Elektrokinetische Erscheinungen und ihre Anwendung in der Bodenmechanik

Autor(en): **Schaad, W. / Haefeli, R.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **65 (1947)**

Heft 18

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-55869

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

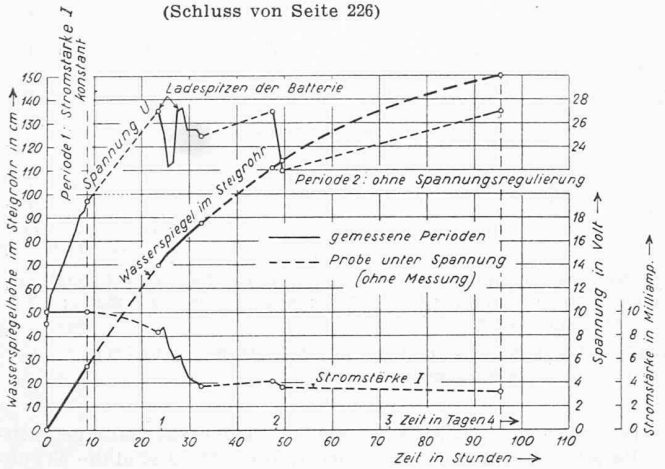
65. Jahrgang
Nachdruck von Bild oder Text nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet
Nr. 18

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

(Schluss von Seite 226)



Durchlässigkeitsziffer $k \backsim 10^{-7}$ cm/sec

Elektrosmotische Durchflussziffer für erste Periode ($I = 10$ Milliamp.) $k_E \backsim 8{,}7 \cdot 10^{-6} \frac{\text{cm/sec}}{\text{Volt/cm}}$

Steighöhe für 1 Volt: $h_E = \frac{k_E}{k} \cdot 1 \text{ Volt} = 87$ cm

(Scheinb. Vergrösserg. d. Durchlässigkeitsziffer für 1 Volt/cm = 87)

Steighöhe für mittlere Versuchsbedingungen der 1. Periode ($R_m = 1470\ \Omega$, $I = 10$ Milliamp. $U_m = 14{,}7$ Volt):

$h_E = \frac{k_E}{k} \cdot I \cdot R_m \backsim 1280$ cm

Bild 12. Steighöhenversuch mit Schlammsand Nr. 1319

Dass es sich beim elektrosmotischen Wasseranstieg um recht beträchtliche Steighöhen handelt, mag ein an Schlammsand durchgeführter Versuch zeigen (Bild 12). Zunächst wurde ein Ansteigen von rd. 1,50 m beobachtet. Da das Steigrohr aber nicht genügend hoch war, um den Endzustand zu erreichen, wurde auf Grund der gemessenen Geschwindigkeiten die Steighöhe H_E, in Uebereinstimmung mit der aus den Kennwerten k und k_E ermittelten Steighöhe (Bild 12), für die angewendete mittlere Versuchspannung von 14,7 Volt zu 12 bis 13 m berechnet. Bei diesem Material ist k_E rd. 87 mal grösser als k, d. h. $h_E \backsim 87$ cm/Volt.

Für die noch nicht abgeschlossenen wissenschaftlichen Versuche dient als Probematerial ein feines, chemisch möglichst unempfindliches Quarzmehl, dessen Kornverteilungskurve im Bild 13 enthalten ist. Die Durchlässigkeitsziffer dieses Materials beträgt rd. $k = 3{,}7 \cdot 10^{-6}$ cm/s, die elektrosmotische Durchflussziffer rd. $k_E = 4{,}5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{cm/s}}{\text{Volt/cm}}$ und die spez. elektrosmotische Steighöhe $h_E = 12$ cm/Volt.

Vom mechanischen Gesichtspunkt aus allein betrachtet, müsste bei einem kohäsionslosen Bodenmaterial eine Intensivierung der Sickerströmung, wie sie durch die Elektrosmose entsteht, zu stark ausgeprägten Grundbrucherscheinungen führen. Speziell in dieser Richtung unternommene Versuche ergaben jedoch, dass bei der elektrosmotisch bewirkten Sikkerströmung kein derartiger Prozess auftritt. Aus der Gesamtbetrachtung der in Festmaterial und Flüssigkeit auftretenden elektrischen Kräfte ergibt sich mit den Versuchsresultaten übereinstimmend ein statisches Gleichgewicht des elektrosmotisch durchströmten Zweiphasensystems. Diese Uebereinstimmung stellt zugleich eine Erhärtung der hypothetischen Auffassung dar, dass an der Grenzschicht positive wie negative Ladungen und somit ein Potentialsprung (elektrokinetisches Teilchenpotential ζ) auftreten.

Ausser den bis jetzt im Laboratorium durchgeführten Versuchen war es in Zusammenarbeit mit dem Braunkohlenwerk Zell und der Firma Swissboring in Zürich möglich, einen speziellen Versuchsbrunnen in geeignetem Schlammsandgebiet zu erstellen. Bild 14 zeigt die Anordnung dieser als Filterbrunnen ausgebildeten Anlage. Als Elektroden dienten gewöhnliche Gasrohre. Den Gleichstrom lieferte ein Schweissumformer mit regulierbarer Spannung.

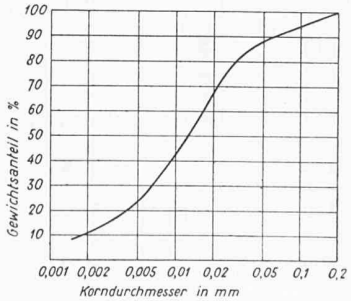


Bild 13. Summation der Kornverteilung des verwendeten Quarzmehls

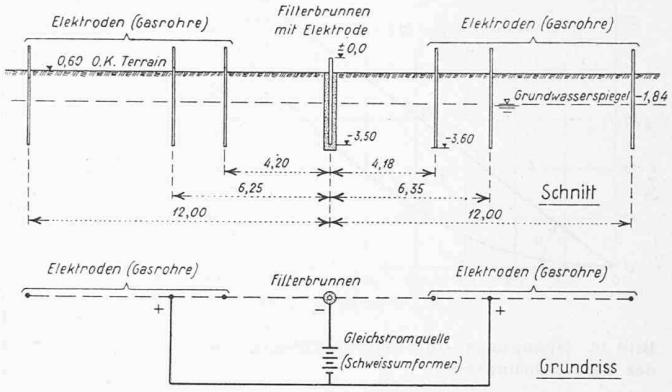


Bild 14. Anordnung des elektrosmotischen Filterbrunnens

Bild 15 veranschaulicht einen Elektroentwässerungsversuch mit der Spannung 64 Volt und dem Elektrodenabstand von rd. 6 m. Darin ist der Anstieg des Brunnenspiegels ohne Stromeinfluss und als Vergleich dazu derjenige mit Stromeinwirkung angegeben. Bemerkenswert ist, dass auch hier das Wasser im Brunnen über den natürlichen Grundwasserspiegel gehoben werden konnte. In Uebereinstimmung mit den Laboratoriumsversuchen erscheint somit möglich, mit Hilfe von Gleichstrom das Grundwasser feinkörniger Materialien zu pumpen, was aber mit einer chemischen Veränderung des Wassers durch elektrolytische Einflüsse verbunden ist. Das Neigungsverhältnis der Anstiegkurven, das im vorliegenden Fall rd. 4 betrug, ergibt die scheinbare Vergrösserung der Durchlässigkeitsziffer infolge des Stromeinflusses. Es ist zu beachten, dass durch den elektrischen Strom nicht etwa die Durchlässigkeit des Bodens erhöht wird, sondern nur die momentane Sickermenge, denn der Effekt beginnt mit dem Einschalten des Stromes und endigt unmittelbar mit seiner Ausschaltung. Er beruht nur auf dem elektrosmotischen Transport des Wassers. Ergänzend sei erwähnt, dass der elektrische Widerstand des Bodens bei dieser Anordnung rd. 40 Ohm betrug, die Stromstärke rd. 1,6 bis 1,7 Amp. und die verbrauchte Leistung rd. 100 bis 110 Watt, also nicht mehr als der Bedarf einer starken Glühlampe (vgl. Bild 16). Daraus erhellt auch die Einfachheit und Wirtschaftlichkeit des Verfahrens für geeignete Fälle.

In Tabelle 2 sind die Daten zweier Mengenmessversuche am gleichen Filterbrunnen mit verschiedenen Elektrodenab-

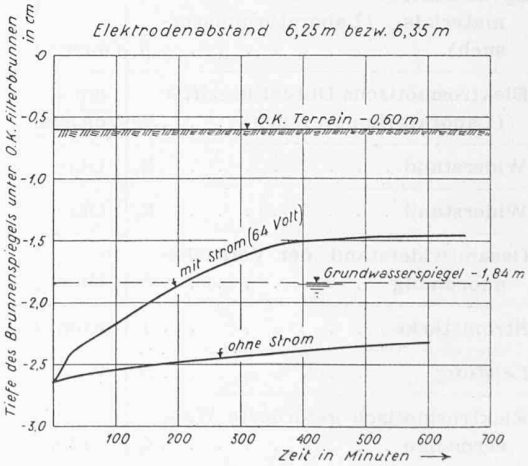


Bild 15. Anstieg des Brunnenspiegels mit und ohne elektrischen Strom

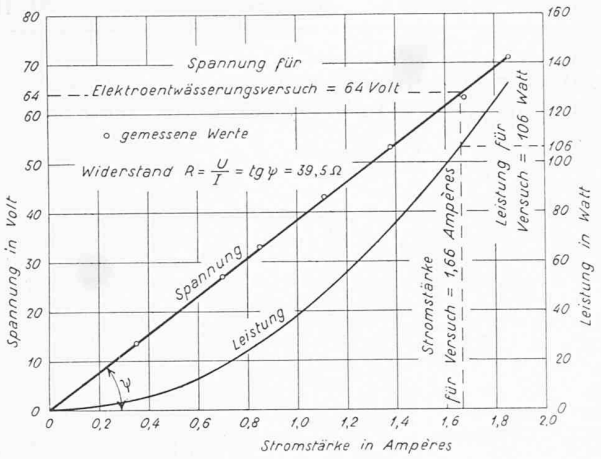
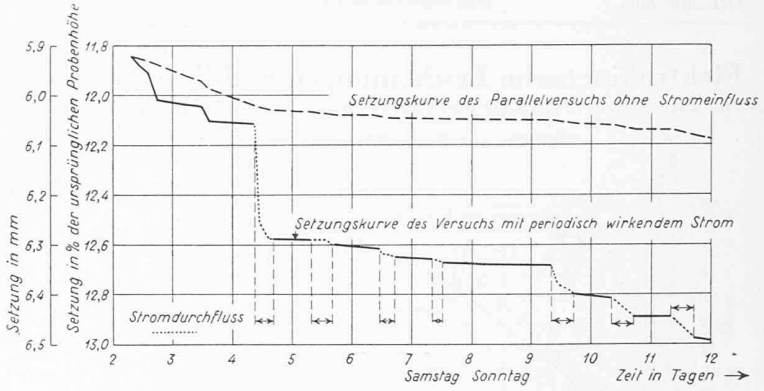


Bild 16. Spannungs- und Leistungsdiagramme des Versuchbrunnens



Probe Nr. 1319 Schlammsand. Probehöhe bei $\sigma = 1\,kg/cm^2 = 5{,}0$ cm bei Versuchsbeginn; Fliessgrenze $f = 28\,\%$; Ausrollgrenze $a = 22{,}8\,\%$; Plastizitätszahl $p = 5{,}2\,\%$

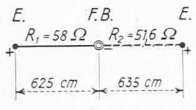
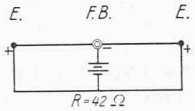
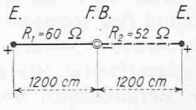
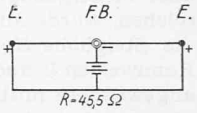
Bild 17. Setzungen der stromlosen und mit Strom beschickten Proben aus dem Versuchsgebiet

ständen enthalten und zum Vergleich die nach Gl. (9 bis 12) erfolgte Nachrechnung. Die letzte veranschaulicht, dass die Theorie gestattet, auf Grund weniger Laboratoriumsversuche die Grössenordnung des Energiebedarfes und des zu erwartenden Effektes einer Elektroentwässerungsanlage abzuschätzen. Es ist im Laboratorium hierfür nur die Bestimmung der elektrosmotischen Durchflussziffer und des spezifischen elektrischen Widerstandes am Bodenmaterial notwendig. Durch direkte Widerstandsmessungen im Felde und Erstellung von Versuchsbrunnen ist noch eine grössere Genauigkeit der Berechnung erzielbar.

Da sich die in Abschnitt 2 und 3 ausgeführten theoretischen Entwicklungen auf die Gültigkeit des Ohm'schen Gesetzes stützen, wurde es mittels der Feldversuchsanlage ebenfalls am Untergrund nachgeprüft. Im Bild 16 sind die Ergebnisse wiedergegeben. Es zeigt sich, dass die Proportionalität zwischen Strom und Spannung sehr gut erfüllt ist.

Eine der Anwendungsmöglichkeiten der Aktivierung der Porenwasserströmung durch elektrischen Gleichstrom besteht darin, *Setzungsvorgänge feinkörniger Böden zu beschleunigen*, was unter Umständen von praktischer Bedeutung sein kann. Bild 17 zeigt einen solchen Versuch mit zwei Proben desselben Materials, wobei die eine Schlammsandprobe im Oedometer unter einer bestimmten Laststufe ohne Stromeinfluss verfestigt, während die andere unter sonst gleichen Bedingungen periodisch mit Gleichstrom behandelt wurde.

Tabelle 2. Elektroentwässerungsversuche mit Versuchsbrunnen und Nachrechnung anhand der Theorie und der Laboratoriumsversuche

Physikalische Grössen bezw. erdbaumechanische Kennziffern	Einheit	*Versuch 1* Mittlerer Elektrodenabstand 6,30 m				*Versuch 2* Mittlerer Elektrodenabstand 12 m			
		 Messung der Einzelwiderstände		 Versuchsschaltung		 Messung der Einzelwiderstände		 Versuchsschaltung	
		(Widerstände mit Philoskop gemessen)							
		Messung		Rechnung		Messung		Rechnung	
Tiefe . . . . . t	cm	166	Rechnungsgrundlagen	166	Rechnungsgrundlagen	166	Rechnungsgrundlagen	166	Rechnungsgrundlagen
Elektrodenabstände . . . . . s	cm	625, 635		625, 635		1200		1200	
Mittlerer Elektrodenradius . . . r	cm	2,275		2,275		2,40		2,40	
Spannung . . . . . U	Volt	68		68		68		68	
Spezifischer Widerstand des Bodenmaterials (Laboratoriumsversuch). . . . . ϱ	Ohmcm	4570		4570		4570		4570	
Elektrosmotische Durchflussziffer (Laboratoriumsversuch) . . . k_E	$\frac{cm/s}{Volt/cm}$	$8{,}7 \cdot 10^{-6}$		$8{,}7 \cdot 10^{-6}$		$8{,}7 \cdot 10^{-6}$		$8{,}7 \cdot 10^{-6}$	
Widerstand . . . . . R_1	Ohm	58	Rechnungsergebnisse	49,1	Rechnungsergebnisse	60	Rechnungsergebnisse	54,4	Rechnungsergebnisse
Widerstand . . . . . R_2	Ohm	51,6		49,3		52		54,4	
Gesamtwiderstand der Versuchsanordnung . . . . . R	Ohm	42,0		24,6 [1]) (27,3) [2])		45,5		27,2 [1]) (27,8) [2])	
Stromstärke. I	Amp.	1,62		2,76		1,20		2,5	
Leistung . . . . . N	Watt	110		188		81,6		170	
Elektrosmotisch geförderte Wassermenge . . . . . Q	cm^3/s	0,109 Feldversuch		0,110		0,120 Feldversuch		0,100	

[1]) Mit den Rechnungsgrundlagen und Kirchhoff'schem Satz berechneter Gesamtwiderstand R.

[2]) Aus den mit Philoskop gemessenen Einzelwiderständen R_1, R_2 nach dem Kirchhoff'schen Satz berechneter Gesamtwiderstand R.

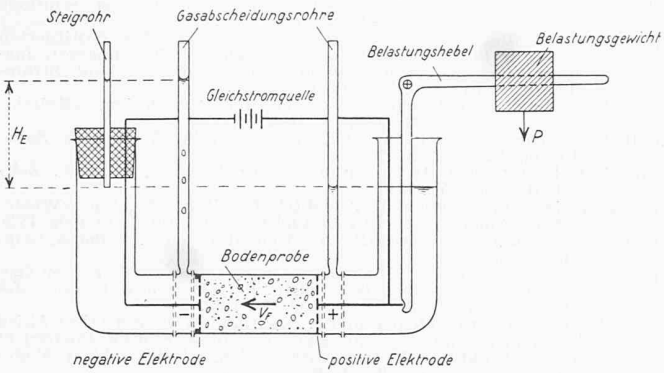


Bild 18. Bauprinzip eines horizontal angeordneten Elektro-Oedometers mit Vorrichtung für die Gasabscheidung

Die während dieser Perioden infolge Stromeinwirkung eintretende Beschleunigung und Vergrösserung der Setzungen stellen sich in Bild 17 in augenfälliger Weise dar. Worauf diese Wirkung beruht, konnte bis jetzt nicht abgeklärt werden. Die naheliegende Vermutung, dass die bei jeder Durchströmung eines feindispersen Systems zwischen der festen und flüssigen Phase auftretenden Reibungskräfte die Ursache der vermehrten Setzungen bilden, führte zu keinem positiven Ergebnis. Vielmehr ist anzunehmen, dass diese Reibungskräfte durch entgegengesetzt gerichtete elektrische Feldkräfte kompensiert werden, so dass voraussichtlich keine zusätzlichen Korn-zu-Korndrücke in der Form der üblichen Strömungsdrücke entstehen. Solche Strömungsdrücke fallen deshalb als Ursache der elektrosmotisch aktivierten Verdichtung des Materials, die auch bei einem reinen Ton in sehr ausgeprägter Form auftrat, kaum in Betracht.

5. Ausblick

Die vorstehend behandelten Untersuchungen und ersten Ergebnisse sollen vor allem dazu dienen, der Praxis die Probleme, Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten elektrokinetischer Vorgänge, unter besonderer Berücksichtigung der Elektroentwässerung, etwas näher zu bringen. Das letzte Verfahren beruht auf der Elektrosmose, wobei in Ergänzung der bisherigen Ausführungen betont sei, dass es sich hier um einen Effekt handelt, der nur bei genügend feindispersen Lockeraggregaten auftritt. Mit der Zunahme der Porengrösse macht der die Elektrolyse erzeugende galvanische Strom gegenüber dem elektrosmotischen einen immer grösser werdenden Anteil aus und tritt damit — vom Standpunkt der Elektroentwässerung — als Verluststrom in Erscheinung. Voraussichtlich liegt die Grenze der Anwendbarkeit der elektrosmotischen Aktivierung der Sickerströmung bei Porendurchmessern von rd. 0,1 bis 1 mm.

Die bisherigen *Laboratoriumserfahrungen* mit dem Elektroödometer nach Bild 10 und 11 haben ergeben, dass es mit Rücksicht auf die Abscheidung der Gase an den Elektroden versuchstechnisch vorteilhafter ist, wenn das Material nach Bild 18 horizontal durchsickert wird und zwar unter Wahrung der Möglichkeit, die Probe einem gegebenen statischen Verdichtungsdruck auszusetzen.

Die *praktische Anwendung* der Elektroentwässerung fand bisher in erster Linie bei den auf Wassergehaltsänderungen empfindlichen und unter geringem Wasserentzug sich relativ rasch und stark verfestigenden Schlammsanden Eingang. Bei diesen ist eine Konsolidierung mit normalen Entwässerungsmethoden nur schwer zu erreichen. Eine rasche temporäre Verfestigung in derartigem Baugrund wurde bisher am ehesten durch das Gefrierverfahren erreicht [49]. Eine schnell wirksame Entwässerungsmethode wurde hauptsächlich während des Krieges zur Herstellung von Bauten unter schwierigen Untergrundverhältnissen benötigt. Deshalb wendeten die Deutschen bei mehreren grossen Bauobjekten die Elektro-Entwässerung an. Sie diente z. B. zur Ermöglichung und Erleichterung des Aushubes bei der Erstellung von Bahn-Trasse-Einschnitten im Lösslehm von Salzgitter [10, 11] und in schlammsandigem Baugelände des Lerkendal-Tals (Norwegen), zum Schutz gleit- und grundbruchgefährdeter Spundwände bei einem in der Nähe von Drontheim (Norwegen) unter erheblichen Fundationsarbeiten errichteten U-Boot-Bunker und zur Erleichterung der Fundationsarbeiten verschiedener, in ungünstigem Baugelände errichteter Kunstbauten wie Brücken und Leitungen. Während des Krieges wurde die Methode von den Engländern ebenfalls aufgegriffen; sie haben die bezüglichen Eigenschaften verschiedener Böden untersucht. Die Beschreibung dieser Versuche, wie auch der von den Deutschen gemachten Erfahrungen ist in den englischen Fachzeitschriften erschienen [50, 51, 52].

Die *Perspektiven* für die weitere Anwendung elektrokinetischer Vorgänge sind sowohl im Erdbau wie in andern Gebieten recht vielversprechend. Man denke nur an die zahlreichen Möglichkeiten der *Bodenverbesserungen*, sei es durch die schon erwähnte elektrosmotische Beschleunigung von Setzungsvorgängen oder die lokale Erhöhung der Scherfestigkeit von Böden durch Wasserentzug und die damit verbundene Sicherung von Böschungen für temporäre oder dauernde Zwecke. Auch die elektrosmotische *Beeinflussung von Rutschungen* wäre zu prüfen. Weiter könnten *Injektionen* auf elektrosmotischem Wege durchgeführt werden. Bei feinkörnigen Bodenarten, wo der Anwendungsbereich der Injektion mit hydraulischen Drücken durch die ungenügende Durchlässigkeit des Materials eng begrenzt ist, kann die Einführung der Elektrosmose eine wesentliche Erweiterung bringen. Im Gegensatz zu der mit hydraulischen Drücken ausgeführten lässt sich ferner bei der elektrosmotischen Injektion die «Reichweite» den speziellen Bedürfnissen anpassen und das Injektionsgut in eine gewollte Richtung lenken.

Bei derartigen Injektionen handelt es sich im wesentlichen darum, aus löslichen und sehr billigen Salzen feste und wenn möglich in der Natur vorkommende stabile Verbindungen herzustellen. Die wirtschaftlichsten und wirksamsten Kombinationen und Verfahren ausfindig zu machen, bleibt der Chemie in Zusammenarbeit mit der Praxis vorbehalten. Die elektrosmotische Injektion könnte ausserdem zur Imprägnierung von Baustoffen, sowie ganz allgemein zur Einführung von Lösungen in poröse, hochdisperse Stoffe in den verschiedensten Gebieten Verwendung finden. In der Medizin ist dieses Verfahren seit langem bekannt. Auch die Abdichtung von Mauerteilen liesse sich voraussichtlich auf diesem Wege verbessern.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten elektrischer Gleichströme zur Bodenverfestigung, die bereits schon benützt und erwähnt wurden [4, 5, 7], bestehen im Ersatz der im Boden leicht gebundenen Ionen, wie die des Natriums und anderer Stoffe, durch Ionen, die chemisch fester gebunden werden, wie z. B. Al-Ionen, die gleichzeitig eine mechanische Verfestigung des Korngerüstes bewirken. Auf diesem Wege wurde z. B. versucht, die Tragfähigkeit von Pfählen durch deren Ummantelung mit Al-Elektroden und darauf folgender elektrischer Behandlung zu erhöhen. Die Erzielung solcher Umsetzungsreaktionen ist auch auf dem Wege der vorerwähnten Injektionen denkbar.

Als Nebeneffekt der Elektrosmose ist schliesslich die *Volumenänderung* zu erwähnen, die mit der Abnahme des Wassergehaltes feinkörniger, gesättigter Lockeraggregate verbunden ist. Bei hoher Plastizität des Materials kann dessen durch die Elektrosmose bewirkte Verdichtung, die mit einem gerichteten Schwindvorgang zu vergleichen ist, ein bedeutendes Ausmass erreichen. Da die Faktoren, welche diese Volumenänderung erzeugen, regulierbar sind, so könnten ganz bestimmte Verformungen angestrebt werden. So würden sich z. B. Tone und Lehme elektrosmotisch vorverdichten lassen, was vom Gesichtspunkt der Bodenverbesserungen von Interesse ist. Auch der Anstieg des Wassers in feinen Kapillaren, der sowohl bei der Eislinsenbildung im Boden wie auch beim Problem von Mauerentfeuchtungen eine massgebende Rolle spielt, kann unter gewissen Verhältnissen auf elektrosmotischem Wege beeinflusst werden.

Aus dieser kleinen Uebersicht folgt, dass sich mit der Einführung der Elektrizität in die Behandlung feindisperser Lockeraggregate, die schon im letzten Jahrhundert eingeleitet, aber vom Ingenieur bisher wenig beachtet wurde, auch in der Bodenmechanik ein neues, in Anlehnung an Physik und Chemie zu entwickelndes Randgebiet eröffnet. Die Studien über das spezielle Problem der Elektroentwässerung werden von der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der E. T. H. weitergeführt. Die detaillierte Ausführung und Diskussion der hier nur kurz angedeuteten theoretischen Entwicklungen und deren Anwendungsmöglichkeiten, insbesondere im Hinblick auf die Berechnung von elektrosmotisch aktivierten Filterbrunnen, wird den Gegenstand einer wissenschaftlichen Arbeit des erstgenannten Verfassers bilden.

Literaturverzeichnis

[1] *L. Casagrande:* Verfahren zur Verfestigung toniger Böden, D. R. P. Nr. 621694, Klasse 84c, Gruppe 6.
[2] *K. Endell:* Beitrag zur chemischen Erforschung von Tonböden, «Bautechnik» 1935.
[3] *W. Bernatzik:* Elektro-chemische Bodenverfestigung, Schlussbericht über den 2. Kongress der Int. Ver. für Brückenbau und Hochbau, Berlin-München 1.—11. Okt. 1936, W. Ernst & Sohn, Berlin 1938.
[4] *L. Erlenbach:* Anwendung der elektrochemischen Verfestigung auf schwimmende Pfahlgründungen, «Bautechnik» 1936.
[5] *L. Casagrande:* Grossversuch zur Erhöhung der Tragfähigkeit von schwebenden Pfahlgründungen durch elektrochemische Behandlung. «Bautechnik» 1937.
[6] *K. Endell:* Tonchemie und Erdbaumechanik, «Bodenmechanik und neuzeitlicher Strassenbau», 2. Folge, Volk und Reich Verlag, Berlin 1939.
[7] *L. Casagrande:* Die Elektrochemische Bodenverfestigung, «Bautechnik» 1939.

[8] *C. F. Kollbrunner:* Baugrundverbesserungen. Bericht Nr. 5 der Privatgesellschaft für Bodenforschung und Erdbaumechanik, Gebr. Leemann, Zürich 1943.
[9] *L. Casagrande:* Zur Frage der Entwässerung feinkörniger Bodenarten, «Deutsche Wasserwirtschaft», Jahrgang 36, 1941.
[10] *L. Casagrande:* Verfahren zur Verhinderung von Rutsch- und Fliesserscheinungen in feinkörnigem Erdreich. Schweiz. Patentschrift Nr. 228601 Klasse 6e, Dez. 1943.
[11] *L. Casagrande:* Praktische Erprobung bei der Herstellung einer schwierigen Einschnittstrecke beim Bau der Eisenbahnneubaustrecke Leiferde - Salzgitter (enthalten in [10]).
[12] *Department of Scientific and Industrial Research (England), Road Research Laboratory:* Soil Drainage by an Electrical Method, Note Nr. RN/509/DJM, DWR, August 1944 (vertrauliche Mitteilung).
[13] *Department of Scientific and Industrial Research (England), Road Research Laboratory:* An Examination of the Electro-Osmotic Properties of a Soil from Trondhjem, Norway, Note Nr. RN/673/DJM, DWR, November 1945 (vertrauliche Mitteilung).
[14] *R. Glossop und A. Skempton:* Particle-Size in Silts and sands, «Journal of the Institution of Civil Engineers», Nr. 2, Dezember 1945.
[15] *R. Glossop:* Soil Mechanics in Foundations and Excavation, enthalten in: The Principles and Application of Soil Mechanics, Institution of Civil Engineers, London 1946.
[16] *L. Casagrande:* The Application of Electro-Osmosis to Practical Problems in Foundations and Earthworks, Report on the Present Position, Department of Scientific and Industrial Research, Building Research Station, Garston, Watford, Herts., Januar 1947 (vertrauliche Mitteilung).
[17] *J. Friedli:* Korrosionsfragen bei Wasserversorgungsanlagen, «Monatsbulletin des Schweizerischen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern» Nr. 1 und 2, 1937.
[18] *A. Coehn und U. Raydt:* Ueber die quantitative Gültigkeit des Ladungsgesetzes für Dielektrika, «Annalen der Physik» 30, 1909.
[19] *W. Schaad und R. Haefeli:* Die Anwendung der Elektrizität zur Entwässerung und Verbesserung feinkörniger Bodenarten, «Bulletin der Vereinigung Schweizerischer Petrolgeologen und -Ingenieure», Nr. 42, Mai 1946, sowie «Strasse und Verkehr», Nr. 23/24, 1946.
[20] *K. Illig und N. Schönfeldt:* Untersuchungen an Diaphragmen, Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Siemens-Konzern (Siemens-Elektroosmose G. m. b. H.) Bd. VI, Springer, Berlin 1927.
[21] *F. F. Reuss:* Sur un nouvel effet de l'électricité galvanique Moscou, Soc. Nat. Mém. II, 1809.
[22] *G. Wiedemann:* Ueber die Bewegung von Flüssigkeiten im Kreise der geschlossenen galvanischen Säule, «Pogg. Ann.» Bd. 87, 1852, Bd. 99, 1856.
[23] *W. Hittorf:* Ueber die Wanderungen der Ionen während der Elektrolyse, «Pogg. Ann.» Bd. 98, 1856.
[24] *G. Quincke:* Ueber die Fortführung materieller Theilchen durch strömende Electricität, «Pogg. Ann.» Bd. 113, 1861.
[25] *C. Freund:* Ueber einige galvanische Eigenschaften von wässerigen Metallsalzlösungen, «Wied. Ann.» Bd. 7, 1879.
[26] *U. Saxén:* Ueber die Reciprocität der elektrischen Endosmose und der Strömungsströme, «Wied. Ann.» Bd. 47, 1892.
[27] *J. Perrin:* Mécanisme de l'électrisation de contact et solutions colloidales, «Journ. Chim. Phys.» Bd. 2, 1904.
[28] *A. Cruse:* Ueber die elektrische Kataphorese des destillierten Wassers durch poröse Tondiaphragmen (Pukallmasse), insbesondere ihre Abhängigkeit von Temperatur und Stromdichte, «Phys. Zeitschrift» Bd. 6, 1905.
[29] *A. Gyemant:* Elektroendosmose und Ionenadsorption, «Kolloid-Zeitschrift» Bd. 28 (1921 I), Heft 3.
[30] *A. Gyemant:* Grundzüge der Kolloidphysik, Vieweg & Sohn, Braunschweig 1925.
[31] *A. Kalähne:* Dem Andenken an Georg Quincke, «Physik. Zeitschrift» Bd. 25, 1924.
[32] *H. Helmholtz:* Studien über elektrische Grenzschichten, «Wiedemanns Annalen der Physik und Chemie», Bd. 7, Leipzig 1879.
[33] *H. Helmholtz:* Wissenschaftliche Abhandlungen J. A. Barth, Leipzig 1882.
[34] *M. v. Smoluchowski:* Elektrische Endosmose und Strömungsströme, in Graetz's Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus, J. A. Barth, Leipzig 1912.
[35] *H. Lamb:* On the Theory of Electric Endosmose and other Allied Phenomena, and on the Existence of a Sliding Coefficient for a Fluid in Contact with a Soil. «Philosophical Magazine», London, Bd. 25, 1888.
[36] *H. Freundlich:* Kapillarchemie, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1922.
[37] *N. K. Adam:* The Physics and Chemistry of Surfaces, Humphrey & Milford, London 1941.
[38] *P. Debye und E. Hückel:* Bemerkungen zu einem Satze über die kataphoretische Wanderungsgeschwindigkeit suspendierter Teilchen. «Physikal. Zeitschrift» 25, 1924.
[39] *E. Hückel:* Die Kataphorese der Kugel, «Physikal. Zeitschrift» 25, 1924.
[40] *E. Abderhalden:* Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Bd. IIIa 1, Urban & Schwarzenberg, Berlin-Wien, 1920.
[41] *P. H. Prausnitz und J. Reitstötter:* Elektrophorese, Elektroosmose, Elektrodialyse, Steinkopff, Dresden 1931.
[42] *R. Dachler:* Grundwasserströmung, Springer, Wien, 1936.
[43] *M. Breitenöder:* Ebene Grundwasserströmungen mit freier Oberfläche, Springer, Berlin, 1942.
[44] *F. Ollendorff:* Potentialfelder der Elektrotechnik, Berlin, Springer, 1932.
[45] *Ph. Forchheimer:* Hydraulik, S. 437, Teubner, Leipzig und Berlin, 1914.
[46] *R. Haefeli:* Mechanische Eigenschaften von Lockergesteinen, «Schweiz. Bauzeitung» Bd. 111, Nr. 24 und 26, 1938.
[47] *R. Ruckli:* Gélivité des sols et fondations des routes, Thèse Ecole d'Ingénieurs, Lausanne, 1943.
[48] *R. Rickli:* Die Eislinsenbildung im Strassenuntergrund. «Schweiz. Bauzeitung» Bd. 124, Nr. 16, 1944.
[49] *J. P. Daxelhofer:* Un nouveau procédé de congélation de terrain et ses possibilités d'application. «Bulletin Technique de la Suisse Romande» 64, 1938.
[50] *L. Casagrande:* Electrical Drainage of fine-grained Soils. «Road Abstr.» 9, 1942.
[51] *D. J. Maclean und D. W. Rolfe:* Soil Drainage by an Electrical Method. «Road Abstr.» 12, 1945.
[52] *A. H. D. Markwick und A. F. Dobson:* Application of Electrosmosis to Soil Drainage, «Engineering» 163, 1947.

Antike und Renaissance

DK 7.034.1

«Es geht durch die ganze Kunst eine Filiation. Sieht man einen grossen Meister, so findet man immer, dass er das Gute seiner Vorgänger benutzte, und dass eben dieses ihn gross machte. Männer wie Raphael wachsen nicht aus dem Boden. Sie fussten auf der Antike und dem Besten, was vor ihnen gemacht worden».

Goethe zu Eckermann, 4. Jan. 1827.

Dass die Kunstformen der Antike in der Renaissance wiederaufleben, ist eine Binsenwahrheit — so sehr, dass es nötig war daran zu erinnern, dass das Wort rinascita zu seiner Zeit auch noch einen anderen Sinn hatte, nämlich den christlichen einer Wiedergeburt im Geist. Durch diese Feststellung wird die Erneuerung der antiken Formen nur ergänzt, nicht bestritten. Wie sie im einzelnen vor sich ging, das ist sonderbarerweise bisher erst für die Architekturformen einigermassen klargelegt worden. A. von Salis [1]) geht nun den Zusammenhängen auf dem Gebiet der Malerei und der Plastik nach, wobei ihm die genaue Detailkenntnis des klassischen Archäologen zustatten kommt. Welche Vorbilder kommen in Betracht? Wann und wo sind sie ans Tageslicht getreten? Welches Echo haben die Funde bei den Zeitgenossen gefunden? Wo sind die Entlehnungen zu beobachten — Uebersetzungen plastischer Vorbilder in die Malerei, inhaltliche Umdeutungen, formale Veränderungen — die dann die interessantesten Aufschlüsse über das Verhältnis der Renaissance-Künstler zur Antike geben? Allen diesen Fragen geht der Verfasser nach anhand breitester Material- und Literaturkenntnis; mit kriminalistischem Spürsinn werden verschüttete Zusammenhänge aus Indizien rekonstruiert.

Der Weg einzelner Formen, Körperstellungen, Kompositions-Schemata vom antiken Kunstwerk zum Kunstwerk der Renaissance wird an einigen einleuchtenden Beispielen aufgezeigt und bildlich belegt — so z. B. der Zusammenhang des Groteskenornaments mit den Ruinen des «Goldenen Hauses» des Kaisers Nero, deren dekorative Deckengemälde unter anderen Michelangelo zu einer Zeichnung angeregt haben, die das Original an Intensität weit übertrifft. Pikant, wie die Liebesszene zwischen Helena und Paris das Schema abgibt für die Verlobung Mariä mit Joseph von Raphael; der Tod des Griechenhelden Meleager wandelt sich zur Grablegung Christi; das berühmte Mosaik der Alexanderschlacht, dessen griechisches Original jetzt in die Zeit zwischen 317 und 307 v. Ch. hinaufdatiert wird, war über tausend Jahre lang, vom Jahr 79 bis zur Wiederentdeckung 1831, unter der Asche des Vesuv begraben — und hat trotzdem unaufhörlich weitergewirkt, auf dem Weg über Sarkophagreliefs, Vasenbilder und andere Wiederholungen (die natürlich nicht durchaus von der heute erhaltenen Kopie abstammen müssen), bis auf Raphaels Konstantins-Schlacht und bis auf Holzschnitte des 16. Jh. Auch der antike Dornauszieher geriet auf seltsamen Wegen in die christliche Kunst der Renaissance. Gewaltigen Wiederhall weckte die Auffindung des Laokoon 1506 — wie hätte sich der werdende Barock diesem Pathos entziehen können? Die Sklaven Michelangelos sind ohne dieses auslösende Moment sowenig denkbar, wie seine kränzehaltenden Jünglingsfiguren an der Decke der Sixtinischen Kapelle ohne den Torso von Belvedere. Dies sind nur magere Andeutungen weitausgreifender Beweisführungen, in denen sich Antike und Renaissance wechselseitig erhellen.

Also ein hocherwünschtes, aufschlussreiches — und zugleich ein nachdenkliches Buch, wenn der Leser dabei auch die heutige Situation der Künste in Betracht zieht. Die Gegenwart hat sich angewöhnt, im Kunstwerk nichts als die private Verlautbarung der einzelnen Künstlerpersönlichkeit zu sehen und zu schätzen, und es vielleicht durch sie hindurch auch noch als «Dokument der Zeit» gelten zu lassen, was man schlechthin von jeder Zeiterscheinung sagen kann. Das zwingt den Künstler, die Besonderheiten seines Talentes in einer Weise blosszustellen und zu überanstrengen, die frühern Zeiten unbekannt war; anderseits ist der Künstler zu nichts verpflichtet, er stellt seine Seelenregungen und Geschmacksäusserungen vor das Publikum hin, und dieses hat sich da-

[1]) **Antike und Renaissance.** Ueber Nachleben und Weiterwirken der alten in der neueren Kunst. Von *Arnold von Salis.* 280 S., 26 × 19 cm; 136 Abbild. auf 64 Tafeln, 30 Textabbild. Erlenbach-Zürich 1947, Eugen Rentsch-Verlag. Preis geh. 20 Fr., geb. 22 Fr.