

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 65 (1947)
Heft: 16

Artikel: Elektrokinetische Erscheinungen und ihre Anwendung in der Bodenmechanik
Autor: Schaad, W. / Haefeli, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-55864>

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: 03.04.2025

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

schiedener Metalle auftretenden Korrosionserscheinungen führt [17]. Dass es sich bei diesen Vorgängen um beträchtliche Potentialdifferenzen handelt, zeigt Tabelle 1, in der die auf Wasserstoff bezogenen, sog. Normalpotentiale einiger Metalle angeführt sind. Die weniger edlen Metalle haben beim Zutritt von Elektrolyten gegenüber den edlern ein höheres Lösungsbestreben. Beim Zusammentreten zweier verschiedener Metalle unter gleichzeitigem Vorkommen eines Elektrolyten löst sich das Metall mit niedrigerem Potential auf.

Das analoge Phänomen tritt nun auch bei der Berührung zweier verschiedener Nichtmetalle auf. Bei der Berührung von Wasser mit einem andern Material, in unserem Falle mit dem Boden, entsteht ebenfalls an der sog. Grenzschicht ein Potentialsprung, der in der physikalischen Chemie als elektrokinetisches Teilchenpotential ζ bezeichnet wird. Dabei lädt sich der Stoff mit der höhern Dielektrizitätskonstanten D positiv gegenüber dem Stoff mit der niedrigeren Dielektrizitätskonstanten auf [18]. Da Wasser im Gegensatz zu vielen anderen Stoffen eine ziemlich hohe Dielektrizitätskonstante von rd. 80 besitzt, lädt es sich gegenüber dem Bodenmaterial meistens positiv auf. Betrachtet man nun die Verhältnisse an einer idealisierten Kapillare (Bild 3), so entsteht an der sehr dünnen «Grenzschicht» — unter der in der Kapillarphysik im Gegensatz zum Begriff «Grenzschicht»

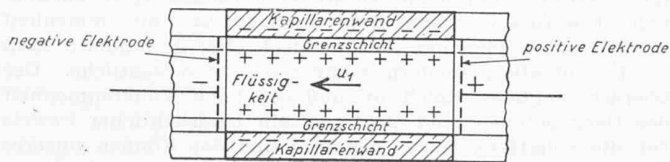


Bild 3. Entstehung des Potentialsprungs und der Flüssigkeitswanderung in einer Kapillare

der Hydraulik die Kontaktzone zwischen Flüssigkeit und Festmaterial verstanden wird — zwischen der in der Kapillare befindlichen Flüssigkeit und dem Wandmaterial eine doppelte Belegung von elektrischen Ladungen, die ähnlich wie ein Kondensator wirkt und das schon erwähnte Berührungsbzw. das elektrokinetische Teilchenpotential ζ hervorruft.

Wird nun weiter an den Enden der Kapillaren mittels Elektroden eine elektrische Spannung angelegt, so werden beispielsweise im Wasser befindliche positive Grenzschichtladungen durch das zwischen den Elektroden entstehende elektrische Feld von der positiven zur negativen Elektrode getrieben. Dadurch entsteht unter dem Einfluss der Elektrizität die in feinen Kapillaren auftretende Wanderung von Wasserteilchen, die als *Elektromose* bezeichnet wird. Die frisch in die Kapillare eintretenden Wassermoleküle laden sich in Wandnähe immer wieder auf, wodurch ein kontinuierlicher Wassertransport stattfindet. Ein solcher Elementarprozess vollzieht sich auch bei von Poren durchsetzten Massen und kann deshalb bei relativ feinkörnigen Lockergesteinen zur Elektroentwässerung angewendet werden (Bild 1). Diese Art des Transportes ist scharf zu unterscheiden vom Transport der Ionen in Elektrolyten, der unter dem Einfluss des elektrischen Stromes ebenfalls auftritt und bei feinen Diaphragmen in Verbindung mit der Elektromose stattfindet.

Eng verwandt mit dem Phänomen der Elektromose ist auch die *Elektrokataphorese*, als welche die unter dem elektrischen Stromeinfluss einsetzende Wanderung von in Flüssigkeiten suspendierten Teilchen bezeichnet wird. Eine andere verwandte Erscheinung, die *Elektrodialyse*, bei der die Wanderung von Elektrolyten durch nicht kolloiddurchlässige Membranen erfolgt, dient zur Trennung der Mischungen von Elektrolyten und Kolloiden. Ein weiteres Gebiet dieser Erscheinungen sind die der Elektromose und der Kataphorese inversen Phänomene, die sog. «*Strömungsströme*» (durch hydraulische Kapillarströmung erzeugte elektrische Ströme). Wird Wasser durch ein von feinen Poren durchsetztes Diaphragma gepresst, so entsteht durch die damit verbundene Wanderung der an der Grenzschicht vom Berührungspotential geladenen Flüssigkeitsteilchen ein elektrischer Strom und damit auch ein elektrisches Feld. Ebenfalls entstehen beim Transport der in einer Flüssigkeit suspendierten Teilchen solche Strömungspotentiale. Alle diese vorerwähnten Phänomene werden unter dem Sammelbegriff «*elektrokinetische Erscheinungen*» zusammengefasst.

Vielleicht ist in den durch die letzterwähnten Strömungsströme erzeugten elektrischen Feldern die Erklärung des umstrittenen *Wünschelrutenproblems* zu suchen [19]. Es ist denkbar, dass das Nervensystem empfindlicher Menschen auf solche Felder geringer Intensität reagiert, ähnlich wie sensible Naturen bei Föhn auf bis jetzt mit physikalischen Mitteln nicht nachweisbare Einflüsse ansprechen. Die durch Strömungsströme entstehenden Felder würden auch erklären, warum die Wünschelrutenreize bei offen und in Leitungen fließendem Wasser nicht entstehen. Denn die Strömungsströme und ihre Felder werden nur beim Fließen von Wasser bzw. Flüssigkeiten durch fein-poröse Massen erzeugt, während bei zusammenhängenden Wassermassen infolge des Fehlens zahlreicher Flächen mit Berührungspotentialen keine derartigen Erscheinungen auftreten können.

Historisch betrachtet führt die Entdeckung der Elektromose in den Anfang des 19. Jahrhunderts zurück. Illig und Schönfeldt geben in einer ihrer Arbeiten einen kurzen Abriss über die Entdeckung und Entwicklung der Elektromose [20]. Danach wurde dieses Phänomen im Jahre 1807 von Reuss beobachtet, der es aber noch nicht zu erklären vermochte [21]. An die Entdeckung schliessen sich die Forschungen vieler bekannter Physiker und Chemiker, die sich eingehend mit dem Problem befassten. So stellte z. B. Wiedemann [22] die sog. Wiedemann'sche Zahl auf, aus der Erkenntnis, dass die elektromotisch durch ein poröses Diaphragma transportierte Flüssigkeitsmenge proportional der elektrischen Stromstärke ist. Die erwähnte Zahl bedeutet das Verhältnis der übergeführten Flüssigkeitsmenge zur Stromstärke. Darauf folgten zahlreiche Untersuchungen berühmter Forscher wie Hittorf [23], Quincke [24], Freund [25], Saxén [26], Perrin [27], Cruse [28], Gyemant [29, 30] und andere. Im Nachruf Quinckes († 1924) erwähnt Kalähne [31], dass die Entdeckung und ersten Versuche der elektrokinetischen Erscheinungen in den Physikerkreisen das ähnliche Aufsehen erregten, wie später die Entdeckung der Becquerelstrahlung, die dann zur Isolierung des Radiums durch das Ehepaar Curie führte.

Der Versuch, das Phänomen mathematisch-physikalisch zu formulieren, wurde erstmals von Helmholtz [32, 33] unternommen, dem es gelang, die Erscheinung auf Grund der Betrachtung der elektrischen Kräfte in ihrem Wesen zu erfassen. Eine kleine, von ihm begangene Unterlassung, die Berücksichtigung der Dielektrizitätskonstanten, wurde später zuerst von Perrin [27], dann von Smoluchowski [34] berichtigt. Dem letztgenannten ist auch eine weitere Entwicklung der Theorie und ihre kritische Beleuchtung zu verdanken. Lamb [35] stellte nach Helmholtz eine etwas abweichende Theorie auf, die aber im wesentlichen zum ähnlichen Resultat führte wie die Theorie von Helmholtz-Perrin-Smoluchowski. Später wurde die letzte, obwohl über die Einzelheiten der verschiedenen Auffassungen noch keine Klärung erfolgt war, von den Forschern, wie z. B. Freundlich [36], übernommen, während sich die Lamb'sche Auffassung nicht durchsetzte. Die modifizierte Helmholtz'sche Theorie wird heute noch als massgebend betrachtet [37], trotzdem die strittigen Punkte zwischen den frühern Forschern weiter bestehen. Es ist jedoch zu erwähnen, dass diese verschiedenen Ansichten für die praktische Anwendung in der physikalischen Chemie keine Nachteile mit sich brachten und wohl auch deshalb nicht weiter verfolgt wurden.

Im verwandten Gebiet der Kataphorese entwickelten Debye und Hückel [38, 39] auf Grund physikalischer Betrachtungen die Gesetze für die elektrokataphoretische Fortführungsgeschwindigkeit suspendierter Teilchen, die in ihren Grundzügen schon früher von Smoluchowski [34] aufgestellt worden waren.

Die bisher beschriebenen elektrokinetischen Effekte wurden hauptsächlich in der physikalischen Chemie zur Trennung vermischter Phasen verwendet, unter anderem auch zur Trocknung von Torf; in der Medizin und Physiologie [40] zur Einführung von Medikamenten in die Kanäle der Gewebe, z. B. in die Haut und Zahnwurzeln, um nur einige Anwendungsgebiete zu nennen. In Deutschland entwickelten sich für die Anwendung der elektrokinetischen Erscheinungen gewisse Industrien, wie die von Graf Schwerin gegründete Elektromose G. m. b. H. Es bestehen zahlreiche Patente der Anwendungen, die zu einem grossen Teil in einer von Prausnitz und Reitstötter [41] verfassten Arbeit besprochen sind.

(Fortsetzung folgt)

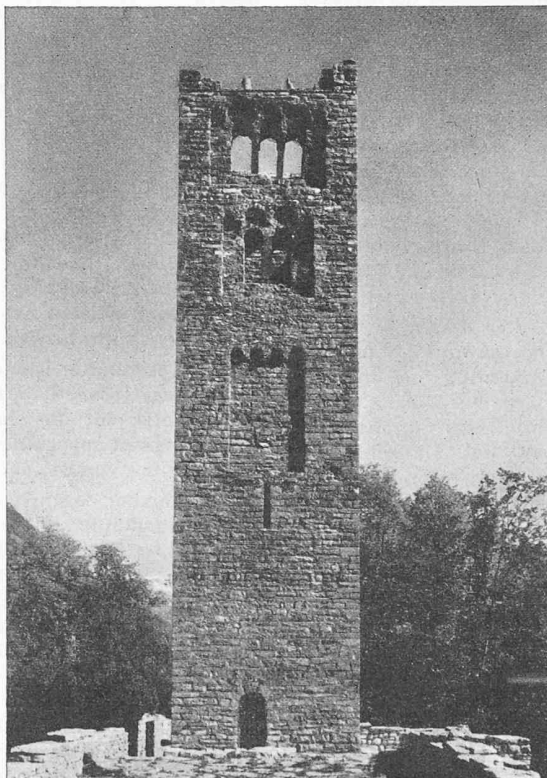
MITTEILUNGEN

Das Trockendock in Kapstadt, von Oktober 1943 bis April 1945 im Rahmen des grosszügigen Ausbaues dieses Hafens ausgeführt, ist heute seinem Inhalt nach das grösste Trockendock der Erde. Bei einer Nutzlänge von 360 m, einer Randbreite von 45 m, einer Drempttiefe von 12,2 m unter N. W. (H. W. liegt 1,3 m höher) können die grössten bestehenden Schiffe gedockt werden. Der Dockrand liegt 2,15 m über H. W., womit die Dockwände 15,85 m Höhe über Sohle benötigen. Der Abschluss erfolgt mittels Schiebetor von 1750 t Gewicht in 10 Minuten. Ein Schwimmtor, 1900 t, kann als Notabschluss diesem Tor vorgelegt werden; je 35 m beidseitig der Dockmitte sind weitere Anschläge für dieses Schwimmtor angeordnet, so dass die trockengelegte Docklänge der Schiffslänge angepasst werden kann und der vordere Dockteil für rasche Reparaturen freibleibt. Die äusseren Toranschlüsse sind in Granit verkleidet, der mit 0,8 mm Toleranz abgeschliffen ist. Auf dem ganzen Umfang des Toranschlages weicht der Granit höchstens 6 mm vom Sollmass ab. Die Anschläge in Dockmitte sind in Beton mit 6 mm Steinschlag ausgeführt, der auf die selbe Genauigkeit geschliffen ist. Die Anschlagleisten der Tore sind aus Grünholz mit eingelegten Gummistreifen. Der Dockboden ist für eine Auflast von 500 t/m vorgesehen; die Schiffe werden auf gusseiserne Kielböcke gelagert. Die Füllkanäle (Umläufe) haben 2,7 m \varnothing und die Pumpstation besitzt zur Entleerung (in $4\frac{1}{2}$ Stunden) drei Pumpen von 1,5 m Saugrohr- \varnothing , 273 U/min, mit je 1200 PS-Elektromotor, sowie zur Trockenhaltung zwei Pumpen von 45 cm. Durch die Umläufe wird das Dock in 95 min gefüllt. Es ist in «De Ingenieur» vom 6. Dez. 1946 beschrieben, ebenso seine Ausführung. Die Baugrube wurde umschlossen durch eine 1460 m lange, in den Fels gerammte, eiserne Spundwand von 11 bis 18 m Bohlenlänge, nachdem sie durch Schwimmbagger vorläufig ausgehoben worden war. Nach Auspumpen mittels schwimmender Anlage (zwei 40 cm-Pumpen) wurden mit vier 600 l-Baggern 160 000 m³ Fels ausgehoben, und zwar in zwei Arbeits-Schichten zu 9 Stunden bei 1000 m³ Schichtenleistung in festem Fels (mit 12—18 Druckluftbohrmaschinen). Zur Trockenhaltung der Baugrube dienten zwei Pumpstationen mit je zwei 20 cm-Pumpen; normalerweise stand nur eine Station in Betrieb. Lokalen Trockenlegungen dienten Druckluft-Pumpen 75 mm \varnothing . Die grösste Bautiefe betrug 22,6 m unter N. W. Die Mischanlage umfasste drei Mischer von 1,6 m³ und einen zu 0,8 m³; ein fünfter war getrennt aufgestellt für die Lieferung von Feinbeton, womit die Sichtflächen 23 cm stark verkleidet wurden, während man den Grobbeton dahinter einbrachte. Hinter der Hauptmischanlage standen 100 t-Zementsilos, zu deren Füllung Druckluftpumpen dienten. Zement und Wasser wurden automatisch abgemessen, Sand und Kies in den ab Lager anrollenden Kippwagen. Korngrösse für Massenbeton: Boden und Wände 7,5–10 cm, Vorderseite der Wände 3,8 cm, Eisenbeton 1,9 cm. Mischung des Massenbetons 1 : 2 : 5, Slump 1–2" auf 12". Aller Beton wurde vibriert. Ab Mischer kam der Beton in zylindrische Kübel von 1,6 m³, die mit 5 t-Lastautos zu den 4 t-Kranen gefahren wurden. Die 260 000 m³ Beton wurden nur tags eingebracht mit mittleren Schichtleistungen von 1200 bis 1400 m³. Für die Dockwände und -Kanäle wurden eiserne Schalungen verwendet (17malige Verwendung erzielt), im übrigen normalisierte hölzerne Schalungen, mit galvanisiertem Blech verkleidet (5malige Verwendung); alle Schalungen wurden vor der Betonierung geölt und mit sechs leichten, druckluftgetriebenen 1 t-Kranen von

6 m Ausladung versetzt. Alle 11 m wurden die Wände durch bitumengefüllte Fugen unterteilt. Grosse Sorgfalt hat man dem in die Felsoberfläche verlegten Drainage-Netz von 9 m Maschenweite aus glasierten Tonröhren 15 cm \varnothing in Steinpackung gewidmet, um einen Auftrieb auf die Sohle des geleerten Dockes auszuschliessen. Die Bauzeit von 18 Monaten von Beginn Aushub bis Unterwassersetzen stellt angesichts der Kriegs-Erschwernisse eine hervorragende Leistung dar. Baukosten: Aushub und Beton 825 000 £; Gesamtkosten des ausgerüsteten Docks 3 510 000 £.

Schweizer Mustermesse 1947. Die neuen Bauten, über die wir in der letzten Nummer (S. 191*) orientierten, ermöglichen, das Bild der grossen Basler Schau noch besser herauszuarbeiten. Mengenmässig mehr als verdoppelt haben sich Spielwarenmesse und Sportabteilung; sie sind nun im Rosenthalhaus untergebracht. Besonders eindrucksvoll ist die Schau im neuen Gebäude IIIB, wo ein ganzes Stockwerk der Gruppe Textilien und Leder zusätzlich zum bisherigen Raum in den Hallen II und IIB zugeteilt worden ist. In den andern Stockwerken des Neubaus findet man Kleininstrumente, Photo- und Optik, medizinische Technik, Zeitkontrolle und Radiotechnik. Die meisten andern Gruppen, die man fast durchwegs an ihrem gewohnten Ort wiederfindet, sind nach Branchen schärfer unterteilt und im Raumbedarf mehr konzentriert worden, um mehr Aussteller berücksichtigen zu können. Die an sich schon erstaunlich grosse Vollkommenheit der letztjährigen Schau hat dadurch eher gewonnen: Man zeigt nicht alles, sondern mehr nur das Wesentliche. Der überschwengliche Reichtum und die hohe Vollkommenheit des Dargebotenen sind nicht nur ein eindrücklicher Beweis für die Schaffensfreude, den Mut und das Können unseres kleinen Volkes; man spürt, dass es sich nicht mehr nur um eine Messe für die Schweiz, sondern ebenso sehr um eine solche für Europa handelt, mit dem unser Land in so vielfacher Beziehung aufs engste verbunden ist: Mit diesem unglücklichen, zwischen zwei Weltmächten eingeklemmten Europa müssen und wollen wir die Anstrengungen für den materiellen und kulturellen Wiederaufbau teilen, so dass Europa nicht nur die Hilfe und den Schutz der Mächtigen annehmen muss, sondern dass die Mächtigen ebenso sehr auf dem alten Kontinent jene geistigen Kräfte wieder finden, die sie von jeher von hier bezogen hatten.

Die Ruinen der ehemaligen Pfarrkirche St. Peter in Goldswil, deren Sprengel bis 1471 Ringgenberg, Unterseen und Habkern umfasst hatte, und die 1671 wegen Baufälligkeit aufgegeben werden musste, sind 1944/45 aus Mitteln des Uferschutzverbandes Thuner- und Brienersee gesichert worden. Wie die «Zeitschrift für Schweiz. Archäologie und Kunstgeschichte» 1946, Heft 1¹⁾ berichtet, ist die Dringlichkeit dieses Unternehmens anlässlich der Aufnahmen für die Berner Kunstdenkmäler-Inventarisierung durch Dr. P. Hofer festgestellt worden. Prof. Dr. H. R. Hahnloser (Bern) hat den Verband dafür gewonnen und die Arbeit in archäologischer Beziehung geleitet. Die Grundmauern des 20 \times 7 m messenden Kirchenschiffes wurden ganz abgetragen und nach sorgfältiger, aber wenig ergiebiger Untersuchung des Baugrundes rekonstruiert. Das Mauerwerk des Turmes, dessen obere Geschosse einzustürzen drohten, wurde konsolidiert; aus den im 17. oder 18. Jahrhundert errichteten Giebeln wurden zahlreiche romanische Spolien — Säulen, Kapitelle, Keilsteine, Skulpturen — zurückgewonnen. Die obersten Mauerpartien mussten wegen fortgeschrittener Frostschäden abgetragen und über dem obersten



Ruine der Kirche St. Peter in Goldswil bei Interlaken

¹⁾ Verlag Birkhäuser, Basel, dem wir auch das Cliché verdanken.