

DGZfP-Berichtsband BB 69-CD Vortrag A4

## Elektroosmos - en jämförelse mellan teoretiska förutsägelser och experimentella resultat

G. Scherpke, U. Schneider, Technische Universität Wien

---

### Sammandrag

En viktig del av saneringen av gamla byggnader är dräneringen och avsaltningen av byggnadsdelar. I detta syfte erbjuds och används för närvarande många förfaranden på marknaden, varav gruppen av elektroosmotiska förfaranden för dränering av murverk utvärderas i denna rapport.

För en vetenskaplig bedömning har det hitintills inte funnits tillräckligt med kunskaper om och erfarenheter av vätskors transportegenskaper i porösa byggnadsmaterial, när yttre elektriska spänningar läggs på. I praktiken har det ofta inte gått att entydigt bedöma, huruvida en mur har dränerats genom det tillämpade elektroosmotiska saneringsförfarandet, genom de åtföljande åtgärderna eller helt enkelt genom gynnsamma klimatförhållanden. Det föreliggande arbetet bidrar till att fylla dessa luckor.

Här presenteras resultat av laboratorieförsök för mätning av elektroosmotiska fukttransportkoefficienter från fuktiga respektive salthaltiga sandstens- och tegelprover (som förhandslagrats i vatten respektive NaCl-lösningar). Den motsvarande fukttransportmekanismen i de indränkta byggnadsmaterialproven, påvisas experimentellt, jämförs med teoretiska förutsägelser och diskuteras.

Slutligen beskrivs de framställda resultatens följder för den praktiska byggnadsverksamheten, dvs. dräneringen av fuktiga murverk.

### 1 Inledning

Ett elektriskt dubbelskikt är en laddningsfördelning, vilken uppstår vid fasgränsen mellan två medier (t.ex. fast ämne och vätska) och vid vilken två motsatta laddade skikt av laddningsbärare befinner sig mittemot varandra. I byggnadsväsendet förekommer denna effekt vid kapillär fukttransport genom porösa byggnadsmaterial. Genom den saltbelastning som vanligen föreligger i porösa byggnadsmaterial kan den vandrande fukten betraktas som en elektrolytlösning. Här bildas det elektriska dubbelskiktet vid porernas innervägg. Man skiljer mellan laddningen på det fasta materialet självt, laddningen i det skikt som häftar vid mot det fasta materialet (stelt dubbelskikt) och laddningsfördelningen i den rörliga vätskan (diffust dubbelskikt). Bildningen av det

elektriska dubbelskiktet och den därmed förknippade lokala koncentrationen av rörliga laddningsbärare i porösa, vatten- och saltbelastade byggnadsmaterial utgör grunden för de så kallade elektroosmotiska fenomenen, dvs. för fukttransport i ett poröst fast ämne orsakad av en elektrisk spänning, som läggs på utifrån.

Den elektriska potentialen i glidplanet mellan det stela och det diffusa dubbelskiktet kallas för  $\zeta$ -(zäta)-potentialen.  $\zeta$ -potentialernas värde i porösa system kan inte bestämmas med teoretiska metoder vid bestämda omgivningsbetingelser på grund av att det förekommer många inverkanse parametrar (t.ex. jonslag och jonkoncentration, jonbytesprocesser, porositet och genomtränglighet). Därför är  $\zeta$ -potentialen ingen lämplig parameter för att förutsäga eller uppskatta den elektroosmotiska masstransporten på ett tillförlitligt sätt. För att undvika detta problem har vi använt de fenomenologiska ekvationerna i termodynamiken för irreversibla processer för den teoretiska formuleringen av de faktiska sakförhållandet respektive för beräkning av transportkoefficienter för porösa byggnadsmaterial och samtidigt avstått från att ge en uttrycklig framställning av  $\zeta$ -potentialen.

Det är möjligt att bestämma de elektroosmotiska transportkoefficienterna experimentellt med hjälp av den nedan beskrivna försöksanordningen. De mätningar som framställs här genomfördes på praktiskt relevanta kalkhaltiga sandstensprov från Sankta Margareta-stenbrottet (nära Wien) och på vanligt murtegel från firma Wienerberger.

De experimentellt erhållna resultaten ställs mot de teoretiska förutsägelseerna. Därur härleds utsikterna till framgång, när elektroosmotiska anläggningar används för dränering av fuktiga murverk.

## 2 Teoretisk beskrivning av elektroosmotisk fukttransport i porösa byggnadsmaterial

Teorin för elektroosmotiska fenomen [1], som beskrivs med hjälp av den irreversibla termodynamikens fenomenologiska ekvationer och som är baserad på den stationära hydrodynamiska grundekvationen, syftar till att framställa de så kallade elektroosmotiska rörligheterna  $L$ . Ekvation (1) beskriver vätskeströmmen i en elektrolytlösning i ett idealiserat cylindriskt rör vid en tryckskillnad  $\nabla P$  en vid rörändarna pålagd elektrisk likspänning  $\nabla U$  (varvid var och en av dem är normerad med avseende på rörlängden):

$$V = \frac{a^2}{8\eta} \cdot \nabla P + L_{12} \cdot \nabla U \quad (1)$$

- V... vätskans transporthastighet [m/s] i ett rör
- $\nabla P$ ... tryckgradient / Rörlängd [ $N/m^3$ ]
- a... rörradie [m]
- $\eta$ ... elektrolytens viskositet [ $Ns/m^2$ ]
- $\nabla U$ ... spänningsskillnad / Rörlängd [V/m]
- $L_{12}$ ... elektroosmotisk rörlighet

Den första koefficienten i ekvation (1) är en förenklad men tillräckligt noggrann framställning för det faktiska problemet. Förekomsten av den elektroosmotiska rörligheten beror på bildningen av ett elektriskt dubbelskilt respektive en så kallad diffus laddningsfördelning vid gränssytan mellan elektrolyten och rörväggen. Den teoretiska härledningen enligt referens [2] ger:

$$L_{12} = \frac{DRT}{4\pi z_- F \eta_0} \cdot \ln \left( \exp - \left| \frac{z_- F \phi}{RT} \right| + \frac{B c_\infty}{\eta_0} \right) \quad (2)$$

$z_-$ ... anjonernas valens

$D$ ... elektrolytlösningens dielektricitetskonstant [ $C^2/Nm^2$ ]

$R$ ... allmänna gaskonstanten ( $R = 8,314 \text{ J/mol K}$ )

$T$ ... absolut temperatur [K]

$F$ ... Faradays konstant ( $F = 9,648 \times 10^4 \text{ C/mol}$ )

$\eta_0$ ... viskositeten för rent vatten [ $Ns/m^2$ ]

$\phi$ ... skillnaden i Volt i galvanisk potential för en lösning med elektrokinetisk rörlighet 0 och för den lösning som skall betraktas (identifieras som potentialfall i det diffusa dubbelskiktet, här enligt referens [2]:  $-0,291 \text{ V}$  vid  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ )

$B$ ... korrektionsfaktor för viskositeten (här för NaCl =  $0,06 \times 10^{-6} \text{ Js/mol}$ )

$c_\infty$ ... jonkoncentration i lösningens inandöme [mol/l]

Nedan beskrivs principen för den experimentella bestämningen av dessa koefficienter och dessutom förklaras mätanordningen.

### 3 Mätningens grundprincip

Den vätskemängd med dimensionen [ $kg/m^2s$ ] som strömmar igenom ett genomfuktat byggnadsmaterial med pålagd elektrisk fältstyrka kan mätas under bestämda betingelser. Från de motsvarande mätresultaten kan den elektroosmotiska genomflödeskoefficienten  $X$  respektive rörligheten  $L$  framräknas med hjälp av bland annat ekvation (3) och ekvation (4). Således kan de enligt ekvation (2) teoretiskt beräknade värdet för strömningen i en cylinderformig por jämföras med experimentella resultat.

Grundproblemet inom ramen för de genomförda arbetena har varit mätningen av vätsketransporten genom tvärsnittet av ett regelbundet poröst byggnadsmaterial. Då ytan på ett sådant byggnadsmaterial likaså utgör en tvärsnittsytta måste fukttransportfenomenen fortsätta ditåt och påverka avdunstningsprocessens dynamik. Detta övervägande används i den nedan beskrivna försöksanordningen, som består av två från varandra oberoende mätkretslopp. Dessa mätkretslopp används till att undersöka den mängdmässiga vätskeavdunstningen från fuktiga porösa byggnadsmaterial via deras mittemot varandra liggande framsidor.

Om signifikanta skillnader mellan avdunstningen från de mittemot varandra liggande framsidorna (här: när en elektrisk spänning är pålagd på byggnadsmaterialet) eventuellt förekommer, dras slutsatsen att en riktad vätskeströmning, som orsakas av det elektriska fältet, uppträder inom matrisen. Denna

Strömningen betecknas som elektroosmotisk effekt och storleksordningen bestäms enligt experiment.

Den i referens [3] i detalj beskrivna försöksupställningen för experimentell bestämning av de elektroosmotiska rörligheterna i porösa byggnadsmaterial hänvisar till ekvation (1), de föreliggande experimentella betingelserna gäller för  $\nabla P = 0$ . Därigenom förenklas ekvation (1) till:

$$V = L_{12} \cdot \nabla U \quad (3)$$

Om man multiplicerar denna ekvation med elektrolytens täthet, erhåller man därur elektrolytvätskans mätbara masstransport  $M$ , som induceras av den elektriska spänningen i en por i byggnadsmaterialet:

$$M = X \cdot \nabla U \quad (4)$$

- $M$ ... väsketransport (tidsmässigt massflöde/tvårsnitt) [ $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ ]  
 $X$ ... elektroosmotisk genomflödeskoefficient [ $\text{kg}/\text{mVs}$ ]  
 $\nabla U$ ... spänningsskillnad / Rörlängd [ $\text{V}/\text{m}$ ]

Därefter kan denna fukttransporteffekt jämföras med de krafter som åstadkommer den kapillära uppsugningen av en vätska, när den kommer i kontakt med byggnadsmaterialets yta. Därur kan en utsaga härledas, om huruvida de elektroosmotiska fenomenen räcker kvantitativt för att stoppa respektive tränga tillbaka den kapillära vätskestransporten i ett poröst byggnadsmaterial. Nedan bedöms effektiviteten för de elektroosmotiska dräneringsförfarandena för murar (jämför även referens [4] och [5]).

## 4 Experimentella tillvägagångssätt för bestämning av elektroosmotiska fukttransportkoefficienter

### 4.1 Karakterisering av proven

För att genomföra de beskrivna mätningarna (jämför referens [3]) användes Sankta Margareta-sandstenar med måtten  $4 \times 4 \times 10$  cm (sandsten som delvis innehåller kalcit) och tegelprover. Denna sandsten är praktiskt relevant då den används för sanering av historiska byggnader i Wien, (t.ex. för Stefansdomen) och tillhandahölls i denna form delvis kostnadsfritt av firma Hummel, 1160 Wien. Tegelproven bestod av förstklassigt murtegel, som tillhandahölls av firma Wienerberger och som utgör ett standardmässigt byggnadsmaterial över hela världen.

Undersökningar med en Hg-tryckporosimeter gav de genomsnittliga porradierna som användes för beräkningarna nedan:

Sankta Margareta-sandsten:	10 $\mu\text{m}$
Förstklassigt murtegel från Wienerberger:	0,4 $\mu\text{m}$

Både provkroppar som endast förhandslagrats i vatten och sådana som hade förhandslagrats i vattenhaltiga NaCl-lösningar (1,7 mol/l) eller Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-lösningar (0,6 mol/l) undersöktes.

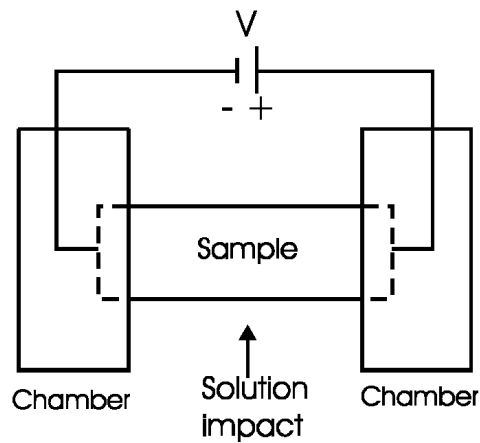


Bild 1: Princip för mätanordningen för mätning av elektroosmotiska fukttransportfenomen

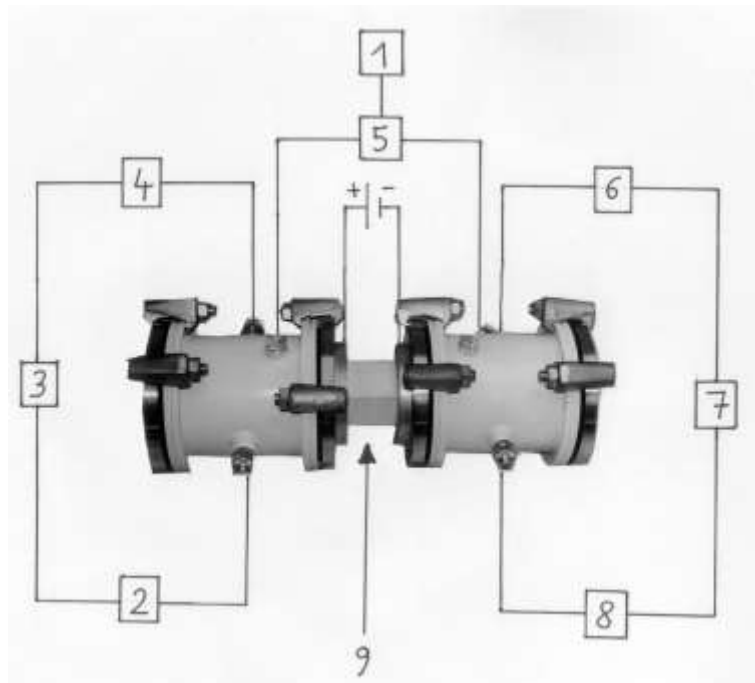


Bild 2: Skiss av den experimentella mätanordningen

- 1.. Monitor
- 5.. Fukt/temperatur-sensorer (vilka är införda i båda kamrarna)
- 2, 6...Luftgenomflödesräknare
- 3, 7...Kiselgelsbehållare
- 4, 8...Membranpumpar
- 9.. Byggnadsmaterialprov

## 4.2 Försöksanordning

Försöksanordningen (se bild 1 och 2) för mätning av elektroosmotiska fukttransportfenomen består av två av varandra oberoende slutna, styrda luftkretslopp, vilka vardera består av avdunstningskammare, membranpumpar, luftgenomflödesräknare, kiselgelsfyllda plexiglasbehållare och känsliga fukt/temperatursensorer, vilka är förbundna via slangledningar. Fukt/temperatursensorerna, vilka är placerade i de båda provframsidornas omedelbara omgivning, registrerar temperatur- och fuktbetingelsernas tidsförlopp i mätkamrarna, dvs. provens avdunstningsförhållanden. När det gäller stegvisa förändringar, t.ex. efter inkoppling av en yttre elektrisk spänning som påläggs på byggnadsmaterialet visas de mycket noggrant och tillordnas till den undersökta fukttransportmekanismen. Därur kan sedan de fukttransportkoefficienter som ligger till grund för dessa avdunstningsändringar härledas (här: elektroosmotiska genomflödeskoefficienter).

De värden som tagits fram på detta sätt för fukttransportkoefficienterna används efter lämplig korrigeringsfaktor för de undersökta byggnadsmaterialprovens porstruktur för en principiell bedömning av det elektroosmotiska förfarandets effekt på dräneringen av murverk, varvid de erhållna resultaten utesluter en rekommendation av sådana anläggningar för detta ändamål i framtiden.

## 5 Jämförelse mellan teoretiska och experimentella resultat för elektroosmotiska fukttransportkoefficienter

I den följande tabellen 1 jämförs de framtagna värdena för den elektroosmotiska rörligheten  $L_{12}$ , vilka beskriver en elektrolyts masstransport genom en cylindrisk por under en bestämd elektrisk fältstyrkas inflytande. Det måste inses att de teoretiskt och experimentellt framtagna värdena för de undersökta sandstens- och tegelproven stämmer väl överens. De mättekniskt betingade relativa felen för  $L_{12}$  uppskattas till max. 20 %. Under mätningen uppgick fukthalten till ca. 4 M.-% (sandsten) respektive till ca. 20 M.-% (tegel). Kloridhalten i proven var 0,28 M.-% (sandsten) och 0,7 M.-% (tegel). Den pålagda elektriska fältstyrkan för framtagning av mätvärdena var 200 V/m (sandsten) respektive 100 V/m (tegel).

De värden för  $L_{12}$  som erhöles genom mätning sätts in i ekvation (1) och man kan på detta sätt balansera den beskrivna elektroosmotiska fukttransporteffekten respektive de därmed förbundna trycken med de kapillärtryck på byggnadsverket vilka skall "bekämpas", såsom framställt i följande avsnitt.

**Tabell 1** Jämförelse mellan teoretiskt och experimentellt framtagna elektroosmotiska rörligheter  $L_{12}$ 

Provbeteckning	Förhandslagring	$L_{12}$ [ $m^2/Vs$ ] (teoretiskt)	$L_{12}$ [ $m^2/Vs$ ] (experimentellt)
Sandstensprov S1	NaCl	$1,3 \times 10^{-9}$	$2.4 \times 10^{-9}$
Sandstensprov S2	NaCl	$1,3 \times 10^{-9}$	$4.0 \times 10^{-9}$
Sandstensprov S3	NaCl	$1,3 \times 10^{-9}$	$2.0 \times 10^{-9}$
Sandstensprov S4	NaCl	$1,3 \times 10^{-9}$	$1.2 \times 10^{-9}$
Tegelprov Z1	NaCl	$1.0 \times 10^{-9}$	$4.3 \times 10^{-10}$
Tegelprov Z2	NaCl	$1.0 \times 10^{-9}$	$4.7 \times 10^{-10}$
Tegelprov Z3	H <sub>2</sub> O	$2.4 \times 10^{-9}$	$9.0 \times 10^{-10}$
Tegelprov Z4	H <sub>2</sub> O	$2.4 \times 10^{-9}$	$4.0 \times 10^{-10}$

## 6 Resultatens effekter på den praktiska byggnadsverksamheten

De elektroosmotiska genomflödeskoefficienterna  $X$ , som i de ovanstående kapitlen beskrivits teoretiskt och påvisats experimentellt, och de därur beräknade rörligheterna  $L_{12}$  för sandstens- och tegelprov används inom byggnadsväsendet i samband med elektroosmotiska förfaranden som erbjuds på marknaden för dränering av murverk. Dessa förfaranden har tagits med i ÖNORM B 3355 (Dränering av fuktiga murverk). De erhållna mätresultaten möjliggör en uppskattning av storleksordningen för sådana saneringsmetoders principiella verkan. Denna genomförs här på grundval av ovannämnda randvillkor för kalkhaltig Sankt Margareta-sandsten för  $L_{12} = 10^{-9} m^2/Vs$  respektive för förstklassigt murtegel, från firma Wienerberger för  $L_{12} = 10^{-10} m^2/Vs$  (jämför tabell 1).

Enligt ekvation (1) beräknas därför en elektrolyts transporthastighet i en byggnadsmaterialpor (under antagandet att E-fältet är riktat i porernas riktning) som:

$$V = \frac{a^2}{8\eta} \nabla P + 10^{-9} \nabla U \quad (\text{sandsten}) \quad (5)$$

$$V = \frac{a^2}{8\eta} \nabla P + 10^{-10} \nabla U \quad (\text{tegel}) \quad (6)$$

$V$ ... vätskans transporthastighet i en por [m/s]  
 $a$ ... porradie [m]  
 $\eta$ ... elektrolytens viskositet [ $\text{Ns/m}^2$ ] (här tillräckligt noggrant:  $0,001 \text{ Ns/m}^2$ )  
 $\nabla P$ ...yttre tryckskillnad/provlängd [ $\text{Ns/m}^3$ ] (här tolkat som kapillärtryck)  
 $\nabla U$ .. elektrisk spänningsskillnad/provlängd, dvs. elektrisk fältstyrka [V/m]

I praktiska tillämpningsfall på en byggnad i vilken fuktighet stiger upp från marken uppträder kapillärtryck. Således gäller betingelsen att  $\nabla P = 0$  som åstadkommes i laboratorieförsöken inte längre. Med de i kapitel 4.1 angivna värdena på de genomsnittliga porradierna för de här diskuterade materialen erhålles följande uppskattning för väsketransporten i en por, som uppkommer genom en kombination av yttre krafter  $P$  (som ännu inte har specificerats närmare här, i det häri beskrivna tillämpningsfallet identifieras de som samspel mellan kapillärtrycket, den kapillära friktionskraften och tyngdkraften) och en pålagd elektriska spänning  $U$ . Minustecknet i ekvation (7) och ekvation (8) skall visa att båda beskrivna transportprocesserna i samband med en sanering måste löpa i motsatta riktningar, när den elektriska spänningen har rätt polaritet.

$$V = 10^{-8} \nabla P - 10^{-9} \nabla U \quad (\text{sandsten}) \quad (7)$$

$$V = 10^{-11} \nabla P - 10^{-10} \nabla U \quad (\text{tegel}) \quad (8)$$

Om man fastställer hejdandet av den kapillärt uppstigande fuktigheten, dvs.  $V = 0$ , som ett minsta mål för dränering av en mur, erhålles det följande i en fylld por för storheten  $P$  som balanseras av  $\nabla P$  och de rådande tyngdkrafterna såväl som av den utifrån pålagda elektriska fältstyrkan  $\nabla U$ :

$$P = 10^{-1} \nabla U \quad (\text{sandsten}) \quad (9)$$

$$P = 10 \nabla U \quad (\text{tegel}) \quad (10)$$

Under antagandet av en elektrisk fältstyrka som skall realiseras i den praktiska byggnadsverksamheten  $\nabla U = 100 \text{ V/m}$  kan man därur härleda att det tryck som skall uppnås på "elektrisk väg" i det undersökta byggnadsmaterialens porer uppgår till 10 Pa (sandsten) respektive 1 000 Pa (tegel).

Detta motsvarar en möjlig elektroosmotisk sänkning av fuktighetsnivån utgående från den maximala kapillära stigningshöjden enligt referens [6] med:

1 mm (sandsten)  
 10 cm (tegel)

Den elektroosmotiska effekten är kvantitativt ringa och verkar i praktiken endast i närheten av den maximala kapillära stighöjden. Detta är en möjlig förklaring till, varför inga vertikala elektroosmotiska effekter har kunnat mätas i flera laboratorieförsök [9] på provkroppar som lagrats i vätska. I dessa fall var väsketrådarnas egenvikt för låg på grund av de ringa pordimensionerna och de elektroosmotiska effekterna var inte tillräckliga för att på något betydande sätt motverka kapillärtrycken.

Sammantaget kan man på grund av de häri presenterade resultaten utgå ifrån, att inga betydande dräneringseffekter är att vänta, med de dräneringsförfaranden för murverk som uteslutande beror på utnyttjande av elektroosmotiska



fukttransporteffekter i detta arbetes mening, på byggnadsmaterial med vanliga porradiefördelningar samt de fukt- och salthalter som är relevanta i den praktiska byggnadsverksamheten. Detta gäller med hög säkerhet för samtliga elektriska spänningsområden som kommer i fråga för detta ändamål.

## 7 Sammanfattning

Enligt teorin för bildning av elektriska dubbelskikt i en por, som genomströmmas, av vätskor är det möjligt att åstadkomma en riktad vätsketransport genom att lägga på en elektrisk likspänning på en porös fuktig kropp. Antagandet att en elektrisk kraft såväl som en yttre tryckgradient ger upphov till vätsketransport i ett poröst system gör det möjligt att formulera detta sakförhållande inom ramen för de fenomenologiska ekvationerna i termodynamiken för irreversibla processer. Den elektroosmotiska genomflödeskoefficienten, som härleddes därigenom, kan påvisas experimentellt och en speciell försöksanordning utvecklades för detta ändamål.

Sammanfattningsvis kan det fastställas att den beskrivna försöksanordningen är lämplig för att påvisa elektroosmotisk fuktighetstransport. Mätningarna genomfördes på praktiskt relevanta sandstensprov från Sankta Margareta-stenbrottet (vilka t.ex. används för renovering av Stefansdomen i Wien) och på vanligt murtegel från firma Wienerberger. Såväl provkroppar som förhandslagrats endast i vatten som sådana som förhandslagrats i vattenhaltiga NaCl-lösningar (1,7 mol/l) eller Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-lösningar (0,6 mol/l) undersöktes.

För de kvantitativt utvärderade proverna erhöles elektroosmotiska rörligheter  $L_{12}$  (jämför ekvation (1)) i storleksordningen  $10^{-9}$  m/Vs för sandsten och  $10^{-10}$  m<sup>2</sup>/Vs för tegel under de beskrivna betingelserna.

Den elektroosmotiska fuktomlagringen ägde i vardera fallet rum i katodens riktning.

Mätningarna på de prover som förhandslagrats i Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-lösningar resulterade inte i några signifikanta resultat, dvs. de elektroosmotiska transportkoefficienterna kunde inte mätas i detta fall på grund av den snabba kristalliseringen av natriumsulfatet och den därmed förbundna tilltäppningen av porerna.

De experimentella resultaten stämmer förhållandevis väl överens med de teoretiskt framtagna parametrarna för fukttransporten.

Den elektrolytiska sönderdelningen av vattenmolekyler och därmed förbundna effekter iaktogs inte inom försökets ram.

Detta arbete har omedelbar praktisk betydelse genom att elektroosmotiska förfaranden tillämpas för dränering av murar. I detta arbete jämfördes för första gången teori och experiment för de fysikaliska och kemiska effekter i porösa byggnadsmaterial som leverantörer av sådana förfaranden åberopar.

De uppmätta fukttransporteffekternas storleksordningar är obetydliga. De kan knappast användas som understöd vid dräneringsåtgärder. I bästa fall kan obetydliga och i praktiken knappast märkbara effekter i den maximala kapillära stighöjdens omgivning åstadkommas.

Bearbetningstekniska aspekter, när elektroder byggs in i ett murverk, vilka gör att vissa övergångsmotstånd kan förväntas i kontaktzonen mot murverket, ökar inte sannolikheten för framgång.

Inget arbete lades här ned på att utveckla ett speciellt elektrodsystem (såsom dem som t.ex. erbjuds för avsättning av murverk), då de genomförda experimentens varaktigheter var tillräckligt korta med tanke på de använda ledande silverelektrodernas korrosionsbeständighet. Mätprincipen, som utvecklats här, kan dock användas till att testa olika elektrodsystem respektive kombinationer av byggnadsmaterial och elektroder med avseende på deras effektivitet beträffande de dräneringsförhållanden som de åstadkommer och deras korrosionsbeständighet, även när högre spänningar läggs på och under hänsynstagande till förhöjda temperaturers inverkan.

Avslutningsvis hänvisar vi till att mycket höga elektriska fältstyrkor (vid de beskrivna betingelserna ca. 900 V/m) åtminstone i elektrodområdet kan framkalla elektrokemiska reaktioner respektive värmeutveckling och fuktomlagringar, vilka inte har någonting att göra med de i detta arbete undersökta elektroosmotiska transportprocesserna orsakade av gränsyteffekter vid porväggarna. Den eventuella nyttan med sådana effekter på dränering av murverk, vilka framkallas genom att högre spänningar läggs på kräver dock ytterligare undersökningar. I detta sammanhang måste i synnerhet inflytandet av respektive faran med högre spänningar respektive fältstyrkor på beständigheten av de material som skall dräneras (t.ex. bindemedel) undersökas.

## 8 Litteratur

- [1] H. J. Oel, Zur Theorie der elektrokinetischen Erscheinungen, in Zeitschrift für Physikalische Chemie, Neue Folge, **5**, 1/2, Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt, 1955
- [2] G. Scherpke, U. Schneider, Elektrochemische Transportprozesse in porösen Baustoffen. Advances in Building Materials Science (Festschrift Wittmann), Seite 375, AEDIFICATIO, Freiburg, Deutschland, 1996
- [3] Scherpke, G.: Bestimmung elektrokinetischer Feuchtetransport-Kenngrößen für poröse Baustoffe für die Bewertung elektroosmotischer Anlagen zur Trockenlegung feuchten Mauerwerks, Dissertation, Technische Universität Wien, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, 1999
- [4] Scherpke, G., Schneider, U.: Elektrisch induzierter Feuchtetransport in Naturstein, Ingenieur-Hochbau. Berichte aus Forschung und Praxis, Festschrift Cziesielski, t Werner-Verlag, Düsseldorf, 1998
- [5] Scherpke, G., Schneider, U.: Prüfverfahren für elektrisch induzierten Feuchtigkeitstransport in porösen Baustoffen, WTA-Schriftenreihe, Heft 17, Berichtsband zum WTA-Kolloquium, Fulda, AEDIFICATIO Verlag Freiburg, 1998

- [6] R. Hohmann, M. J. Setzer, Bauphysikalische Formeln und Tabellen, Werner Verlag, Düsseldorf, 1995
- [7] C. Arendt, Trockenlegung, Leitfaden zur Sanierung feuchter Bauwerke, Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart, 1983
- [8] F. H. Wittmann, Kann das Prinzip der Elektroosmose zur Trockenlegung von Mauerwerk angewendet werden?, Bautenschutz & Bausanierung 4/1981, Seite 126
- [9] Balak M.: Elektrophysikalische Trockenlegungsverfahren, Theoretische Erwägungen, Praktische Erfahrungen, Qualitätssicherung bzw. -bewertung, Tagungsbericht 3. Hanseatische Sanierungstage, Kühlungsborn, 1992, Fachverband für Bautenschutz, Berlin
- [10] N. V. Waubke, Erfahrungen mit Verfahren zur Mauerwerkstrockenlegung, Bauphysik 13 /1991, Heft 5, Seite 153