Sicherheitsgrades n zur Folge hat. Erst dann, wenn der Wasserspiegel unter Punkt F gesenkt wird, erfährt auch $M_{(-)}$ einen Zuwachs, weil im Dreieck ABF , das aus durchlässigem Material besteht, jede durch Wegfall des Auftriebes bedingte Gewichtszunahme infolge sofortiger Entspannung des Porenwassers eine entsprechende Erhöhung der Reibung ermöglicht. Die Folge ist, dass die für eine Wasserspiegelsenkung von $+8$ bis 0 aufgezeichneten n -Kurven bei einer gewissen Wasserspiegellage ein Minimum aufweisen. Je stärker die Kiesvorlage ist, um so höher liegt dieser kritische Wasserspiegel. Diese Aenderung des Sicherheitsgrades n gilt natürlich nur für die als unverändert angesehene Gleitfläche A, B, C, D, E . Es ist denkbar, dass für veränderten Wasserstand andere Gleitflächen ein ungünstigeres Resultat ergeben.

Hinsichtlich der Wahl der Gleitfläche sei ferner bemerkt, dass im vorliegenden Falle der Sicherheitsgrad für den höchsten Wasserspiegel kaum ändert, wenn man annimmt, dass die Gleitlinie zwischen den Punkten B und D geradlinig (d. h. unmittelbar unter der Begrenzung des Schlickkernes) statt kreisförmig verläuft. Die Gründe dafür, dass wir trotzdem von der kreisförmigen Gleitfläche ausgingen, sind folgende: Diese im Innern des Schlickkernes verlaufende Gleitfläche ist der Entstehung gespannten Porenwassers stärker ausgesetzt, als eine in unmittelbarer Nähe der durchlässigen Kiesschicht liegende Fläche. Sie entspricht ferner besser der Erfahrung, nach der Erdrutschungen stets auf gut ausgerundeten Flächen erfolgen. Die innern Widerstände, welche die scharfen Richtungsänderungen gebrochener Gleitlinien zur Folge hätten, werden in der Berechnung der Gleitsicherheit nicht berücksichtigt.

¹⁰⁾ Krey: Erddruck, Erdwiderstand.

Die für obige Annahmen berechneten Sicherheitsgrade sind in der n_0 -Kurve dargestellt. Bei genauerer Rechnung sind nun noch die zwei nachfolgenden im günstigen Sinne wirkenden Faktoren zu berücksichtigen, die wir bisher der Uebersicht halber nicht in Rechnung gesetzt haben. Der eine derselben ist bedingt durch den Umstand, dass in Wirklichkeit die Uebertragung der Gewichte auf die Gleitfläche nicht genau so erfolgt, dass in jedem Teil der Fläche das Gewicht des senkrecht darüber liegenden Materialprismas übertragen wird. Dies rührt daher, dass auf ein solches Prisma ausser dem Gewicht noch seitliche, schief gerichtete Erddrücke E wirken, die sich nur ausnahmsweise aufheben, normalerweise jedoch eine belastende oder entlastende Komponente ergeben. Um diesen Einfluss für das vorliegende Beispiel zu untersuchen, haben wir die effektive Belastungsfläche angenähert berechnet und dargestellt. Es entsteht eine Verlagerung der Lasten derart, dass im untern flachen Teil der Gleitfläche eine Mehrbelastung, im obern steilen Teil eine entsprechende Entlastung eintritt. Berücksichtigen wir die dadurch bedingten Aenderungen der Momente $M_{(\pm)}$, herrührend einerseits von vertikalen positiven und negativen Zusatzgewichten und andererseits von den zusätzlichen Reibungskräften, so erhalten wir unter der vereinfachenden Annahme, dass die Absenkung des Wasserspiegels ohne wesentlichen Einfluss auf die Gewichtsverlagerung sei, für den Sicherheitsgrad die n_1 -Kurve, die der n_0 -Kurve angenähert parallel läuft. Der andere, hier ebenfalls günstig wirkende Faktor ist dadurch bedingt, dass die Durchströmung des über der Gleitfläche liegenden Dammteiles einen gewissen Druckverlust erzeugt. Der in der Gleitfläche vorhandene Wasserdruk ist deshalb etwas geringer, als der hydrostatische Druck. Diese Abweichung, die sich durch zusätzliche Normal- und Reibungskräfte in der Gleitfläche auswirkt, lässt sich auf Grund des Strömungsbildes des Sickerwassers bei bekannten Durchlässigkeitswerten k der Materialien schätzungsweise berechnen. Die n_2 -Kurve zeigt sowohl den Einfluss der Gewichtsverlagerung, als auch denjenigen des Druckverlustes des Sickerwassers. Bei der luftseitigen Böschung wirkt sich der Druckverlust des Sickerwassers im Gegensatz zu obigem auf die Stabilität im ungünstigen Sinne aus.

2. Grenzwerte des Seitendruckes in kohärenten, wassergesättigten Erdmassen. Wir untersuchen die Grenzwerte des zeitlich veränderlichen Spannungszustandes in einer unendlich ausgedehnten, frisch eingebrachten Erdschicht mit horizontaler oberer und unterer Begrenzungsebene. Die Oberfläche gestattet den freien Austritt des Porenwassers, die Unterlage sei undurchlässig. Das homogene, quasiisotrope Material sei durch ein geeignetes technisches Verfahren, z. B. das Spülverfahren, oder durch sorgfältiges Walzen in dünnen Schichten luftfrei eingebracht worden.

Gemäss Abb. 7 seien folgende Materialeigenschaften auf Grund von Versuchen bekannt:

γ_0 = Raumgewicht in t/m^3 } in Funktion des Vertikal-
 w_0 = Natürlicher Poren- } druckes bei verhinderter
 wassergehalt in % } Seitenausdehnung.
 φ_0 = Winkel der natürlichen innern Reibung.

Durch ausführungstechnische Voruntersuchungen seien ferner folgende Werte festgestellt worden:

w' = Mittlerer Wassergehalt in % } des frisch ein-
 γ' = Mittleres Raumgewicht in t/m^3 } gebrachten Materials.

Im übrigen gelten nachstehende Bezeichnungen:

h = Senkrechter Abstand eines Punktes in m von der horizontalen Oberfläche (Tiefe),
 σ_I = Erste Hauptspannung in t/m^2 (Vertikaldruk),
 σ_{II} = Zweite Hauptspannung in t/m^2 (Seitendruk),
 σ = Normalspannung in t/m^2 } in beliebiger Schnitt-
 τ = Schubspannung in t/m^2 } richtung.

Wir betrachten zunächst den Spannungszustand in der Erdschicht im Zeitpunkt $t = 0$ unmittelbar nach der Materialeinbringung, unter der Annahme, dass dann in allen Punkten der selbe Wassergehalt $w = w'$ und gleiches Raumgewicht $\gamma = \gamma'$ vorhanden sei. Bei einer gewissen Ueberlagerung $h = h_0$ entspricht dieser Wassergehalt dem

$$\sigma_{II\min} = \gamma' h \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_0}{2} \right) \quad (13)$$

Bildet man die Differenz $\Delta \sigma_{II} = \sigma_{II\max} - \sigma_{II\min}$, so ergibt sich, ausgehend vom untern Grenzwert des Seitendruckes (Gl. 13), sein oberer Grenzwert (Gl. 12) zu:

$$\begin{aligned} \sigma_{II\max} &= \sigma_{II\min} + \Delta \sigma_{II} = \\ &= \sigma_{II\min} + \gamma' (h - h_0) \left[1 - \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi_0}{2} \right) \right] \quad (14) \end{aligned}$$

Damit wären alle die theoretischen Grenzwerte des Seitendruckes ermittelt, die für statische Untersuchungen von Interesse sind. Die Berechnung des Verlaufes der zeitlichen Aenderung des Spannungszustandes ist weniger wichtig. Sie könnte bei gegebenem Durchlässigkeitskoeffizienten nach dem Vorbild der von Terzaghi für ähnliche Fälle aufgestellten „Näherungsverfahren für die rechnerische Behandlung des Spannungsausgleiches in bindigem Boden“ erfolgen.¹¹⁾

In der Praxis ist die für den theoretischen Fall gemachte Voraussetzung der horizontalen Oberfläche selten erfüllt. Für Erdschichten mit geneigter Oberfläche und paralleler Unterlage lässt sich jedoch auf der selben Grundlage eine ähnliche Lösung angeben. Für die vertikale Symmetrieebene flach abgeboßter Erdkörper (Dichtungskern in Erddämmen) gilt angenähert der für horizontale Oberfläche dargestellte Spannungszustand unter Beachtung der veränderten Strömungsverhältnisse des Porenwassers. Durch konstruktive Massnahmen kann die Entspannung des Porenwassers bereits während der Bauzeit beschleunigt und damit der obere Grenzwert des Seitendruckes wesentlich reduziert werden.

*

Ueberblicken wir nochmals die behandelten Probleme und offenen Fragen, so ergibt sich, dass die Ausbildung einwandfreier bodenphysikalischer Untersuchungsmethoden für eine fortschrittliche Entwicklung des Erdbaues dringend notwendig ist. Nur auf Grund einer genauen Kenntnis der technisch wichtigen Eigenschaften des Materials lässt sich eine bessere Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Wirklichkeit erzielen und nur unter dieser Voraussetzung sind die im Erdbau üblichen, relativ niedrigen Sicherheitsgrade gerechtfertigt.

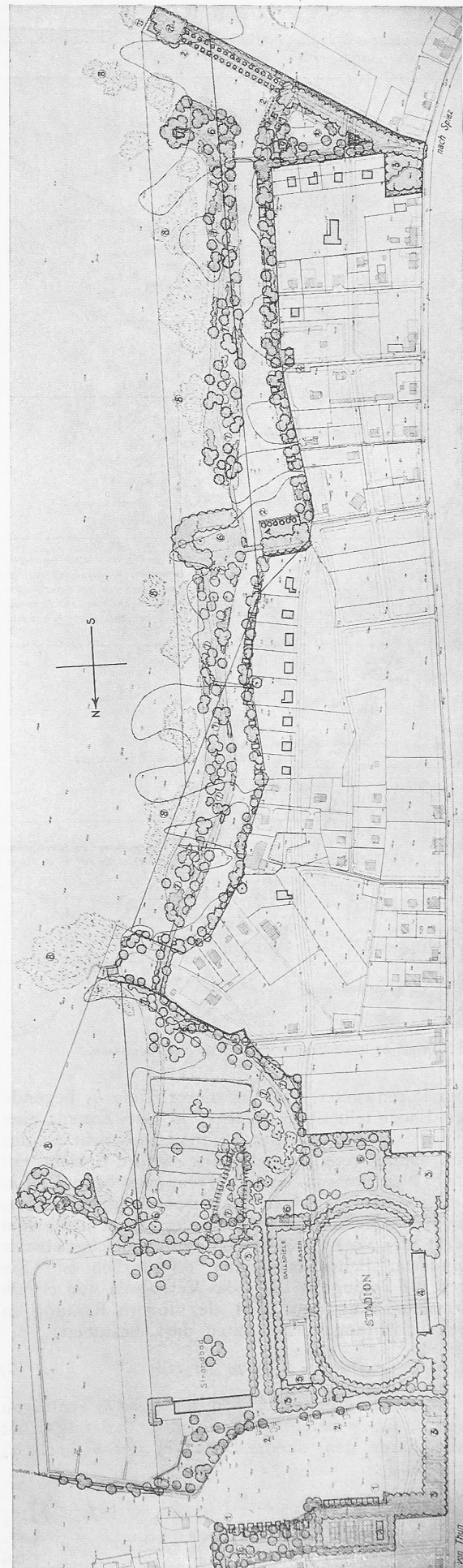
Wettbewerb für die Seeufergestaltung der Stadt Thun.

Das in vorliegendem Wettbewerb behandelte Gebiet liegt an dem in nord-südlicher Richtung gestreckt verlaufenden Westufer des Thunersees, also südlich der eigentlichen Stadt, längs der sog. Seeallmend, an der Strasse Thun-Spiez. Es erstreckt sich von der Südseite des Strandbades rund 1,5 km weit bis zur Besetzung von Bonstetten. In erster Linie sollte das Seeufer für die Fussgänger als Promenadenanlage ausgebildet werden, unter möglichster Fernhaltung von Verkehr. Einige öffentliche Landungsstellen für Motor- und Ruderboote waren jedoch vorzusehen. Die gartenbautechnische Behandlung des Seeufers sollte sich dem Charakter der offenen Uferlandschaft anpassen. In Verbindung mit der Promenade waren Erholungs- und Schmuckanlagen, sowie Tummelplätze für Kinder vorzusehen, und schliesslich Vorschläge für die Regelung der Bebauung innerhalb des unmittelbaren Uferbereiches zu machen.

Aus dem Bericht des Preisgerichts.

Das Preisgericht tagte vollzählig am 16. und 17. Februar 1934 im Stadtratsaal in Thun. An Stelle des zurückgetretenen Fachpreisrichters, Baumeister H. Frutiger, amtierte Stadtbaumeister H. Staub. Das Stadtbauamt hat die rechtzeitig eingelangten neun Projekte einer Vorprüfung unterzogen und festgestellt, dass das Wettbewerbsprogramm bei allen Projekten erfüllt wurde, mit Ausnahme eines Projektes, zu dem neben dem Hauptprojekt noch eine Variante vorlag, die unberücksichtigt beiseitegelegt wurde.

¹¹⁾ Terzaghi: „Erdbaumechanik“ 1925, S. 155 und ff.



1. Preis (2000 Fr.), Entwurf Nr. 3. — Verfasser Edgar Schweizer, Dipl. Arch., Thun, mit Paul Schädlich, Gartenarchitekt, Zürich. — Uebersichtsplan 1 : 6000. Legende : 1 vermietbare Boothäuser, 2 Landungsstellen, 3 Autoparkstellen, 6 Tummelplätze für Kinder, 7 Aussichtspunkte und Ruheplätze, 8 Schilfzonen, 9 Aquarium, 10 Seerosenteich, 11 Restaurant.