Ueber die Ursachen von Bodensetzungen bei Grundwasserabsenkungen und von Abbrüchen bei der Absenkung von Seespiegeln

Autor(en): **Meyer-Peter, E.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **81/82 (1923)**

Heft 12

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-38973

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

INHALT: Ueber die Ursachen von Bodensetzungen bei Grundwasserabsenkungen und von Uferabbrüchen bei der Absenkung von Seespiegeln. — Ein neues System der selbsttätigen Fehlerisolierung in Traktions-Leitungsnetzen. — Wettbewerb für eine reformierte Kirche in Dietikon. — Zum Stammheimer Bildersturm. — Luftschiffhallen aus Eisenbeton in Villeneuve-Orly. — Schweizerischer Elektrotechnischer Verein. — Miscellanea: Ausbau des Hafens von Algier. Grossgüterwagen-Entwürfe der deutschen Reichsbahn. Elektrifikation der Schweizerischen Bundesbahnen. Schweizer Mustermesse in Basel. Beitrag zur Spannungsuntersuchung an Knotenblechen eiserner Fachwerke. Internationaler Luftschiffahrts-Kongress in London. Temperaturmessungen in einem Bohrloch von 1700 m Tiefe. Eidgen. Technische Hochschule. Schweizer. Rhone-Rhein-Schiffahrtsverband. Eidgen. Kommission für Ausfuhr elektrischer Energie. — Literatur — Vereinsnachrichten: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. S. T. S.

Band 82. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 12.

Ueber die Ursachen von Bodensetzungen bei Grundwasserabsenkungen und von Ufer-Abbrüchen bei der Absenkung von Seespiegeln.

Von Prof. *E. Meyer-Peter*, Zürich.

Die bei der Absenkung von Grundwasserspiegeln hie und da beobachteten Bodensetzungen grösseren Masstabes werden sehr oft kurzerhand einfach dadurch begründet, dass das den Grundwasserträger bildende Material bei der Spiegelsenkung infolge des in Wegfall kommenden Auftriebes zusammengedrückt werde.

Uferabbrüche bilden bei der Absenkung von Seespiegeln eine fast regelmässig wiederkehrende Erscheinung, deren Ursachen in der „S. B. Z." schon wiederholt besprochen wurden. Es standen sich in dieser Frage zwei verschiedene Auffassungen gegenüber, von denen die eine die Erklärung der Abrutschungen bei der Absenkung des Wasserspiegels in einer Mehrbelastung des Böschungsfusses infolge verminderten Auftriebes suchte, während die andere die Erscheinung mit der Erddrucktheorie und unter der Annahme einer Aenderung des natürlichen Böschungswinkels begründen wollte. In der „S. B. Z." vom 4. August 1923 endlich kommt Ing. R. Moor zum Schlusse, dass auf Grund der zweiten Methode, der Erddrucktheorie, eine Begründung unmöglich sei, und dass allein das „Zerquetschen", genauer das Ausquetschen des Untergrundes die Veranlassung für den Uferabbruch geben könne. Dieses Ausquetschen ist nach Moor durch die Vermehrung des Gewichtes des nicht mehr unter Wasser liegenden Materials veranlasst, welche Ansicht ohne Zweifel richtig ist, wenn sie vielleicht auch in etwas andere Form zu fassen ist.

1. Betrachten wir zunächst in einem allseitig abgeschlossenen Grundwasserträger, dessen Ausdehnung auch sehr gross sein mag, in beliebiger Tiefe eine dünne, wasserundurchlässige Linse oder Schicht, so wird diese nach beistehender Abbildung 1 von oben nach unten durch einen spezifischen Druck beansprucht, der wie folgt berechnet werden kann.

Es sei $\gamma = 1$ das spezifische Gewicht des Wassers,
γ_e das spez. Gewicht des erdfeuchten Materials,
γ_e' das spez. Gewicht des Materials unter Wasser,
n die nichtkapillaren Hohlräume in %.

Dann ist offenbar

$$\gamma_e' = \gamma_e - 1 + \frac{n}{100}$$

und der gesuchte Druck (Erd- und Wasserdruck)

$$\sigma = H_1 \cdot \gamma_e + (H_1 - H_2) \cdot \frac{n}{100}$$

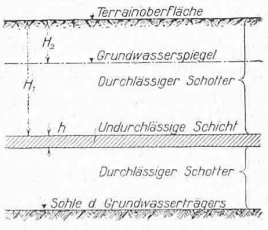


Abb. 1.

Zu diesem Ausdruck kann man auf verschiedene Weise gelangen, am einfachsten dadurch, dass man sich sagt, dass über der betrachteten dünnen Schicht ein Prisma von der Höhe H_1 aus erdfeuchtem Material $[H_1 \cdot \gamma_e]$ ruht, dessen nicht kapillare Hohlräume auf die Höhe $H_1 - H_2$ ebenfalls mit Wasser gefüllt sind $\left[(H_1 - H_2) \cdot \frac{n}{100}\right]$.

Wird nun der Grundwasserspiegel um die Höhe ΔH gesenkt, so nimmt demnach die spez. Belastung σ der betrachteten Schicht ab um das Mass:

$$\Delta \sigma = \Delta H \cdot \frac{n}{100}$$

Genau das selbe tritt auch dann ein, wenn wir H_1 bis zum Seegrund messen. Es lässt sich also eine Bodensenkung nicht durch die Mehrbelastung einer solchen Linse, als Ganzes genommen, erklären.

Denken wir uns nun einen beliebigen Horizontalschnitt durch einen Grundwasserträger gelegt, der aus festen, d. h. praktisch nicht komprimierbaren Bestandteilen, plastischen Materialien und Hohlräumen besteht. Hier ist der Fall denkbar, dass in einem über der Flächeneinheit des Schnittes liegenden Materialprisma die Gesamtheit der Hohlräume n % des Prismenvolumens beträgt, während die gerade durch den Schnitt getroffenen Hohlräume einen von n verschiedenen Prozentsatz der Grundfläche des nämlichen Prisma, den wir mit m bezeichnen, ausmachen. Aehnliche Verhältnisse hinsichtlich der Verteilung der Hohlräume können auch in der Trennungsfläche zwischen einer plastischen Linse und dem darüber liegenden Haufwerk vorliegen.

Dann lässt sich der oben angegebene Gesamtdruck pro Flächeneinheit des Schnittes:

$$\sigma = H_1 \cdot \gamma_e + (H_1 - H_2) \cdot \frac{n}{100}$$

zerlegen in den auf die Gesamtheit der durchschnittenen Hohlräume wirkenden Wasserdruck

$$\frac{m}{100}\sigma_w = (H_1 - H_2) \cdot \frac{m}{100}$$

und den durch das Material aufgenommenen Druck. Wird die Pressung pro Flächeneinheit auf das durchschnittliche Material mit σ_e bezeichnet, so ergibt sich hieraus die Beziehung

$$\sigma_e \cdot \left(1 - \frac{m}{100}\right) = \sigma - \frac{m}{100} \cdot \sigma_w = H_1 \cdot \left(\gamma_e + \frac{n-m}{100}\right) - H_2 \cdot \frac{n-m}{100}$$

woraus $$\sigma_e = H_1 \cdot \frac{100 \cdot \gamma_e + n - m}{100 - m} - H_2 \cdot \frac{n-m}{100-m}$$

Senkt sich der Grundwasserspiegel um das Mass ΔH, so entsteht in dem durchschnittenen Material pro Flächeneinheit eine mittlere Pressungsänderung von

$$\Delta \sigma_e = -\Delta H \cdot \frac{n-m}{100-m}$$

Es kommt also im wesentlichen darauf an, ob m grösser oder kleiner ist als n; für den Spezialfall $m = n$ entsteht im betrachteten Schnitt keine Veränderung der Pressung.

Für $m > n$ wird $\Delta \sigma_e$ positiv,
für $m < n$ dagegen negativ.

Im angenommenen Falle lässt sich nun denken, dass das plastische Material in den Querschnitten, in denen $m > n$, infolge Zunahme von σ_e in die nebenliegenden Hohlräume ausgequetscht wird; diese Erscheinung dürfte noch dadurch erleichtert sein, dass der hydrostatische Druck in den Hohlräumen bei abnehmendem Grundwasserspiegel verringert wird, mithin der Gegendruck, der das Material bisher im Gleichgewicht gehalten hatte, zum Teil in Wegfall kommt, sodass es nicht ausgeschlossen ist, dass auch in jenen Schnitten, in denen $m \leq n$, noch eine gewisse Bewegung eintritt. Immerhin ist dabei zu beachten, dass durch das Auffüllen der Hohlräume die Zunahme des spezifischen Druckes in den Materialschnitten nur so lange dauert, bis $m = n$ wird. Unter diesen Voraussetzungen lassen sich also Bodensetzungen bei Absenkung des Grundwasserspiegels erklären. Immerhin kann dies nicht die einzige Ursache sein, denn gewisse Materialien, wie Torf, Schwimmsand und dergleichen, verringern ihr Volumen schon bei blossem Wasserentzug ohne Druckvermehrung. Die in solchen Fällen beobachtete teilweise Hebung des Geländes nach dem Wiederansteigen des Grundwasser-Spiegels, lässt sich wohl nur auf letztgenannte Umstände zurückführen. Aus den eben beschriebenen Verhältnissen geht dagegen hervor, dass beim Absenken des Grundwasser-Spiegels die Setzungen nicht nur durch die trocken ge-

legten Teile begründet sind, sondern dass sich die Erscheinung bis auf den festen Untergrund fortsetzen kann, da, wie gezeigt, $\Delta\,\sigma_e$ von H_1 unabhängig ist. Anderseits aber wäre dadurch auch die Tatsache begründet, dass bei mehrmaligem Absenken- und Wideransteigenlassen des Grundwasserspiegels die Setzungen zur Ruhe kommen.

2. Das zuerst gefundene Resultat, dass der Gesamtdruck auf die Unterlage bei Absenkung des Wasserspiegels abnimmt, steht nur scheinbar im Widerspruch mit der anfangs aufgestellten Behauptung, dass bei Seeufern die Abrutschung durch eine Vermehrung des Druckes auf den Böschungsfuss begründet sei.

Ueber die Ursachen von Uferabbrüchen bei der Absenkung von Seespiegeln.

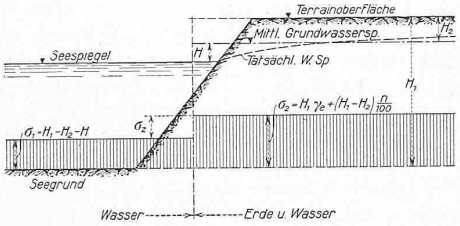


Abb. 2.

Der Einfachheit halber sollen der Seegrund sowohl, wie auch die Bodenoberfläche über Wasser horizontal angenommen werden, ebenso der mittlere Grundwasserspiegel, der nicht mit dem Seespiegel übereinzustimmen braucht. Im Sinne der Abbildung 2 wirkt dann auf den Seegrund ein spezifischer Druck von

$$\sigma_1 = H_1 - H_2 - H$$

während in der selben Wagrechten unterhalb des Ufers ein Druck $\sigma_2 = H_1 \cdot \gamma_e + (H_1 - H_2) \cdot \frac{n}{100}$ vorhanden ist. Die Differenz beider Belastungen wird

$$\sigma_z = \sigma_2 - \sigma_1 = H_1 \cdot \left(\gamma_e - 1 + \frac{n}{100}\right) + H_2 \cdot \left(1 - \frac{n}{100}\right) + H$$

Das Material unterhalb des Ufers ist also um den eben berechneten Wert σ_z mehr belastet als der Seeboden. Diese Mehrbelastung nimmt nun mit abnehmendem Grundwasserspiegel zu. Wenn bei sich senkendem Seespiegel die Höhendifferenz H zwischen dem mittlern Grundwasserspiegel und dem Seespiegel stets konstant bleibt und die Seespiegelabsenkung $\Delta\,H$ beträgt, so wird demnach die einseitige Belastung σ_z um den Betrag

$$\Delta\,\sigma_z = \Delta\,H\left(1 - \frac{n}{100}\right)$$

zunehmen, d. h. gerade um den der Wassersäule $\Delta\,H$ entsprechenden Auftrieb im Boden.

Um diese Verhältnisse klar zu legen, sei an eine allgemein übliche Berechnungsweise im Grundbau erinnert. Man pflegt bei einem Bauwerk, z. B. einem Brückenpfeiler, der im Oberflächen- oder Grundwasser steht, die effektiven Bodenpressungen um den sog. Auftrieb zu vermindern. Ist σ die tatsächliche Bodenpressung, H die Höhe des Wasserspiegels über der Fundamentsohle, so wird $\sigma - H$ ganz allgemein als massgebende Pressung angesehen, ohne dass man mit Sicherheit weiss, ob der Auftrieb H sich tatsächlich einstellt. Im Gegenteil wird ja bei Talsperren neuerdings nicht mehr mit der vollen Grösse H gerechnet, wo sie im Sinne einer Vergrösserung der Abmessungen des Bauwerks wirken würde.

Beim allseitig vom Wasser umgebenen Bauwerk ist aber die Einführung des Auftriebs dennoch, und zwar aus einem ganz andern Grunde zulässig. Die Fundamentsohle ist zwar unter allen Umständen durch die Pressung σ, und nicht blos durch $\sigma - H$ beansprucht; denn wenn der Auftrieb tatsächlich auch eintreten sollte, so wirkt er in der Fuge als hydrostatische Pressung auch nach abwärts. Aber einem eventuellen Ausquetschen der Sohle wirkt nun der allseitig um das Fundament vorhandene Druck H entgegen, wodurch sich als massgebender Fundamentdruck nur noch der Ausdruck $\sigma - H$ herausstellt.

Um auf den Fall des Seeufers zurückzukommen, ist es also die *einseitige* Belastung

$$\sigma_z = H_1 \cdot \left(\gamma_e - 1 + \frac{n}{100}\right) + H_2 \cdot \left(1 - \frac{n}{100}\right) + H$$

und nicht der *absolute* Druck

$$\sigma_2 = H_1 \cdot \gamma_e + (H_1 - H_2) \cdot \frac{n}{100}$$

der das Ausquetschen verursacht. Erstgenannte nimmt aber, wie bereits gesagt, bei zunehmendem Wert H_2 ebenfalls zu, während der zweite abnimmt.

Nach meiner Auffassung kann daher die Erscheinung der Seeuferabbrüche am ungezwungensten durch die Einführung des Begriffs der einseitigen oder der Zusatz-Pressung erklärt werden.

Ein neues System der selbsttätigen Fehlerisolierung in Traktions-Leitungsnetzen.

Von Ing. *H. Lüthy*, Aarau.

In der „Schweiz. Bauzeitung“ vom 14. Oktober 1922 ist anlässlich der Beschreibung der Schaltanordnung in Fahrleitungsanlagen der Schweizerischen Bundesbahnen u. a. auf das System der Fehlerisolierung in der Fahrleitungs-Anlage Sihlbrugg-Zürich hingewiesen worden. Die bezüglichen Einrichtungen sind insofern bemerkenswert, als sie unter Berücksichtigung ihrer voll-automatischen Wirkungsweise nicht nur erheblich geringere Anschaffungskosten bedingen, als die bisher in Fahrleitungsanlagen verwendeten, halb-automatischen Systeme, sondern weil sie auch eine praktische Lösung des Problems eines Ueberstromschutz-Systemes für grosse Traktions-Leitungsnetze mit vielen unter sich zusammenhängenden Teilstrecken verkörpern. Nachdem nun der elektrische Betrieb auf dieser Strecke seit 1. März 1923 aufgenommen ist und daher Versuchs- und Betriebsergebnisse vorliegen, sei im nachstehenden eine nähere Beschreibung der Wirkungsweise und der Konstruktion dieser Einrichtungen gegeben.

Das System der selbsttätigen Fehlerisolierung erfüllt die Aufgabe, bei einem Störungsfall in der Fahrnetzanlage das mit der Störung behaftete Teilstück der Fahrleitung innert kurzer Zeit aus der Gesamtanlage auszuscheiden, ohne den Bahnbetrieb auf den gesunden Strecken zu stören. An und für sich sind Systeme, die diese Aufgabe in Kraftverteilungsnetzen in befriedigender Weise lösen, bekannt und beschrieben worden. Ihre Wirkungsweise besteht darin, dass sie den gestörten Netzteil eingrenzen und durch die dem Fehlerort zunächst liegenden automatischen Schalter abtrennen; diese Vorgänge vollziehen sich in einem Zeitraum, für den die von der Störung in Mitleidenschaft gezogenen Einrichtungen durch die zunehmende Erwärmung noch keinen Schaden nehmen.

Die Verwendbarkeit dieser Systeme wird jedoch begrenzt durch die Ausdehnung und Gestaltung des Netzes. Betrachtet man die Verhältnisse beispielsweise bei dem in der Praxis am meisten verbreiteten und am besten bekannten Ueberstromschutz-System mit Zeitrelais, so ist zu erkennen, dass bei grosser Netzausdehnung zur Gewährleistung der richtigen Ausschaltung die höchst eingestellte Zeit in unerwünschter Weise verlängert werden muss, oder dann die einzelnen Zeitabstufungen derart verkleinert werden müssen, dass Einstellung und Ueberwachung der Apparate bis zur Unmöglichkeit erschwert werden. Diese Schwierigkeiten lassen sich wohl überbrücken durch Verwendung der Differentialschaltung. Dafür treten hier Erwägungen bezüglich Anlage- und Unterhaltungskosten in den Vordergrund, sowie die Gefahr von Störungen durch die notwendigen Hilfsleitungen längs den zu schützenden Leitungsstücken, die die Differentialschaltungen in der Regel von der Verwendung ausschliessen.

Das nachbeschriebene System der Fehlerisolierung überwindet diese Schwierigkeiten in vollkommener Weise. Es umfasst 18 Fahrleitungsabschnitte, die sich unterscheiden in geschlossene Doppel-Fahrleitungen zwischen den Stationen und in offene Stations-Fahrleitungsabschnitte. Die Zusammenschaltung in den Stationen Zürich bis