Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 65 (1947)

Heft: 17

Artikel: Elektrokinetische Erscheinungen und ihre Anwendung in der Bodenmechanik

Autor: Schaad, W. / Haefeli, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-55865

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 24.08.2025

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

65. Jahrgang
Nachdruck von Bild oder Text nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet
Nr. 17

Elektrokinetische Erscheinungen und ihre Anwendung in der Bodenmechanik

DK 624.138.37

Von Dipl. Ing. W. SCHAAD und Ing. Dr. sc. techn. R. HAEFELI, Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der E. T. H., Zürich

3. Grundgesetze, Definitionen und Anwendungen

(Fortsetzung von Seite 217)

Die von Helmholtz-Perrin-Smoluchowski für die elektrosmotische Durchflussmenge abgeleitete Formel bezieht sich auf eine nicht leitende Kapillare (Bild 4), die unter dem hydraulischen Ueberdruck $p = \gamma_w h$ steht, und an deren Enden eine die elektrische Stromstärke I erzeugende Spannung U wirkt. Die Geschwindigkeit der durch die Kapillare fliessenden Flüssigkeit beträgt danach:

$$(1) \quad u = \frac{d^2}{32\eta}\frac{p}{l} + \zeta\frac{\varrho_w D}{4\pi\eta} j$$

welche Gleichung normalerweise im C. G. S.-System (Centimeter-Gramm-Sekunden-System, elektrostatisches Massystem) Anwendung findet. Es bedeuten:

u = mittlere Geschwindigkeit der transportierten Flüssigkeit
d = Durchmesser der Kapillare
η = Zähigkeit der Flüssigkeit
p = an der Kapillare wirkende Druckdifferenz $\gamma_w h$
γ_w = spezifisches Gewicht der Flüssigkeit bzw. des Wassers
h = Druckhöhe
l = Länge der Kapillaren
ζ = elektrokinetisches Teilchenpotential
ϱ_w = spezifischer Widerstand der Flüssigkeit
D = Dielektrizitätskonstante der Flüssigkeit
j = elektrische Stromdichte in der Kapillare

Man erkennt aus der Betrachtung der Gleichung (1) sofort, dass deren erstes Glied das von Poiseuille für eine hydraulische Druckdifferenz abgeleitete Gesetz der laminaren Fliessgeschwindigkeit u_0 einer Flüssigkeit darstellt, während das zweite Glied den vom elektrischen Strom erzeugten Geschwindigkeitsanteil u_1 bedeutet, so dass sich die beiden Anteile einfach superponieren.

$$(2) \quad u = u_0 + u_1$$

Diese Tatsache ist für die Anwendung der Elektroentwässerung sehr wesentlich, da obiges Superpositionsgesetz auch für die Durchströmung poröser Massen gültig bleibt.

Die ursprüngliche, von Helmholtz, Perrin und Smoluchowski gegebene Form des Gesetzes der Elektrosmose vernachlässigt gewisse Einflüsse, wie z. B. die Abhängigkeit des Prozesses vom Kapillarradius, die Stromleitung durch die Kapillarwandung und die gleichzeitig auftretende gewöhnliche galvanische Stromleitung, die bei diesem Prozess immer als Parallelerscheinung auftritt. Sie gibt jedoch die wesentliche Grundtatsache wieder, dass die Durchflussgeschwindigkeit proportional der Stromdichte j ist und soll deshalb der Einfachheit halber nachfolgend als Grundlage beibehalten werden. In Wirklichkeit sind die Verhältnisse der oben erwähnten Einflüsse wegen bedeutend komplizierter. Die inzwischen erfolgte genaue Ableitung des Gesetzes wird in einer besonderen Arbeit des erstgenannten Verfassers erscheinen.

Um obige Zusammenhänge auf die Durchströmung feindisperser Systeme anwenden zu können, muss der Uebergang von der mittleren Geschwindigkeit u in der Kapillare zu der auf den ganzen Querschnitt der porösen Masse bezogenen *Filtergeschwindigkeit* v_F erfolgen. Dieser Schritt ist schon deshalb notwendig, weil nur die Filtergeschwindigkeit genügend genau gemessen werden kann. Fasst man ausserdem diejenigen Grössen, die das Material charakterisieren, zu einem einzigen Faktor zusammen, so gelangt man im Wirkungsfeld der Schwerkraft von der Poiseuille'schen Gleichung zum Gesetz von Darcy, während im Aktionsfeld der elektrischen Kräfte eine ähnliche Vereinfachung durchgeführt werden kann. Die dem Gesetze von Helmholtz-Perrin-Smoluchowski entsprechende Beziehung für die laminare Filtergeschwindigkeit lautet:

$$(3) \quad \underline{v_F = v_D + v_E = kJ + k_E E}$$

worin bedeuten:

v_F = totale Filtergeschwindigkeit
v_D = Filtergeschwindigkeit nach Darcy
v_E = elektrosmotische Filtergeschwindigkeit
k = Durchlässigkeitsziffer (nach Darcy)
J = Gefälle der hydraulischen Drucklinie
k_E = elektrosmotische Durchflussziffer
E = elektrische Feldstärke

In dieser Form darf die Gleichung (3) als das erweiterte, *allgemeine Filtergesetz* angesprochen werden, das die superponierten Wirkungen der Schwerkraft einerseits und der elektromotorischen Kraft anderseits formuliert. Die Analogie zwischen den beiden Teilwirkungen kommt auch darin zum Ausdruck, dass dem hydraulischen Druckliniengefälle $J = -\frac{1}{\gamma_w}\frac{dp}{ds}$ auf der einen Seite das elektr. Potentialgefälle (elektrische Feldstärke) $E = -\frac{d\Phi_E}{ds}$ auf der andern Seite entspricht, wobei Φ_E das elektrische Potential und s die Weglänge bedeuten.

Während k diejenige Filtergeschwindigkeit bedeutet, die sich beim Gefälle $J = 1$ einstellt, *verstehen wir unter der elektrosmotischen Durchflussziffer k_E jene Filtergeschwindigkeit, die bei einer elektrischen Feldstärke $E = 1$ Volt/cm* auftritt. Im Gegensatz zur Filtergeschwindigkeit v_F bzw. zur Durchlässigkeitsziffer k, die in cm/s ausgedrückt werden, besitzt k_E die Dimension $\frac{\text{cm/s}}{\text{Volt/cm}} = \frac{\text{cm}^2}{\text{Volt}\cdot\text{s}}$, so dass man bei der Multiplikation mit E wieder die Dimension einer Geschwindigkeit erhält. Im übrigen hängt die elektrosmotische Durchflussziffer von ganz verschiedenen Eigenschaften des Lockeraggregates ab, wie z. B. von der Dielektrizitätskonstanten der Flüssigkeit und den spezifischen elektrischen Widerständen der festen und flüssigen Phase, vom Verhältnis der galvanischen zur elektrosmotischen Stromleitung, von den Porositätsverhältnissen, sowie von der Zähigkeit und der Temperatur der flüssigen Phase. Es handelt sich somit um eine in ihrem Aufbau sehr komplexe Materialeigenschaft, die man aber auf experimentellem Wege als Gesamteffekt ermitteln kann, ohne die Elementargrössen einzeln kennen zu müssen.

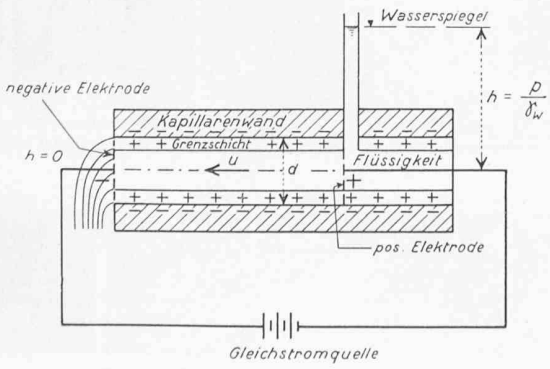
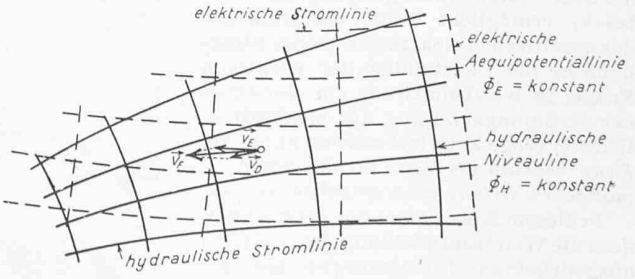


Bild 4. Schema der hydraulisch-elektrosmotischen Kapillarströmung



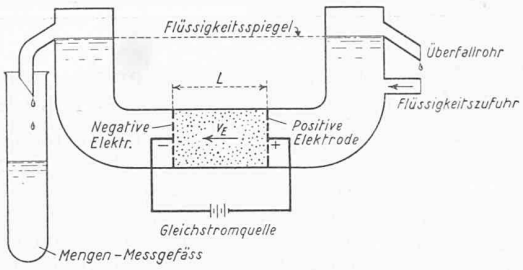
Hydraulisches Stromliniennetz: $\vec{v}_D = -k \cdot \text{grad}\ \Phi_H$

Elektrisches bzw. elektrosmotisches Stromliniennetz: $\vec{v}_E = -k_E \cdot \text{grad}\ \Phi_E$

Filtergeschwindigkeit: $\vec{v}_F = -\text{grad}\ (k\ \Phi_H + k_E\ \Phi_E)$

Bild 5. Superposition von Potentialfeldern der hydraulischen und der elektrosmotischen Filterströmung (schematisch)

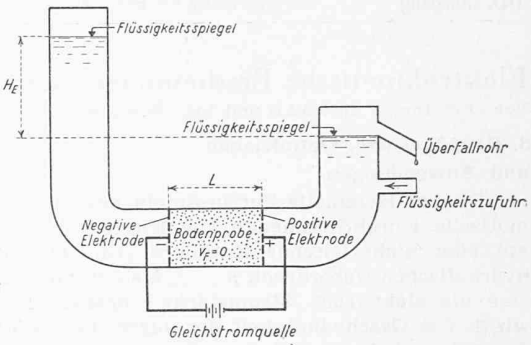
Mit Hilfe der elektrosmotischen Durchflussziffer k_E können die verschiedenen Materialien hinsichtlich ihres elektrosmotischen Verhaltens in ähnlicher Weise charakterisiert werden, wie dies an Hand der Durchlässigkeitsziffer k bezüglich der rein hydraulischen Durchlässigkeit geschieht. Sie hat jedoch den Nachteil, dass sich mit ihrer Dimension keine anschauliche mechanische Vorstellung verbinden lässt. Dies veranlasste uns, einen andern Weg zu suchen, um den elektrosmotischen Effekt eines porösen Stoffes zahlenmässig zu erfassen. Eine solche Möglichkeit besteht darin, dass man die *elektrosmotische Steighöhe* H_E bzw. die *spezifische elektrosmotische Steighöhe* h_E ermittelt. Wir verstehen unter der letzten gemäss Bild 7 diejenige Spiegeldifferenz H_E, ausgedrückt in cm, die sich zwischen den beiden Schenkeln eines U-Rohres einstellt, wenn die im horizontalen Schenkel eingebaute Materialprobe der Spannung $U = 1$ Volt ausgesetzt wird. Mit dem Erreichen dieser Steighöhe stellt sich im Wasser ein vollkommener Ruhezustand ein, der darauf beruht, dass die elektrische Spannung dem hydrostatischen Druck das Gleichgewicht hält. Setzt man, als Ausdruck dieses Gleichgewichtszustandes, in Gl. (3) die Filtergeschwindigkeit $v_F = 0$, so folgt:



$v_E = k_E \frac{U}{L}$ elektrosmotische Filtergeschwindigkeit

$Q_E = k_E \frac{F}{L} U = k_E \varrho I$ elektrosmotisch geförderte Flüssigkeitsmenge

Bild 6. Schema der elektrosmotischen Mengenmessung



Steighöhe $H_E = \frac{k_E}{k} U$

Bild 7. Schema der elektrosmotischen Steighöhenmessung

$$v_F = -kJ + k_E E = -k \frac{H_E}{L} + k_E \frac{U}{L} = 0$$

(L = Probenlänge, Bild 7)

(4) $H_E = \frac{k_E}{k} U = h_E U =$ der durch die Spannung U erzeugten elektrosmotischen Steighöhe,

worin der Faktor $h_E = \frac{k_E}{k}$ nun die *spezifische* elektrosmot. Steighöhe bedeutet und die Dimension cm/Volt aufweist. Für $U = 1$ Volt ergibt sich aus Gl. (4) die Grösse der spezifischen elektrosmotischen Steighöhe h_E zu:

(5) $H_E = h_E \cdot 1\,\text{Volt} = \frac{k_E}{k} \cdot 1\,\text{Volt}$

Die spezifische Steighöhe h_E ist somit der elektrosmotischen Durchflussziffer direkt, der hydraulischen Durchlässigkeitsziffer umgekehrt proportional. Ausgedrückt in cm/Volt ist sie zahlenmässig identisch mit dem Verhältnis der elektrosmotischen Durchflussziffer zur Durchlässigkeitsziffer. Wird anderseits ein Strömungsvorgang unter sonst gleichen Verhältnissen das erstemal hydraulisch beim Gefälle $J = 1$, das zweitemal elektrosmotisch unter der Feldstärke $E = 1 \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$ erzeugt, so erhält man beim zweiten Versuch eine $|h_E|$-mal grössere Filtergeschwindigkeit als beim ersten. In Ergänzung des Wertes k_E ermöglicht somit die Kenntnis der spezifischen elektrosmotischen Steighöhe h_E die Beurteilung der wichtigen Frage, in welchem Grade ein vorhandener Strömungsvorgang auf elektrosmotischem Wege aktiviert werden kann. *Sie kann deshalb als Mass für den elektrosmotischen Effekt angesprochen werden.*

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass die Weiterentwicklung des in Gl. (3) ausgedrückten Elementargesetzes zur Differentialgleichung der hydraulisch-elektrosmotischen Filterströmung führt:

(6) $k \Delta \Phi_H + D_B \Delta \Phi_E = -4\pi\varepsilon$ [1])

[1]) Dieser Ausdruck ist nur im C. G. S.-System gültig, während alle übrigen Gleichungen ohne besondere Bemerkung allgemeine Gültigkeit besitzen.

worin bedeuten:

k = Durchlässigkeitsziffer (Darcy)
Δ = Laplace'scher Operator
Φ_H = Hydraulisches Potential der Grundwasserströmung
D_B = Dielektrizitätskonstante des gesättigten Bodens
Φ_E = Elektrisches Potential
ε = Elektrische Ladungsdichte der Raumeinheit

Die Vektorgleichung der entsprechenden Filterströmung ergibt sich dann zu:

(7) $\vec{v}_F = \vec{v}_D + \vec{v}_E = -k \operatorname{grad} \Phi_H - k_E \operatorname{grad} \Phi_E$
$= -\operatorname{grad}(k \Phi_H + k_E \Phi_E)$

Beachtet man hierin, dass $-\operatorname{grad} \Phi_H$ dem hydraulischen Druckliniengefälle J, $-\operatorname{grad} \Phi_E$ der elektrischen Feldstärke E entspricht, so ist der Ausdruck 7 mit Gl. (3) identisch.

Schliesslich wird die in einem elektrischen Feld elektrosmotisch transportierte Flüssigkeitsmenge Q_E

(8) $Q_E = k_E \varrho I$

worin ϱ den spezifischen Widerstand des gesättigten Bodenmaterials, I die Stromstärke bedeuten.

Als Beispiel einer Anwendung seien ergänzend approximative Berechnungsgrundlagen für Filterbrunnensysteme angegeben. Infolge der Inhomogenität der Böden gestatten auch theoretisch genaue Ausdrücke, ähnlich wie bei der Berechnung normaler Filterbrunnen, nur die Abschätzung der Grössenordnung, die durch stark vereinfachte Ausdrücke ebenfalls erreicht werden kann. Für den einfachen Filterbrunnen mit zwei Elektroden wurde nur der annähernd ebene Bereich des Strömungsfeldes bis Unterkant der Elektroden berücksichtigt (Bild 1), während der unterhalb der Elektroden befindliche Feldbereich vernachlässigt wurde. Auch die an den Elektroden auftretenden Uebergangswiderstände wurden nicht in Rechnung gesetzt. Aus der Anwendung von Gl. (4 bis 8) ergeben sich unter Weglassung der Glieder kleinerer Ordnung für den Filterbrunnen (Bild 1) die gesuchten Grössen:

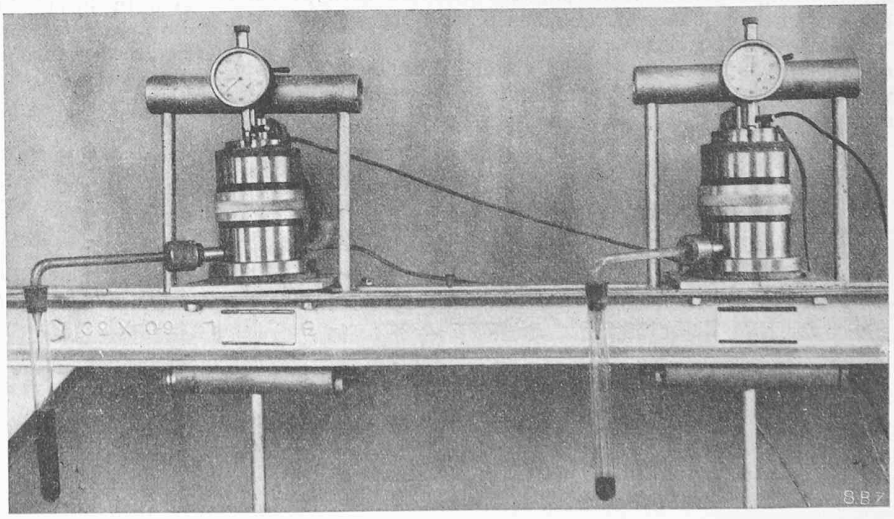


Bild 8. Für Mengenmessung umgebaute normale Oedometer. Phot. E. Brügger
Links Abflussmenge mit, rechts ohne Stromeinwirkung bei gleichem hydraul. Gefälle

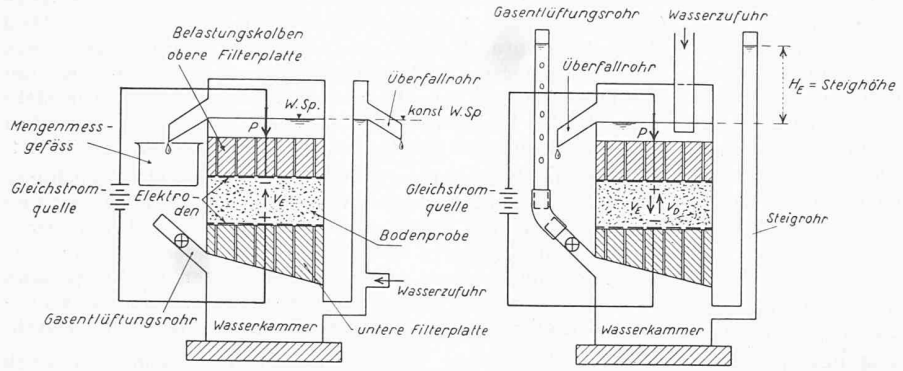


Bild 10a. Oedometeranordnung für Mengenmessung

Bild 10b. Oedometeranordnung für Steighöhenmessung

Bild 10. Schema des Elektro-Oedometers

Elektrischer Widerstand

$$(9) \quad R \sim \frac{\varrho}{\pi t} \ln\left(\frac{s}{r}\right) \qquad \text{(Ohm)}$$

Stromstärke

$$(10) \quad I = \frac{U}{R} \sim \frac{\pi U t}{\varrho} \frac{1}{\ln\left(\frac{s}{r}\right)} \qquad \text{(Amp.)}$$

Leistung

$$(11) \quad N = U I \sim \frac{\pi U^2 t}{\varrho} \frac{1}{\ln\left(\frac{s}{r}\right)} \qquad \text{(Watt)}$$

Elektrosmotische Fördermenge

$$(12) \quad Q = k_E \varrho I \sim k_E \pi U t \frac{1}{\ln\left(\frac{s}{r}\right)} \qquad (\text{cm}^3/\text{s})$$

Darin bedeuten (vgl. auch Bild 1)

ϱ = spezifischer Widerstand des gesättigten Bodenmaterials
t = im Grundwasser befindliche Elektrodenlänge
s = Elektrodenabstand
r = Elektrodenradius
U = Spannung

Zur Berechnung eines mit mehr als zwei Elektroden betriebenen Filterbrunnens kann als grobe Näherung das Kirchhoff'sche Stromverteilungsgesetz angewendet werden. Für die Kombination einer Brunnenelektrode mit zwei Hilfselektroden ergibt sich bei gleichem Abstand der letzten vom Brunnen der elektrische Widerstand zu:

$$(13) \quad R \sim \frac{\varrho}{2\pi t} \ln\left(\frac{s}{r}\right)$$

während sich die übrigen Ausdrücke analog Gl. (9 bis 12) berechnen lassen.

Im allgemeinen Fall einer elektrosmotisch aktivierten Sickerbewegung können für die Strömung im Schwerefeld und im elektrischen Feld ganz verschiedene Randbedingungen vorliegen. Die Geschwindigkeitsvektoren der beiden Teilbewegungen sind in diesem Falle verschieden gerichtet (Bild 5). Dem Schwerefeld mit seinen besondern Randbedingungen überlagert sich ein elektrisches Feld mit andern Grenzflächen. Wesentlich ist, dass *beide Felder ein Geschwindigkeitspotential* besitzen, so dass die Berechnung des Strömungsvorganges nach den Regeln der Potentialtheorie [42, 43, 44] unter Benützung eventuell bereits vorhandener Lösungen für beide Feldwirkungen getrennt durchgeführt werden kann. Sind in irgend einem Punkte des durchströmten Systems die beiden Geschwindigkeitsvektoren infolge Schwerkraft einerseits und der elektrischen Kraft anderseits bekannt, so erhält man die resultierende Geschwindigkeit durch geometrische Addition der Einzelvektoren (Bild 5). Da ferner beide Teilbewegungen wirbelfrei sind, so ist auch die resultierende Sickerströmung wirbelfrei und erfolgt bei gegebenen Grenzflächen so, dass die Reibungsarbeit zu einem Minimum wird, wie dies von Lord Kelvin für die Grundwasserbewegung bewiesen wurde [45].

4. Versuche

Das Ziel der vorliegenden Versuche besteht einerseits darin, die Gültigkeit des allgemeinen Filtergesetzes Gl. (3) für feindisperse Lockeraggregate nachzuweisen und anderseits diejenigen Methoden ausfindig zu machen, durch die die elektrosmotische Durchflussziffer k_E und die spezifische elektrosmotische Steighöhe h_E für ein gegebenes Material in einfachster Weise gemessen werden können. Unter Verwendung

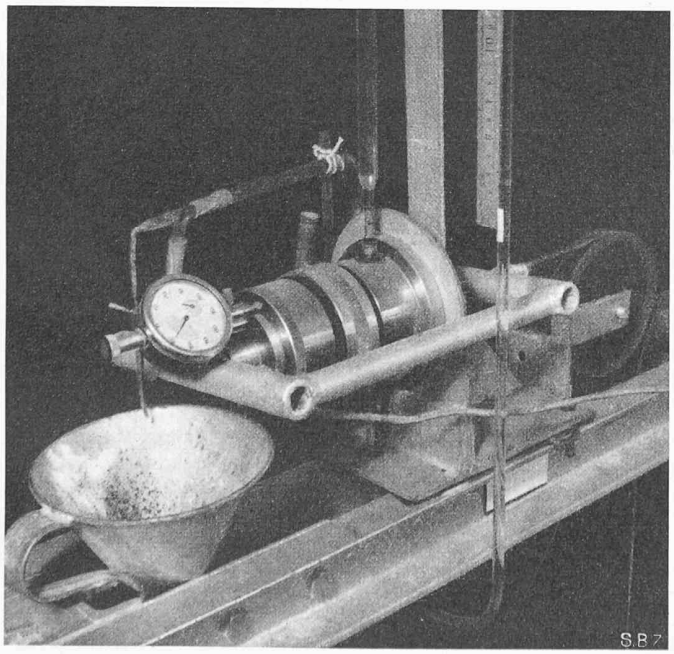


Bild 9. Für Steighöhenversuche umgebautes normales Oedometer mit Steigrohr (rechts) und kommunizierendem Gasentlüftungsrohr (links)

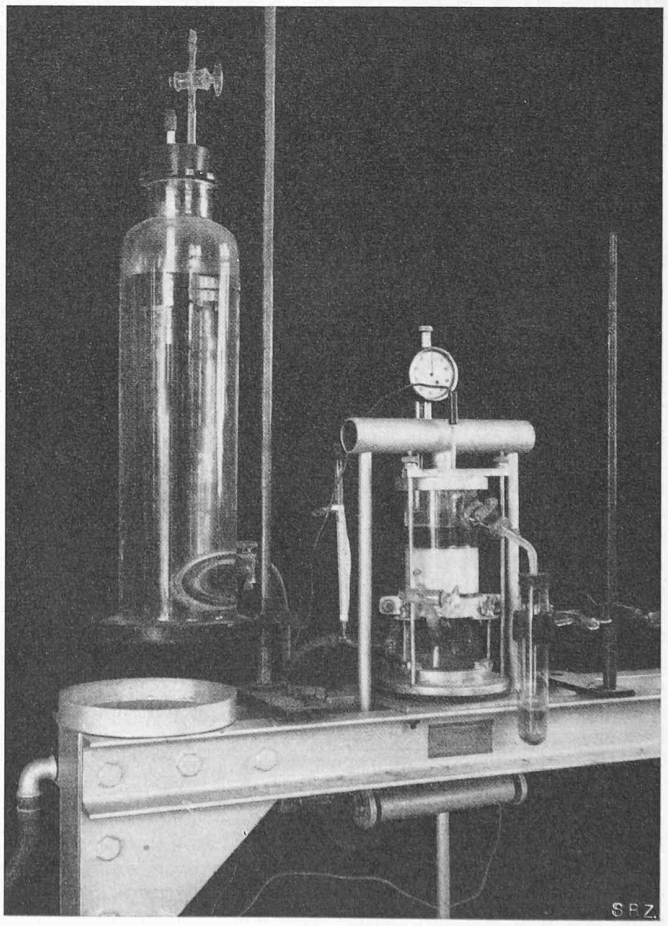


Bild 11. Installation des Elektro-Oedometers

von zylindrischen Materialproben müssen somit die zu entwickelnden Versuchsapparaturen grundsätzlich die Möglichkeit bieten, dass die Probe erstens unter der alleinigen Wirkung der Schwere, zweitens unter der ausschliesslichen Wirkung eines elektrischen Feldes und drittens unter der kombinierten Wirkung beider Felder durchflossen wird (vgl. Abschnitt 4c). Anderseits kann die Ermittlung der beiden Kennziffern entweder dadurch erfolgen, dass man für eine gegebene elektrische Spannung die geförderte Sickermenge misst (Mengenmessung), oder die zugehörige Steighöhe bestimmt (Steighöhenmessung).

a) Mengenmessung (Bild 6)

Nachdem durch die besondere Versuchsanordnung die hydrostatische Druckdifferenz zwischen den beiden Probeenden ausgeschaltet ist ($J = 0$), erfolgt die Mengenmessung zur Ermittlung von k_E in Analogie zur Bestimmung von k auf Grund der Beziehung (vgl. Gl. (3)):

(14) $v_E = k_E E$ für $J = 0$

Da hier die Randbedingungen so gewählt werden, dass eine einaxiale Durchströmung der zylindrischen Probe entsteht, so ist die elektrische Feldstärke $E = -\frac{d\Phi_E}{ds} = \frac{U}{L}$ auf die ganze Probelänge konstant. Man erhält demnach:

$$(15) \quad \underline{k_E = v_E \frac{L}{U}} \quad \begin{cases} v_E = \frac{Q_E}{F} \\ U = R\,I \end{cases}$$

worin bedeuten:

v_E = gemessene elektrosmotische Filtergeschwindigkeit
Q_E = gemessene elektrosmotisch geförderte Wassermenge
L = Probelänge
F = Probequerschnitt
U = angelegte Spannung
I = Stromstärke
R = elektrischer Widerstand der Probe

b) Steighöhenmessung (Bild 7)

Der kapillaren, durch die Oberflächenspannung des Wassers bedingten Steighöhe H [46] steht die elektrosmotische Steighöhe H_E gegenüber, die sich nach der in Bild 7 schematisch angedeuteten Anordnung, sowie den in Abschnitt 3 enthaltenen theoretischen Ansätzen relativ einfach ermitteln lässt. Bei gleichzeitiger Kenntnis der Durchlässigkeitsziffer k kann nach Gl. (4, 5) auch die elektrosmotische Durchflussziffer aus der Steighöhe H_E bzw. der spezifischen Steighöhe h_E berechnet werden.

c) Versuchsapparaturen und erste Ergebnisse

Um die elektrosmotischen Probleme auf erdbaumechanischer Grundlage studieren zu können, wurden vorerst behelfsmässig normale Oedometer des Erdbaulaboratoriums so umgebaut (Bilder 8 und 9), dass erste Orientierungsversuche durchgeführt werden konnten. Im Verlauf der Untersuchungen erfolgte 1943 der Entwurf einer speziell für diesen Zweck geeigneten Apparatur, des Elektroödometers, dessen Schema in Bild 10 und Ausführung in Bild 11 wiedergegeben sind. Um den Prozess beobachten zu können, erfolgte die Herstellung des äusseren Zylindermantels aus Glas.

Die Probe ist zwischen einer untern Filterplatte und einem Kolben eingeschlossen, der zugleich als Filterplatte dient. Beide Platten bestehen aus einem gegenüber chemischen Prozessen sehr widerstandsfähigen und nicht quellenden Kunstharz der Micafil A.-G., Zürich. Als Elektroden wurden gelochte Platinfolien gewählt, um eine Korrosion derselben durch die beim Versuch als Nebenerscheinung immer auftretenden elektrolytischen Prozesse zu vermeiden. Diese würden auf das Ergebnis störend einwirken. Die Apparatenteile wurden durch die Glasbläserei A. Dumas, Zürich, und die feinmechanische Werkstätte S. Krieg, Zürich, angefertigt. Das Elektroödometer kann sowohl für Mengenmessungen als auch Steighöhenversuche verwendet werden.

Für die *Mengenmessung* wird der Wasserspiegel im Oedometer gleich hoch gehalten wie im Zuleitungs- bzw. Ueberfallrohr, um hydraulischen Ueberdruck zu eliminieren (Bild 10a). Um die allfälligen, durch Elektrolyse entstehenden Gase abzuführen, wurde die untere Filterplatte schief abgeschnitten und ein mit Hahn versehenes Gasentlüftungsrohr angebracht, das entweder periodisch geöffnet oder mit einem Steigrohr versehen werden kann. Mit dem letzten ist eine kontinuierliche Abscheidung der Gase möglich. Bei starker Ansäuerung bzw. Anreicherung basischer Stoffe kann mittels dieser Einrichtung auch eine ständige Spülung der untern Wasserkammer mit Frischwasser vorgenommen werden, um eine störende Elektrolytkonzentration zu verhüten. Die elektrosmotische Durchflussrichtung wird von unten nach oben gewählt und die Pole werden entsprechend Bild 10a geschaltet.

Für die *Steighöhenmessung* kann die gleiche Anordnung getroffen werden, indem der Wasserzufluss unterbunden und das Absinken des Wasserspiegels im Ueberfallrohr beobachtet wird (negative Steighöhe). Aus der Messung der Wassergeschwindigkeit in einem bestimmten Punkt ist dann die elektrosmotische Steighöhe berechenbar. Anderseits können die Elektroden umgepolt werden, um damit die Durchflussrichtung $\overrightarrow{v_E}$ des Wassers umzukehren (von oben nach unten). Das Wasserzuführungsrohr wird dann durch ein genügend hohes, geeichtes Steigrohr ersetzt und am Entlüftungsrohr ebenfalls ein solches Steigrohr angebracht, um die Gasblasen ohne Wasserverluste entweichen zu lassen (Bild 10b). Auch hier ist aus einer Steiggeschwindigkeitsmessung die Endhöhe berechenbar. (Schluss folgt)

Wohnhäuser aus Stahl

DK 728.3 : 669.14

«L'Ossature Metallique», die Monatsschrift der Informationszentrale belgisch-luxemburgischer Stahlinteressenten, widmet ihr Doppelheft Mai-Juni 1946 dem Problem der Fertigbauweise. Den Anlass dazu bildete die belgische Wiederaufbauausstellung, die auf Initiative des Institut National de Logement et de l'Habitation INALA[1]) in Brüssel durchgeführt worden ist. Da das Heft ausschliesslich die vorfabrizierten Metallhäuser herausgreift, empfehlen wir es jedem zum Studium, der sich erstmalig über dieses Spezialgebiet informieren möchte. Während in der Schweiz die Wohnungsfrage gerne in grössere Zusammenhänge hineingestellt wird, liegt hier eine technische Detailstudie ohne Verbindung mit aktuellen Siedlungsfragen vor.

Bei drei erdgeschossigen Wohnpavillons sind die Wände, analog dem Tafelbausystem bei den Holzbaracken, als selbsttragende Felder ausgebildet. Man geht sogar soweit, die mit Glaswatte ausgestopften Blechkammern ohne Rahmen einfach aneinanderzureihen. In der vorliegenden Darstellung ist nicht ersichtlich, welche Massnahmen für eine zwangläufige Lüftung, sowie gegen die Feuchtigkeitswanderung mit dem Temperaturgefälle getroffen worden sind, obwohl das die wichtigsten Fragen bei Anwendung undurchlässiger Aussenwände sind. Im übrigen wirken diese Häuser in ihrer ganzen Konzeption recht primitiv. Dies gilt hauptsächlich von zwei Systemen, die als «Arbeiterwohnungen» bezeichnet werden. Diese Unterkünfte sind denn auch nicht für Ausstellungszwecke, sondern «nur» zur Befriedigung der dringlichen Bedürfnisse entwickelt worden. Konstruktiv interessieren sie wegen reichlicher Verwendung zusammengesetzter, leichter Gitterträger und gelochter Blechträger anstelle der bei uns üblichen einfachen Walzprofile. Alle erwähnten Konstruktionen stammen von privaten Firmen und sind teilweise auf Grund von staatlichen Bestellungen entworfen worden.

Der Wiederaufbautyp für Coventry ist vom Stadtarchitekten D. E. E. Gibson, Direktor des Wohnungsamtes, auf Veranlassung der dortigen Kommission für das Wohnungswesen entwickelt worden. Die Vorstudien erstreckten sich über drei Jahre und umfassten die systematische Bearbeitung der gestellten Aufgaben in Gemeinschaft mit den interessierten Kreisen und dem breiten Publikum. Der fertige Typus, von weitgehend genormten Abmessungen, ist bemerkenswert sowohl in der Planung, der Ausstattung, der Konstruktion wie auch in der formalen Erscheinung.

Die staatliche Förderung neuer Baumethoden wird vom Sekretär des INALA, J. Paquay, an Beispielen aus Frankreich, Holland, Grossbritannien und Belgien gezeigt. Die allgemeine Wohnungsnot, selbst ohne die Zerstörungen durch den Krieg, zwingt zu rascher Beschaffung sehr vieler Wohnungen. Jede Einsparung durch Rationalisierung ergibt somit bedeutende Beträge, und jede geringfügige Verfeinerung in der Wohnungsausstattung kommt vielen Bewohnern zugute. Beides erhofft man mit der Fertigbauweise zu erreichen. Wohl erfordert das Studium bedeutende Mittel; doch sollen dadurch

[1]) Siehe SBZ Bd. 128, S. 12 und 90 (1946).