

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 91 (1973)
Heft: 35

Artikel: Entgegnung zu Aufsatz "Anwendung von Elektroosmose gegen aufsteigende Mauerfeuchtigkeit"
Autor: Haller, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-71971>

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

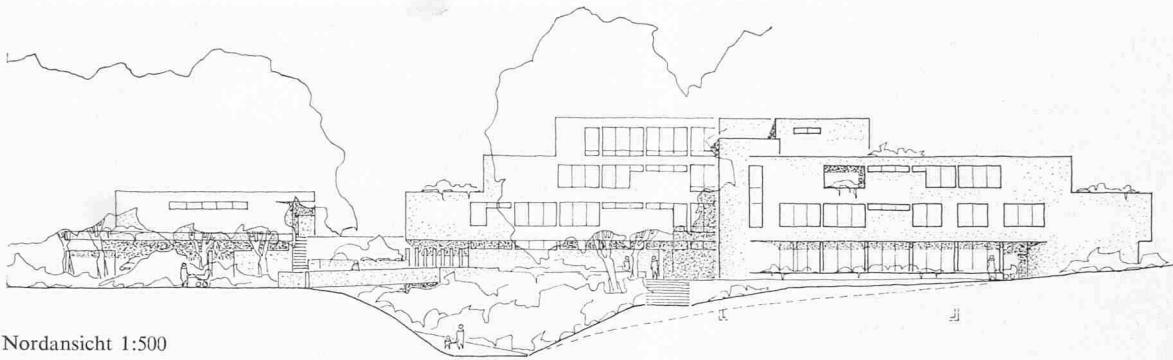
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées 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: 13.01.2026

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



Nordansicht 1:500

Das Heimleiterehepaar oder der Leiter allein übernimmt die Gesamtleitung mit allen Administrativarbeiten, wobei die Ehefrau die Funktionen einer Hausbeamten ausüben könnte. Ferner gehören eine Köchin und ein Hauswart zum ständigen Team. Da mit einem häufigen Wechsel unter den Hilfskräften zu rechnen ist und vermutlich nicht immer alle Stellen besetzt werden können, ist für die 54 Kinder ein Personalbestand von rund 30 Personen vorgesehen.

Gedanken zum Projekt

In erster Linie galt es, die prächtige Parklandschaft möglichst wenig zu beeinträchtigen. Deshalb wurde versucht, die Baumasse dem Gelände unaufdringlich einzufügen. Eine starke Gliederung des an sich niedrigen Hauptbaukörpers, vor allem aber eine höhenmässige Rückstaffelung, liess den Hang in einer Gegenbewegung aufnehmen und die Baumassen an den hohen Baumbestand anlehnen.

Die südseitige Rückstaffelung der drei Obergeschosse gewährleistet allen Wohngruppen sowie den Personalzimmern

eine gute Beziehung zum Park und eine günstige Beson-nung. Dem Massstab des Kindes und dem Bedürfnis nach Geborgenheit entsprechen die Gliederung der Baumasse sowie die Grösse der Aussenräume und Höfe. Die Säuglings- und die Kleinkinderwohngruppen wurden jeweils winkelförmig um einen Hof angeordnet, wodurch sich eine Verflechtung der Innen- und Aussenräume ergibt. Die Schulkindergruppen sind je um eine Dachterrasse angelegt. Diese verbindet eine Aus-sentreppe mit dem Park und mit der Spielwiese.

Im Erdgeschoss ist die Eingangshalle, die Müterschule, der Ess- und Aufenthaltsraum für das Personal zusammen mit dem vertieften Gartenplatz so konzipiert, dass sich vielseitige Verwendungsmöglichkeiten ergeben. Auch das Lehrschwimm-becken, die Verwaltungs- und Wirtschaftsräume finden in diesem Eingangsgeschoss Aufnahme.

Im weiteren wurde eine konzentrierte Bauweise mit kurzen internen Verbindungen zwischen Küche, Verwaltung und den einzelnen Wohngruppen angestrebt, um eine wirt-schaftliche Betriebsführung zu erreichen.

Entgegnung zum Aufsatz «Anwendung von Elektroosmose gegen aufsteigende Mauerfeuchtigkeit»

Von Prof. P. Haller, Zürich

DK 699.82:624.138.5

Einleitung

Im Heft 39 der Schweizerischen Bauzeitung vom 28. September 1972, S. 954–958, ist ein Aufsatz über die «Anwendung von Elektroosmose gegen aufsteigende Mauerfeuchtigkeit» erschienen, der wegen zahlreicher Widersprüche nicht unwidersprochen hingenommen werden kann.

Über die Grundlagen der kapillaren Durchdringung von Baukörpern orientiert der Aufsatz in Heft 46 der SBZ vom 14. November 1968 [11], so dass auf eine Wiederholung der dort gemachten theoretischen Überlegungen und der Messergebnisse verzichtet werden kann. Eine Ergänzung ist jedoch im Hinblick auf den zu besprechenden Artikel notwendig.

In Heft 39 1972 wird der längst bekannte einfache Zusammenhang zwischen dem Kapillarradius und der maximalen Steighöhe nochmals mathematisch dargestellt. Von der Steiggeschwindigkeit wird lediglich gesprochen, also keine quantitative Angaben gemacht. In der Folge wird in diesem Aufsatz nur noch mit aus der Literatur entliehenen Begriffen und mit Hinweisen auf Vorgänge operiert; über die Größenordnung der Wirkungen, über eine Gegenüberstellung der Kapillarität und der Elektroosmose, fehlen die Unterlagen vollständig. Damit steht der Wert des Artikels bereits fest, da die Wirksamkeit des Verfahrens weder durch physikalische Berechnungen noch durch praktische Ergebnisse unter Beweis ge stellt wird.

In der Folge soll nun auf das Problem der Mauerdurchfeuchtung unter Berücksichtigung der elektrokinetischen Effekte eingegangen werden, soweit über sie auf Grund der bisherigen Forschungsergebnisse eine Aussage gemacht wer den kann.

1. Kapillarität

Die Geschwindigkeit des kapillaren Aufstiegs in verti-kalen, zylindrischen Kapillaren kann aus folgendem Zusam-menhang berechnet werden [4]:

$$(1) \quad 2\pi r \sigma \cos \vartheta - r^2 \pi y \gamma - 2\pi r \lambda y \frac{dy}{dt} = T + W$$

Saugkraft	Gewicht	innerer	Träg-	Zufluss-
der	Reibungs-	heits-	wider-	stand
Flüssigkeit	widerstand	widerstand	kraft	

r = Kapillarradius in cm

σ = Oberflächenspannung in dyn/cm

ϑ = Randwinkel für Wasser $\approx 0^\circ$, $\cos \vartheta \approx 1$
(Bei nahezu vollkommener Benetzung)

γ = spezifisches Gewicht in dyn/cm³

y = Steighöhe in cm

λ = Reibungskoeffizient, für lamellares Fliessen nach Newton: $= 4\eta/r$ in dyn. s/cm³

η = dynamische Zähigkeit (Viskosität) in Poise = dyn. s/cm²

Die Glieder auf der rechten Seite spielen in der Anfangsphase des Flüssigkeitsaufstieges eine grosse Rolle. Diese werden zunächst vernachlässigt. Die obige Gleichung reduziert sich dann auf folgenden Ausdruck:

$$(2) \quad 2\sigma - r\gamma y - \frac{8\eta}{r} y \frac{dy}{dt} = 0$$

$$(2a) \quad \frac{dy}{dt} = v = A/y - B$$

$$A = \frac{r\sigma}{4\eta} \quad B = \frac{r^2\gamma}{8\eta}$$

Diese Differentialgleichung lässt sich numerisch lösen, wobei folgende Werte für reines Wasser eingesetzt werden:

$$\sigma = 73 \text{ dyn/cm}$$

$$\eta = 0,01 \text{ dyn. s/cm}^2$$

$$\gamma = 981 \text{ dyn/cm}^3$$

$$A = 1825 r$$

$$B = 12262 r^2$$

Die maximale Steighöhe $h_{max} = 2\sigma/r\gamma$, wenn $v = 0$. Für die Kapillarradien $1/10$, $1/100$, $1/1000$ und $1/10000$ mm ist in Tabelle 1 die maximale Steighöhe und die Steiggeschwindigkeit bei zwei Marken berechnet worden.

Die Kapillarzugkraft $P = 2\pi r\sigma$ und die Steiggeschwindigkeit in den Kapillaren unterhalb der Grenzlinien in Tabelle 1 sind proportional, die maximale Steighöhe und der spezifische Druck $2\pi r\sigma/r^2\pi = 2\sigma/r$ dagegen umgekehrt proportional dem Kapillarradius. Die aus Gleichung (2a) berechnete Steigkurve für reines Wasser in vertikalen zylindrischen Kapillaren, z. B. aus Glas, mit einem Kapillarradius $r = 1/1000$ mm ist in Bild 1 in Funktion der Zeit aufgetragen. Für die andern Kapillarradien gelten bei den auf die maximale Steighöhe abgestimmten Ordinaten die gleichen Kurven, wenn der Zeitmaßstab wie folgt geändert wird:

$$r = 1/100 \text{ mm: anstelle der 100 Tage} - 1/10 \text{ Tag} = 2,4 \text{ Std}$$

$$r = 1/10000 \text{ mm: anstelle der 100 Tage} - 100000 \text{ Tage} = 274 \text{ Jahre}$$

Der Kapillarradius hat demnach auf den Flüssigkeitstransport einen entscheidenden Einfluss. Die Steigkurve für eine $1/1000$ -mm-Kapillare (Bild 1) lässt erkennen, dass die Fließ-

Tabelle 1. Für verschiedene Kapillarradien maximale Steighöhen und Steiggeschwindigkeiten bei der 10 cm- und 100 cm-Marke

Kapillar- radius cm	maximale Steighöhe m	Steig- geschwindigkeit bei 10-cm-Marke cm/s	Steiggeschwindigkeit bei der 100-cm-Marke cm/s	
			cm/s	cm/Tag
10^{-2}	0,15	0,600		
10^{-3}	1,49	0,170	0,00600	518
10^{-4}	14,9	0,0181	0,00170	147
10^{-5}	149	0,00181	0,00018	15,6

Tabelle 2. Steigzeiten von Beginn des Aufstieges bis zu verschiedenen Höhenmarken für verschiedene Kapillarradien

Kapillarradius in cm	$1/10 h_{max}$ - Marke	1-m-Marke	$1/2 h_{max}$ - Marke	$0,9 h_{max}$ - Marke
10^{-3}	150 s	1,8 Std.	0,85 Std.	8 Std.
10^{-4}	1,75 Tage	22 Std.	35,6 Tage	330 Tage
10^{-5}	4,8 Jahre	[90 Tage]	98 Jahre	900 Jahre

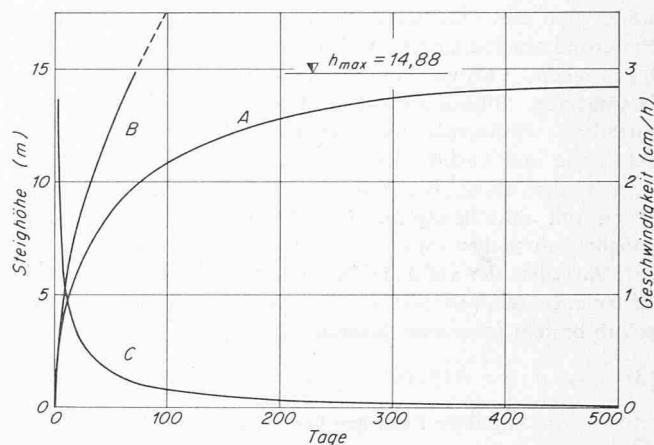


Bild 1. Berechnete Steighöhen für eine zylindrische Kapillare mit einem Radius von $1/1000$ mm, mit und ohne Fadengewicht-Flüssigkeit: Wasser-, Steiggeschwindigkeit.

A Steighöhe mit Fadengewicht

B Steighöhe ohne Fadengewicht (= horizontale Kapillare)

C Steiggeschwindigkeit in cm/h

geschwindigkeit mit der Steighöhe und damit auch mit der Zeit rasch abnimmt.

Das Gewicht des Wasserfadens wirkt sich schon vor dem 10. Teil der maximalen Steighöhe verlangsamt auf den Wasseranstieg aus. In horizontalen Kapillaren fällt dieser Einfluss weg, weshalb die Wasserbewegung rascher als in der vertikalen oder geneigten Kapillare zu erwarten ist; Kurve B in Bild 1.

Die verschiedenen Marken werden in der vertikalen Kapillare nach den in Tabelle 2 genannten Zeiten seit Beginn des Anstieges passiert.

Bei der Steighöhe $y = 0$ ist nach der Rechnung eine unendlich grosse Geschwindigkeit zu erwarten. In Wirklichkeit sind in diesem Augenblick die Trägheitskräfte wirksam. Auch der Zuflusswiderstand im Baugrund bremst die Anfangsgeschwindigkeit rasch ab. Der kapillare Aufbau des Baugrundes sowie der Wassergehalt und die Wasserbewegungen im Bodenmaterial beeinflussen auch das kapillare Hochsteigen der Grundfeuchtigkeit.

Beim Hochklettern des Flüssigkeitsspiegels in der Kapillare wird besonders bei den hohen Anfangsgeschwindigkeiten nicht die volle Zugkraft $P = 2\pi r\sigma$ wirksam sein, weshalb ein langsameres Vordringen als theoretisch errechnet wird, zu erwarten ist.

2. Kapillare Nässebewegungen im Mauerwerk

In den die Baustoffe netzartig durchdringenden Kapillaren verlangsamen Querschnitts- und Formänderungen, Verzweigungen, Oberflächenunebenheiten, Richtungsänderungen und allfällige Lösungsvorgänge das kapillare Durchdringen. Aus diesen Umständen ist leicht zu erkennen, dass nur Versuche und Messungen an Bauwerken zuverlässigen Aufschluss über die Durchdringungsvorgänge vermitteln können.

Ein in feuchtem Baugrund steckendes Mauerwerk saugt die Nässe durch alle Kontaktflächen, Fundamentsohle und die mit dem Erdreich in Kontakt stehenden Seitenflächen der Grundmauer, ein. Im Mauerwerk wird die Nässe unter der Wirkung der Kapillarkräfte bewegt und über den Baugrund hinaus in das aufgehende Mauerwerk gesogen. Aus Kapillaren, die über Boden an der Maueroberfläche enden, verdunstet die Flüssigkeit. Bei den üblichen Mauerdicken wird deshalb die maximale Steighöhe nicht erreicht. Die auf den Maueroberflächen verdunstende Flüssigkeitsmenge ist in erster Linie von den Verdunstungsbedingungen an den Maueroberflächen und

weiter von den Nachschubverhältnissen im Mauerwerk und Baugrund abhängig. Höhere Temperaturen, ungesättigte Luftfeuchtigkeit, Luftbewegung und Sonnenwärme-Einstrahlung begünstigen, Pflanzenbewuchs, Bäume behindern die Verdunstung. Dichtende Oberflächenschichten, wie Verputze, Anstriche und Verkleidungen können die Verdunstung sogar unterbinden, sodass die Flüssigkeit in höhergelegenen Mauersteinen mit durchlässigeren Oberflächen eine Verdunstungsmöglichkeit suchen muss.

Zwischen der auf den Oberflächen verdunstenden Flüssigkeitsmenge, der Verdunstungsfläche und dem kapillaren Nachschub besteht folgender Zusammenhang:

$$(3) \quad v_a \cdot d \cdot b = b (\beta_1 h_1 + \beta_2 h_2) \quad h_1 = (v_a \cdot d - \beta_2 h_2) / \beta_1$$

v_a = kapillare Fließgeschwindigkeit auf Terrainhöhe in cm/h

h = äussere und innere Höhe der Verdunstungsfläche in cm

d = Dicke der Mauer in cm

β = Verdunstungskoeffizienten in $\text{cm}^3/\text{cm}^2\text{h}$

Bei stärkerem Nachschub und schlechteren Verdunstungsbedingungen sucht die Mauernässe eine entsprechend höhere Verdunstungsfläche.

Auf dem Weg durch den Baugrund und beim Hochsteigen im Mauerwerk werden vom Wasser Salze gelöst, die dann beim Verdunsten des Wassers auf oder unter der Oberfläche des Mauerwerkes liegen bleiben. Bei günstigen klimatischen Bedingungen bilden sich Kristalle. Ablagerungen auf der Oberfläche verursachen unschöne Verfärbungen. Kristallbildungen unter der Maueroberfläche führen zu Gefügezerstörungen, Abdrückungen in den Oberflächenschichten, Verputze, Farbschicht usw.

Wenn in der Nähe des Feuchtigkeitsrandes diese Erscheinungen verstärkt auftreten, so deshalb, weil an diesen Stellen Wasser mit höheren Konzentrationen verdunstet, die mit dem Umstand, dass im unteren Teil des Mauerwerkes Wasser schon verdunstet ist, und mit dem längsten Kapillarweg erklärt werden können. Da der Nachschub aus dem Baugrund auch die Verdunstungsbedingungen mit der Jahreszeit ändert, schwankt der Nässepiegel, weshalb Verfärbungen und Oberflächenzerstörungen über grössere Breiten festgestellt werden. Salze im aufsteigenden Wasser verändern die Oberflächenspannungen und die Viskosität der Flüssigkeit, wodurch die Steiggeschwindigkeit reduziert wird.

Das Mauerwerk über Boden ist raumseitig in der Regel wärmer, weshalb sich ein Diffusionsgefälle nach aussen einstellt, unter dessen Wirkung die Feuchtigkeit in Dampfform in der gleichen Richtung abwandert. Auch die Wasserfäden quer durch die Mauer können unter dem Dampfdruckunterschied meist gegen die äussere Maueroberfläche gepresst werden (Bild 2).

Das Mauerwerk besteht aus Mauersteinen und aus Mörtel, der bei alten Bauwerken mit Kalkhydrat und seit einigen Jahren vor der Jahrhundertwende mit hydraulischem Kalk und

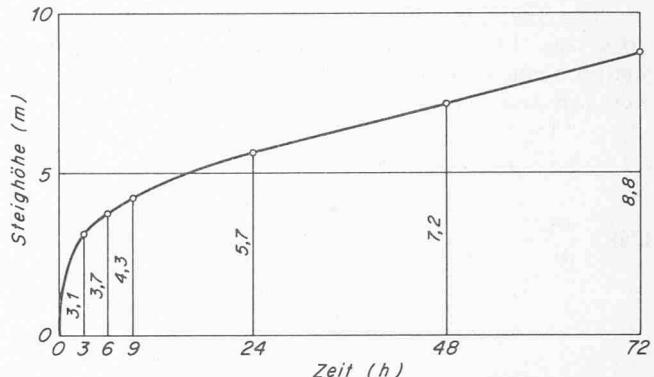


Bild 3. Steighöhen des granitischen Sandsteins Buchberg

auch mit Portlandzement gebunden ist. Der Weiss- oder Graukalkmörtel ist in der Regel poröser als der Mauerstein, besonders dann, wenn ein nicht zweckmäßig gestufter Sand verwendet wurde. Der Mauerstein aus Molassesandsteinen ist ebenfalls saugfähig [5], Tabelle 3 und Bild 3, aber auch eruptive Gesteine, wie Granit, Gneise usw., nehmen, wenn auch langsam, Wasser auf. So zeigt das aus Granit 1563 bis 1571 erbaute acht Weltwunder, das Kloster El Escorial, gut sichtbare Durchnässungen bis etwa 2 m über Boden.

Dichte Kalksteine nehmen am wenigsten Wasser auf (Tabelle 3). Im Mörtel, der in der Regel mit weiteren Kapillaren durchsetzt ist, bewegt sich der Wasserfaden rascher als im Mauerstein. Dieser entzieht dem Mörtel vor allem in der Lagerfuge, aber auch in den Stossfugen Wasser bzw. Salzlösung, weshalb das Ansteigen der Nässe im Mörtel und damit auch im Mauerwerk verlangsamt wird.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die nach 2a errechneten Steiggeschwindigkeiten in der vertikalen, zylindrischen Kapillare nicht und noch weniger im Mauerwerk erreicht werden, auch dann nicht, wenn die Verdunstung nicht mitspielt. Das Hochklettern des Meniskus, das Netzgefüge, die Änderung der Form und Weite des Kapillarquerschnittes, das ungleiche Saugvermögen von Stein und Mörtel verlangsamen die Durchdringung des Mauerwerkes erheblich. Da in Bauwerken der Feuchtigkeitsspiegel oft erheblich über 1,5 m hinaus ansteigt, müssen die Kapillarradien um 1/1000 mm vermutet werden.

Die Kapillarität ist in einer Einzelkapillare gut erfassbar, doch die Übertragung auf das Mauerwerk wird durch die Grosszahl von Unbekannten erschwert. Nur eine Messung des Feuchtigkeitzustandes des Mauerwerkes liefert zuverlässige Ergebnisse und lässt bei Entfeuchtungsmassnahmen einen allfälligen Erfolg oder Misserfolg mit der notwendigen Sicherheit feststellen.

«Grau, teurer Freund, ist alle Theorie, doch grün des Lebens goldner Baum.»

Die vorstehenden Ausführungen lassen erkennen, dass die Durchfeuchtung meist ein sehr langsamer Vorgang ist,

Tabelle 3. Kapillare Steighöhe in Natursteinen in cm

Art	Herkunft	Steigzeit in Stunden					
		3	6	9	24	48	72
Granitischer Sandstein	Buchberg	3,1	3,7	4,3	5,7	7,2	8,8
		3,2	3,6	4,1	4,8	5,8	6,2
Plattensandstein	Bäch	3,2	3,9	4,5	5,5	8,0	9,2
		3,8	4,4	4,8	5,4	6,2	7,1
Dichter Kalkstein	Lägern	0	0	0	0	0	0
		Oberre Zahl: senkrecht zum Lager Untere Zahl: parallel zum Lager					

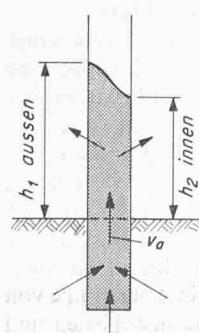


Bild 2. Nässepiegel im Mauerwerk eines Wohnhauses. Spiegelanstieg infolge Kapillarpressung einerseits und Dampfdiffusion mit Kondensation im kälteren Mauerteil

weshalb diese erst nach Jahren sichtbar wird und zwar dann, wenn eine Russ- und Staubschicht auf der feuchten Oberfläche klebt oder sogar Schäden am Mauerwerk auftreten.

3. Die elektrokinetischen Effekte

Zunächst sollen zum eigentlichen Thema «Anwendung der Elektroosmose gegen aufsteigende Feuchtigkeit» einige Begriffe und Modellvorstellungen erklärt werden.

Befindet sich eine Flüssigkeit in einer porösen, elektrisch nicht leitenden Schicht, so treten in den Grenzschichten, d. h. an der Porenwand und in der Porenwand benachbarten Flüssigkeitsschicht elektrische gegensätzliche Ladungen (+ und -) auf und bilden dadurch eine sogenannte elektrische Doppelschicht.

Legt man an ein solches Kapillar-Flüssigkeitssystem mit diesen Doppelschichten – z. B. an ein wassergefülltes Bündel von Kapillaren – an den Enden der Kapillaren eine elektrische Gleichspannung an, so wandert das nach der Coehnschen Regel [12] die +Ladungen tragende Wasser in der Richtung des elektrischen Feldes. Diesen Vorgang nennt man *Elektroosmose*.

Umgekehrt erzeugt eine Flüssigkeitsströmung durch das Kapillarbündel zwischen den Enden der Kapillaren eine Spannungsdifferenz, das sogenannte *elektrokinetische Strömungspotential*. Gemäss der Lenzschen Regel [13] ist diese Potentialdifferenz immer so gerichtet, dass sie der Fliessrichtung, also auch der Kapillarwirkung entgegengerichtet ist.

Eine grosse Zahl von Forschern, von Smoluchowski, Freundlich, Helmholtz und viele andere, haben diese elektrokinetischen Vorgänge untersucht und folgenden Zusammenhang gefunden [3 und 6].

$$(4) \quad v_e = \frac{\epsilon \zeta E}{4 \pi \eta}$$

v_e = die elektrophoretische und elektroosmotische Geschwindigkeit der Flüssigkeit bzw. der Teilchen in cm/s

ϵ = Dielektrizitätskonstante der Flüssigkeit (dimensionslos)

η = dynamische Zähigkeit, Viskosität der Flüssigkeit in dyn. s/cm²

E = angelegtes Feld in Volt/cm

ζ = elektrokinetisches Potential der Doppelschicht in Volt

H. van Olphen [8] ergänzte diesen Ausdruck durch ein Additionsglied, das die Oberflächenleitfähigkeit berücksichtigt, welches bei sehr feinen Kapillaren mehr ins Gewicht fällt.

Die beförderte Flüssigkeitsmenge V_e in cm³/s errechnet sich dann aus folgender Gleichung:

$$(5) \quad V_e = \frac{\epsilon \zeta I}{4 \pi \eta (\kappa + 2 \kappa_s/r)}$$

I = Stromstärke in Ampère

κ = spez. Leitfähigkeit der Flüssigkeit in 1/s

κ_s = spez. Oberflächenleitfähigkeit in cm³/s

Das *Strömungspotential* ist nach Saxén (1892) mit dem Ausdruck für den Elektroosmosevorgang folgendermassen verknüpft:

$$(6) \quad E'/p = V_e/I \text{ oder } \frac{\epsilon \zeta}{4 \pi \eta (\kappa + 2 \kappa_s/r)}$$

p = Unterschied der spez. Pressung an beiden Enden der Kapillare in dyn/cm²

E' = erzeugte elektrische Spannung

Wilh. Wittmann und Otto Drögsler geben die vereinfachte Formel ohne Oberflächenleitfähigkeit. Paul Wieden zitiert erheblich abweichende Ausdrücke (ohne Dimensionsangaben hängen die angegebenen Zahlenfaktoren in der Luft).

Eine numerische Auswertung für die Vorgänge im Mauerwerk ist deshalb nicht möglich, weil die Werte für ϵ , ζ , κ , κ_s sowie die Kapillarradien und die Konzentration der Salzlösungen, die die vorgenannten Werte beeinflussen, nicht bekannt sind. Auch ist die Auswirkung der Temperatur auf die verschiedenen Faktoren zu wenig erforscht. N. Thon [2] konnte nachweisen, dass der ζ -Wert bei der Auswertung des Strömungspotential nur zu 1/1000 des Wertes für die Elektrophorese einzusetzen ist.

4. Anwendung der Elektroosmose zur Entfeuchtung von Mauerwerk

Nach dem Vorstehenden kann durch Anlegen einer Gleichspannung Wasser in einem kapillardurchsetzten Material mit niedriger Dielektrizitätskonstante vom positiven zum negativen Pol bewegt werden. Wenn nun in einem Mauerwerk in zwei übereinander liegende Reihen Elektroden eingesetzt werden und die obere Reihe mit dem positiven, die untere Reihe mit dem negativen Pol einer Stromquelle verbunden wird, so unterliegt die in den Kapillaren enthaltene Flüssigkeit einer Kraftwirkung, die dem Kapillarzug entgegenwirkt. Die Berechnung der Grösse der Gleichspannung, die notwendig wäre um bei einem Kapillardurchmesser von z. B. 2/1000 mm der entsprechenden Zugspannung von 1,5 kg/cm² entgegenzuwirken, scheitert an der Unkenntnis der massgebenden Faktoren. Nimmt man aber an, dass eine Spannung angelegt werden müsste, die an den Elektroden die Wasserzersetzungsspannung überschreitet, so wäre wohl mit einer elektrokinetischen Zurückdrängung des kapillar aufsteigenden Wassers zu rechnen. Die an den Elektroden sich einstellende Gasentwicklung – Wasserstoff und Sauerstoff – würde den elektrischen Stromfluss hemmen und damit die elektrokinetische Wirkung, sowie den Entfeuchtungsprozess herabsetzen. Die Höhe der anzuwendenden elektrischen Spannung ist aus Sicherheitsgründen für den Menschen beschränkt; Spannungen über 10 Volt sind kaum zulässig. Ausserdem ist ein Abbau der Elektroden zu erwarten. Diese Tatsachen sind offenbar die Gründe für das Nichtdurchsetzen dieses Verfahrens in der Praxis.

Die beim Durchfliessen eines saugfähigen Materials entstehende elektrische Spannung ist vor allem von der Fliessgeschwindigkeit der Flüssigkeit abhängig. Diese ist aber beim kapillaren Aufstieg gering, weshalb nur sehr kleine Spannungen erzeugt werden, die sich ständig über das feuchte Mauermaterial abbauen.

Zwischen der Kupferelektrode im trockenen Mauerteil und derjenigen im nassen Mauerteil wird in der Regel eine Ruhepotential-Differenz unter einem Volt gemessen. Dieses Ruhepotential wirkt, wie schon erwähnt, gemäss der Lenzschen Regel der Kapillarwirkung entgegen. Die Vernichtung dieser Spannung, dadurch, dass man an dieser Stelle an der oberen Grenze der kapillaren Wasserdurchdringung Metallsonden einbaut und dieses mit der nassen Erde verbindet, würde dem angestrebten Effekt direkt entgegenwirken. Das Einlegen eines geerdeten Leiternetzes ist demnach *wirkungslos*. Tatsächlich wurde durch sich über 10 Jahre erstreckenden Messungen durch die EMPA die Unwirksamkeit dieses Verfahrens belegt [11].

5. Stellungnahme zum Artikel in SBZ vom 28.9.1972

5.1. Es werden drei Verfahren zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes von Mauermaterial angegeben, wobei nur die beiden Verfahren an Bohrproben das Prädikat «zuverlässig» zugeteilt erhalten. Eine Begründung, warum das dritte Verfahren diese Wertschätzung entbehren muss, fehlt. Wer weiss, wie aufwendig und problematisch die Bestimmung des Wasser-

gehaltes anhand herausgebohrter und dabei erwärmten Proben aus Mörtel und gegebenenfalls verschiedenartigen Gesteinen ist, da mindestens 6 Proben (Bei einer grösseren Streuung als $\pm 20\%$ gegenüber dem Mittelwert sind weitere 6 Proben zu entnehmen) für einen repräsentativen Mittelwert notwendig sind, wird viel häufiger der Ohmsche Widerstand vor der Installation des Leiternetzes und nach einer gewissen Zeitdauer, d.h. im Augenblick, da angeblich eine Wirkung des Entfeuchtungsverfahrens festgestellt wird, über ein und dieselbe Messstrecke gemessen. Dieses von der EMPA an einer grösseren Zahl von Objekten getestete Verfahren ist zweifellos brauchbar. Da die Feuchtigkeitsvorgänge und die Verdunstungsprozesse in den Mauerwerken aus Naturstein langsam vor sich gehen, sind diese mindestens über ein Jahr, besser zwei Jahre zu verfolgen. Dasselbe gilt natürlich auch für die Bohrproben.

5.2. Mauern sind permeable Körper, aber keine «selektive» Membrane.

5.3. Elektroosmose ist keine Folge «der Diffusions- und Membranpotentialfelder», sondern ein Ergebnis des Doppelschichtpotentials ζ (Zeta-Potential).

5.4. Die Behauptung «organische Stoffe im Wasser sollen die maximale Steighöhe und die Steiggeschwindigkeit erhöhen», konnte in der Literatur nicht bestätigt gefunden werden. Jedenfalls setzen alle organischen Stoffe nach *Kohlrausch*, Tab. 44 [7] die Oberflächenspannung des Wassers herab.

5.5. «Beim Aufsteigen des Wassers in den Kapillaren der Mauer (infolge der Kapillarkräfte) entstehen elektrische Felder, und diese verursachen nun wieder elektroosmotische Wasserbewegungen, welche meistens gegen die Kapillarkräfte gerichtet sind, manchmal aber auch in Richtung der Kapillarkräfte wirken.» (Zitat Anderegg). Bereits Zöllner hat 1872 festgestellt, dass beim Strömen von Wasser durch die Kapillaren an deren Enden elektrische Spannungen auftreten. Wie schon erwähnt, muss aus der Lenzschen Regel geschlossen werden, dass diese Spannung der kapillaren Strömung entgegengerichtet sein muss, warum wird dann dieser erwünschte Effekt durch ein geerdetes Leiternetz unwirksam gemacht?

5.6. Der folgende Absatz ist unverständlich und muss als Wunschedenken bewertet werden. Demgegenüber muss als Tatsache festgehalten werden, dass wenn das durch die Wasserbewegung erzeugte elektrische Feld durch ein Leiternetz zum Zusammenbrechen gebracht wird, die Wirkung der Kapillarkräfte bleiben.

5.7. In Bild 5 ist der Baugrund positiv gepolt, bei Bild 6 dagegen negativ. Der Baugrund soll also durch die Erdung des Leitersystems negativ aufgeladen werden?

Die vorstehenden Ausführungen haben gezeigt, dass die kapillare und elektrokinetische Durchdringung der Baustoffe von zahlreichen, im einzelnen nicht erfassbaren Faktoren abhängt, was ein quantitatives Erkennen der Ursachen und ein Berechnen der Wirkungen unmöglich macht. Der Erfolg oder Misserfolg einer Entfeuchtungsanlage kann deshalb nur durch eine Messung des Feuchtigkeitsgehaltes vor und nach der Inbetriebnahme der Anlage oder aber durch wiederholte Messung des Ohmschen Widerstandes bezeugt werden, aber niemals durch theoretische unbestätigte Überlegungen. Weder im Artikel SBZ 28.9.1972 noch in den ausländischen Veröffentlichungen sind Messergebnisse über längere Zeitschnitte zu finden. Von einem seit einigen Jahrzehnten angewandtem Entfeuchtungsverfahren sollten doch Messerfahrungen bekannt gegeben werden können. Jedenfalls ist die Veröffentlichung falschverstandener Begriffe aus der Literatur kein Beweismittel für die Wirksamkeit eines Verfahrens.

Ein Grossteil der mit derartigen «Entfeuchtungsanlagen» ausgerüsteten Gebäulichkeiten musste oder sollte nachträg-

lich saniert werden, z.B. Historisches Museum (Barfüsserkirche) in Basel, altes Gemeindehaus in Dietikon, Beinhaus in Steinen.

Solange keine positiven Ergebnisse zuverlässig durchführter Messungen über mindestens ein Jahr, wenn nicht schlüssig sogar über 2 bis 3 Jahre vorliegen, kann die Anwendung eines Entfeuchtungsverfahrens vor allem bei wertvollen, geschützten Bauten nicht verantwortet werden.

Für die Durchsicht vorstehender Zeilen bin ich den Herren RA Dr. M. Hottinger und Dr. K. M. Österle (Kap. 3) zu grossem Dank verpflichtet.

Literaturangaben

- [1] F. Zöllner: «SB Sächs. Akad. Wissenschaften» 24, 317 (1872)
- [2] N. Thon: «Zeitschrift physikalische Chemie» A 147, 147 (1930)
- [3] Wissenschaftliche Forschungsberichte, P. H. Praunitz und J. Reistötter. Elektrophorese, Elektroosmose, Elektrodialyse. Verlag von Theodor Steinkopp (1931)
- [4] Diskussionsbericht der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA) Zürich-Dübendorf. P. Haller «Die Dachziegel aus gebranntem Ton» (1937)
- [5] Bauen in Kriegszeiten. Schriftenreihe zur Frage der Arbeitsbeschaffung. Bautechnische Reihe Nr. 6 P. Haller «Natursteine, künstliche Steine, Leichtbaustoffe», Polygraphischer Verlag AG, Zürich (1942)
- [6] Kolloidchemisches Handbuch, herausgegeben von Alfred Kuhn. Leipzig. Akademische Verlagsgesellschaft Geest und Portig K.-G (1960)
- [7] Praktische Physik, Band 2. F. Kolrausch. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft. Stuttgart (1962)
- [8] H. van Olphen: «An Introduction to Clay Colloid chemistry», Interscience publishers a division of John Wiley & Sons. New York, London (1963)
- [9] Paul Wieden: «Das Entfeuchten von Mauerwerk unter besonderer Berücksichtigung des elektro-osmotischen Verfahrens». Verlag von Wilh. Ernst & Sohn. Berlin, München (1965)
- [10] Wilh. Wittmann und Otto Drögsler: «Mauerfeuchtigkeit». Strassenbau, Chemie und Technik Verlagsgesellschaft mbH. Heidelberg (1967)
- [11] Sonderdruck Schweiz. Bauzeitung, 14. November 1968, P. Haller: «Verfahren zur Entfeuchtung von Mauerwerk in Hochbauten»
- [12] A. Coehn: Wied. Ann. Phys. N.F.64, 217 (1898); Zschr. für Elektrochemie 16, 586 (1910); A. Coehn und U. Raydt, Ann. Phys. (4) 30, 777 (1909)
- [13] Schottky, Ulrich, Wagner: Handbuch der Thermodynamik (1929) Hermann: Über die Ableitbarkeit der Lenzschen Regel aus anderen Prinzipien. Ubl. Math. Nat. 42 (1936)
G. Oberdorfer: Lehrbuch der Elektrotechnik I pg. 342 (1948)

Adresse des Verfassers: Prof. P. Haller, Regensbergstrasse 54, 8050 Zürich.

Hans C. Egloff zum 80. Geburtstag

Dreizehn Jahre hat H.C. Egloff den Verein für ein Technorama der Schweiz präsidiert. Bei seinem Rücktritt an der Generalversammlung 1970 ist er «in Anerkennung seines initiativen, umsichtigen und unermüdlichen Einsatzes» zum Ehrenpräsidenten ernannt worden. Die weitere Entwicklung konnte er nun jüngeren Kräften überlassen, war man doch an einer entscheidenden Wende angelangt; unter dem Namen «Technorama der Schweiz» war eine Stiftung gegründet worden. Ihr obliegt die Finanzierung und der Bau des Technoramas. Der Stiftungsrat, dem bedeutende schweizerische Persönlichkeiten angehören, wird präsidiert vom Stadtpresidenten von Winterthur, Ing. Urs Widmer.

Der ursprüngliche Verein nennt sich seither «Schweizerische Gesellschaft Pro Technorama». Er hat der Stiftung das umfangreiche Ausstellungsgut und die auf dem Areal des Technoramas bereitstellte Lagerhalle sowie sein tüchtiges