

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 85 (1967)
Heft: 39

Artikel: Über die Scherfestigkeit kohäsiver Böden
Autor: Locher, H.G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-69545>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Dieser Abschnitt beschreibt in ausführlicher Weise die Voraussetzungen, von denen in Deutschland bei Aufstellung der baulichen Richtlinien in den letzten Jahren ausgegangen worden ist. Dies interessiert besonders den projektierenden Ingenieur, da sich diese Voraussetzungen auf besonders umfassende Erfahrungen in Deutschland stützen können.

Was den Unterabschnitt «Abdichtung von Schutzräumen gegen nicht drückendes und drückendes Wasser» betrifft, bin ich der Meinung, dass eine bituminöse Wasserisolierung ihre Aufgabe bei Beschichtung mit konventionellen oder gar atomaren Waffen nur erfüllen kann, wenn dieselbe nicht als sogenannte Aussenisolierung, wie in der Schrift beschrieben, sondern als Innenisolierung, also im Schutze der entsprechend bemessenen und bewehrten, geschlossenen Betonwanne angeordnet ist. Mit der in der Schrift vorgesehenen Lage aus Hartschaum, Sand oder Schlacke vor der Wasserisolierung zur Dämpfung der Flächen-Stossbeanspruchung und einer Gleitschicht aus Kunststoff-Folie zur Verhinderung zu grosser Kraftübertragung aus dem Boden bei Luftstoss-Belastung, geschützt durch eine unverhältnismässig schwach dimensionierte Betonschicht (etwa 10 cm) ist eine Sicherung der Wasserisolierung gegen Beschädigung im Kriegsfalle kaum gewährleistet.

Auch in diesem Teil der Schrift schlägt der Verfasser für die Sicherung des Schutzraumbaus gegen drückendes Wasser die gleiche stoffliche Zusammensetzung der Wasserisolierung vor, wie sie im 1. Teil als Wasserisolierung der Parkdecke beschrieben ist. Diesem Vorschlag kann ich noch weniger beipflichten, weil grundsätzlich für Wasserisolierungen im Boden, die ständig der Feuchtigkeit ausgesetzt sind, ganz besonders bei drückendem Wasser keine Dichtungsbahnen vom Typ Roh- oder Dachpappen verwendet werden sollten, weil sie nur in beschränkter Masse als wasserdicht gelten können. Sinngemäss gilt dies auch für Bitumenschichten unter, zwischen und über den Dichtungsbahnen, die weder im Anstrich- noch im Giessverfahren porenfrei hergestellt werden können. Die DIN-Normen-Vorschriften suchen diese Unzulänglichkeiten auszugleichen mit der Bedingung, dass die Wasserisolierung gegen drückendes Wasser durch bauliche Anordnungen einem lückenlos ständigen sogenannten Einpressdruck unterstehen soll. Bei den neuzeitlichen Dispositionen und Bautechniken ist aber die Erzeugung eines solchen Einpressdruckes in den meisten Fällen nur mit zusätzlichen, aufwendigen Massnahmen und Risiken möglich.

Seit etwa 40 Jahren hat sich in der Schweiz das System der Grundwasserisolierung mit 2 bis 3 Lagen Bitumenjutegewebe-Dichtungsbahnen von je 3 mm Stärke eingebürgert und bei zweckmässiger ingenieur-technischer Gesamtdisposition und fachtechnischer Verlegung lückenlos bewährt – ein System, bei welchem die Erzeugung eines zusätzlichen Einpressdruckes überflüssig ist.

Zusammengefasst bietet diese Schrift aber eine Fülle von Anregungen für den schweizerischen Architekten und Ingenieur, als Hilfe zur Vermeidung von Missgriffen in Projekt und Ausführung.

Paul Hochstrasser, Bauingenieur ETH, SIA, Zürich

Über die Scherfestigkeit kohäsiver Böden

DK 624.131.439.5

Eine an der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH unter der Leitung der Professoren G. Schnitter und F. Baldazzi ausgearbeitete Dissertation¹⁾ untersucht die Faktoren, die die Scherfestigkeit von Böden beeinflussen. Sie befasst sich mit drei speziellen Materialien, nämlich mit künstlich aufbereitetem Kalziumkarbonat, welches in der USCS-Bodenklassifikation unter die Silte mit hoher Plastizität (MH) einzureihen ist, sowie mit Uetliberglehm und Opalit, dem aufbereiteten Opalinuston von Holderbank, welche beide als tonige Silte (CL) zu klassieren sind. Die Ergebnisse der Untersuchungen können aber weitgehend verallgemeinert werden, umso mehr, als auch andere, in der Literatur eingehend beschriebene Versuchsergebnisse, zum Beispiel von Bentonit, Londoner Ton und Ton aus dem Kleinen Belt, mit einbezogen wurden.

¹⁾ Die Scherfestigkeit dreier kohäsiver Böden in Abhängigkeit vom Lagerungszustand und von der Materialart. Von H. Einstein. Mitteilung Nr. 71 der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH Zürich 1966.

Als Vorbereitung untersucht Dr. Einstein den Schrumpfversuch, den er zur Kontrolle der Homogenität der verwendeten Proben verwendet. Es gelingt ihm dabei, Zusammenhänge zwischen der Schrumpfkurve und verschiedenen anderen erdbaumechanischen Grössen herzustellen, und so wichtige allgemeine Erkenntnisse über das Verhalten der verschiedenen im Boden enthaltenen Arten von Wasser (freies Wasser, Wasser mit geringerer oder festerer Bindung an die Bodenteilchen) abzuleiten. Damit ergeben sich Kriterien für die Klassierung der Böden und insbesondere für das Erkennen strukturempfindlicher Böden, die dazu ermuntern, den Schrumpfversuch vermehrt auch in den praktischen Untersuchungen anzuwenden. Eine weitere Voruntersuchung widmet Dr. Einstein den Vektorkurven der Triaxialversuche. Auch hier findet er wichtige Zusammenhänge, die unter anderem erkennen lassen, ob ein Boden normal konsolidiert oder überkonsolidiert sei, wobei wieder im Einzelnen auf die Art und Beanspruchung des Porenwassers eingegangen wird.

Im Hauptteil der Arbeit wird die durch Triaxialversuche bestimmte Scherfestigkeit der Proben analysiert. Da erfahrungsgemäss der Wassergehalt die massgebende Rolle spielt, stellt Dr. Einstein die Festigkeit in Funktion der Porenziffer dar, wobei sich in doppelt logarithmischer Auftragung gerade Linien ergeben. Daraus leitet er je eine Potenzfunktion für normal und überkonsolidierte Proben ab. Diese Formeln dürften auch für die Praxis Bedeutung haben, da sie erlauben, aus den einfachen Klassifikationsgrössen, nämlich dem Wassergehalt (aus welchem für gesättigte Böden die Porenziffer bestimmt werden kann), den Atterberggrenzen und dem Anteil < 0,002 mm die Scherfestigkeit wenigstens näherungsweise zu bestimmen. Da sie auf relativ wenigen Versuchen an nur drei Materialien beruhen, dürfte jedoch eine statistische Überprüfung an einem grösseren Probenmaterial angezeigt sein. Im Hinblick auf die natürlichen Streuungen in Böden und die relativ geringe Genauigkeit, die bei erdstatischen Berechnungen üblicherweise erreicht wird, wiegt diese Kritik allerdings nicht allzu schwer.

Anschließend untersucht der Autor die Zusammensetzung der Festigkeit. Die Gesamtfestigkeit setzt sich aus dem effektiven allseitigen Druck σ'_3 , der Zugfestigkeit und der Axialfestigkeit zusammen. Dabei sind die ersten beiden Anteile vom Material und der Wirkung der Umgebung, der dritte von der Geschichte, zum Beispiel der Vorbelastung des Bodens abhängig. Für alle drei Komponenten gibt Einstein Messmethoden an:

– Der allseitige Druck setzt sich aus dem Seitendruck und den Porenwasserspannungen zusammen

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - u.$$

– Die Zugfestigkeit wird gemessen, indem auf den Seitendruck σ_3 Druckschwingungen mit einer Frequenz von 50 Hertz aufgebracht werden. Mit elektrischen Druckmesszellen werden die dadurch im Porenwasser erzeugten Schwingungen gemessen. Die Druckamplitude wird so lange gesteigert, bis in der Triaxialzelle ein Unterdruck entsteht. Die Druckdifferenz, um die die Porenwasserspannungsamplitude hinter der aufgeprägten Schwingung herhinkt, entspricht der Zugfestigkeit.

Diese Bestimmungen sind nicht einfach und erfordern ziemlich teure Apparaturen. Sie sind daher von mehr theoretischem Interesse.

– Dagegen kann die Bestimmung der Axialfestigkeit ohne weiteres bei jedem normalen Triaxialversuch ausgeführt werden. Sie geschieht nach dem Vorschlag von Dr. Einstein wie folgt: Unmittelbar nach dem Bruch der Probe wird der Vertikalvorschub abgestellt. Die Probe verformt sich dabei unter der Wirkung des Prüfzugs weiter, bis Gleichgewicht zwischen den äusseren Kräften und der Axialfestigkeit erreicht ist. Der Durchmesser des am Ende dieses Spannungsvorganges gemessenen Mohrschen Kreises entspricht daher der Axialspannung. Wird dieser Kreis konzentrisch in den Bruchkreis eingezeichnet, kann der Berührungspunkt der Umhüllenden und damit für jeden Kreis der Reibungswinkel ϕ' direkt bestimmt werden.

Die ausgeführten Versuche zeigen (wie auch verschiedene Autoren am Erdbaukongress in Montreal nachgewiesen haben), dass die Mohrschen Umhüllungskurven nicht gerade, sondern je nach Materialart mehr oder weniger gekrümmte parabelähnliche Kurven sind. Damit ordnen sich die Böden ein in das materialtechnische Bild anderer Baustoffe, wie Stein, Beton usw. Ferner ergibt sich die Folgerung, dass auch Böden eine Maximalfestigkeit aufweisen, die durch Steigerung des allseitigen Druckes nicht mehr vergrössert werden kann. Mit Hilfe des oben beschriebenen Spannungskreises ist es aber

nicht schwierig, auch aus wenigen Mohr'schen Kreisen die Umhüllenden zu bestimmen, da Berührungspunkte und Tangentenrichtungen aus jedem Versuch bekannt sind. Diese geringe Erweiterung des normalen Triaxialversuches würde sich daher auch im praktischen Laborbetrieb lohnen, da mit gleichem Aufwand genauere Umhüllungskurven erhalten werden. Sind diese stark gekrümmt, so werden allerdings die erdstatischen Berechnungen, die bisher auf dem Konzept der Coulombschen Geraden mit den Koeffizienten c' und ϕ' beruhen, wesentlich komplizierter. Noch für lange Zeit wird es daher für den praktisch tätigen Erdbauingenieur zwar interessant sein, zu wissen, dass die Umhüllenden Kurven und die Coulombsche Gerade eine Approximation sind, aber er wird dies kaum praktisch nutzen können.

Der Trockenwetteranfall bei Abwasseranlagen

Von **W. Munz**, dipl. Ing. ETH, Zürich

1. Anwendung des Begriffs

Bei einer Entwässerung im in der Schweiz vorherrschenden Mischsystem wird das anfallende Regenwasser mit dem häuslichen Schmutzwasser zusammen abgeleitet. Da die grossen momentanen Wassermengen der Starkregen nur wenige Stunden im Jahre dauern, den Betrieb in der Kläranlage aber vollständig stören würden, werden sie über sogenannte Regenüberläufe vom zur Kläranlage führenden Kanalnetz abgezweigt und auf dem kürzesten Weg dem Vorfluter zugeleitet. Für die Bestimmung der Wassermenge, bei der der Überfall anspringen soll, galt in früheren Zeiten der Schmutzwasseranfall als Massstabseinheit. Es ist das Verdienst von *Hörler*, darauf hingewiesen zu haben, dass die Regenstärke (in l/s · ha) besser dafür geeignet ist [1].

Solche Regenüberläufe, die eine beträchtliche Ersparnis im zur Anlage weiterführenden Rohr ermöglichen (Verkleinerung der Wassermenge z. B. auf 5%), werden meist als Hochwasser-Entlastungen oder Not-Auslässe bezeichnet, da sie sehr selten anspringen. Aber auch die noch übrig bleibende Regenwassermenge von z. B. 15 l/s · ha Stärke, die immer noch ein Vielfaches des Schmutzwasseranfalles beträgt, würde oft entweder den geordneten Ablauf der Reinigungsvorgänge in Frage stellen oder eine nicht vertretbare Überdimensionierung der Anlage erfordern. Es ist deshalb üblich, in der Zuleitung zur Kläranlage noch einen weiteren Überlauf – er wird zur Unterscheidung von der Hochwasser-Entlastung im folgenden als Regen-Entlastung bezeichnet – anzuordnen. Da dieser häufiger anspringt und doch beträchtliche, mit Schmutzwasser vermischte Regenmengen überlaufen lässt, ist es angebracht, das Überlaufwasser erst nach grober Klärung in einem Regenbecken dem Vorfluter zu übergeben.

Die hydraulische Dimensionierung der Hauptbauwerke der Kläranlage erfolgt nach der Höhe des Anfalles bei Trockenwetter. Deshalb ist es auch sinnvoll, den maximal möglichen, durch die Regen-Entlastung regelten Zulauf zur Anlage (bei dem also eine Überbelastung der Anlage in Kauf genommen wird) als Vielfaches dieses Trockenwetteranfalles auszudrücken. Es zeigt sich aber, dass in der Praxis über die Grösse dieser «Masseinheit» einige Unklarheit herrscht, zumal der Begriff je nach Anwendung und Land seine Bedeutung wechseln kann. Es sei deshalb versucht, Bedeutung und Grösse des Trockenwetteranfalles und verwandter Begriffe etwas näher zu beleuchten.

Trockenwetteranfall und Schmutzwasseranfall bedeuten streng genommen nicht das selbe. Sind nämlich grössere Mengen an Leckwasser, Sickerwasser, Bachwasser oder unverschmutztem Kühlwasser zu erwarten, so sind diese Wässer – unter dem Namen Fremdwasser zusammengefasst – zum Schmutzwasseranfall zu addieren. Naturgemäss ist die Bestimmung des Fremdwasseranfalles sehr unsicher. Einige Zahlen für Leckwasser, das bei hohem Grundwasserstand in undichte Kanäle eindringen kann, finden sich bei *Fair & Geyer* [2]:

0,05 ... 0,2 ... 0,5 l/s pro ha Einzugsgebiet (nicht reduziert)
0,1 ... 0,8 ... 3 l/s pro km Kanal
0,5 ... 2,5 ... 5 l/s pro km Kanal und m Durchmesser

Sickerwasser aus Kellerdrainagen: 0,2 ... 2 (l) l/s · ha nach *Lautrich* [3]. Messungen in bestehenden Kanälen können Anhaltspunkte für die Schätzung des Fremdwasseranfalles geben (siehe *Hörler* [4]).

Richtigerweise ist für die Bemessung der Regen-Entlastung das Schmutzwasser allein als Einheit zu betrachten und das Fremdwasser von der Vervielfachung auszunehmen:

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Dissertation von H. Einstein eines der Mosaiksteinchen darstellt, aus denen sich nach und nach unsere Detailkenntnisse über die sehr komplizierte Materie der Böden aufbaut. Es wäre wünschenswert, dass einige der gewonnenen Erkenntnisse auch in der Praxis angewandt und die Erfahrungen darüber zentral, zum Beispiel beim Autor der Dissertation, gesammelt würden. Damit ergäbe sich eine erweiterte Erfahrung über viele für den praktisch tätigen Ingenieur wichtige Fragen.

Im übrigen ist dem Autor und seinen Betreuern zu der sauberen, wissenschaftlich durchgearbeiteten Arbeit Glück zu wünschen.

H. G. Locher, dipl. Bau-Ing., Gümligen/BE

DK 628.222

Q_{TW} Trockenwetteranfall

$Q_{max} = (1 + m) \cdot Q_S + Q_F$ Q_S Schmutzwassermenge

Q_F Fremdwassermenge

Wenn doch hie und da mit $(1 + m) \cdot Q_{TW}$ gerechnet wird, so wohl im Bestreben, etwas mehr Reserve für die sehr unsichere Annahme des Fremdwasseranfalles zu erhalten. Im folgenden soll der Einfachheit halber immer vom Fremdwasser abgesehen werden, d. h. die Begriffe Q_{TW} und Q_S werden gleichwertig gebraucht.

Um allgemein verwendbare Werte zu erhalten, wird der spezifische Trockenwetteranfall pro Einwohner q_{TW} eingeführt. Abwasser aus Industriebetrieben wird ebenfalls in Einwohner-Einheiten ausgedrückt: zu der Zahl der wirklichen Einwohner wird unter der Bezeichnung Industrie-Gleichwert I_g diejenige fiktive Anzahl Einwohner zugefügt, die wassermengenmässig den selben Anfall Q_{TW} verursachen würde. Neben Industriebetrieben sind hier auch die Pendler zu berücksichtigen, die ausserhalb der Region als Einwohner gezählt werden, sich aber tagsüber innerhalb aufhalten. In diesem Sinne liefert auch die Hotellerie Industrie-Gleichwerte¹⁾. Das Abwasser des für den Eigenbedarf der Region tätigen Gewerbes ist jedoch im häuslichen Anfall des «Normalverbrauchers» begriffen. Die in der Region wohnhaften Einwohner E ergeben mit den Industrie-Gleichwerten I_g zusammen die Einwohner-Gleichwerte E_g . Leider wird der Ausdruck Einwohner-Gleichwerte häufig im Sinne von Industrie-Gleichwerten verwendet, was oft zu Unklarheiten führt. Weiterhin gehört zu jeder Erwähnung der Gleichwerte die Angabe, auf was sich der Gleichwert bezieht. Neben dem Trockenwetteranfall wird nämlich auch der *BSB*-Anfall und der Schlammanfall der Industrie durch Gleichwerte ausgedrückt, die zahlenmässig sehr verschieden sein können. In der Einheitsbezeichnung «pro Einwohner und Tag» wird stillschweigend vorausgesetzt, dass es sich auch um Gleichwerte handeln kann.

2. Grösse des häuslichen Schmutzwasseranfalles

Vorerst sei klargestellt: der q_{TW} ist keine gemessene, sondern eine vereinbarte Grösse. Eine eindeutige Festlegung wäre angesichts der vielen möglichen Schwankungen (innerhalb eines Jahres, einer Woche, eines Tages und lokal) analog den hydrologischen Gepflogenheiten mittels der Dauerkurve möglich: x Stunden im Jahr erreicht oder überschritten. Auswertungen über Jahre hinaus sind uns aber keine bekannt, auch dürfte die Ausscheidung der Regenzeiten und vor allem die Ermittlung der angeschlossenen Einwohner Schwierigkeiten bieten. So wird in der Regel der Weg beschritten, dass zum angenommenen Jahresmittel $j_{q_{TW}}$ Zuschläge gemacht werden, um die Schwankungen zu berücksichtigen.

Für die Festsetzung des Jahresmittels $j_{q_{TW}}$ wird vielfach von den Werten der Wasserversorgungsbetriebe ausgegangen. Ein kleiner Unterschied entsteht dadurch, dass auch private Quellergüsse und Sickerwasser in die Kanäle gelangen, aber auch einiges durch Gartenspritzen usw. verloren geht. Von grösserem Einfluss ist der Umstand, dass in den Wasserversorgungs-Statistiken der Kopfverbrauch durch Teilen des gesamten Verbrauchs (inkl. Industrie) durch die Zahl der effektiven Einwohner E allein (also nicht E_g) erhalten wird. Die Ausscheidung des Industrieanteils ist nicht immer möglich. Weiterhin gehen erhebliche Mengen durch Leckverluste im Versorgungsnetz verloren. Angaben hierüber bringt *Haas* [5].

¹⁾ 1 Hotelbett = 1 I_g

1 Pendler = $\frac{1}{2} \dots \frac{1}{3} I_g$