

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 86 (1968)  
**Heft:** 46

**Artikel:** Verfahren zur Entfeuchtung von Mauerwerk in Hochbauten  
**Autor:** Haller, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-70181>

### **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:** 31.01.2026

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

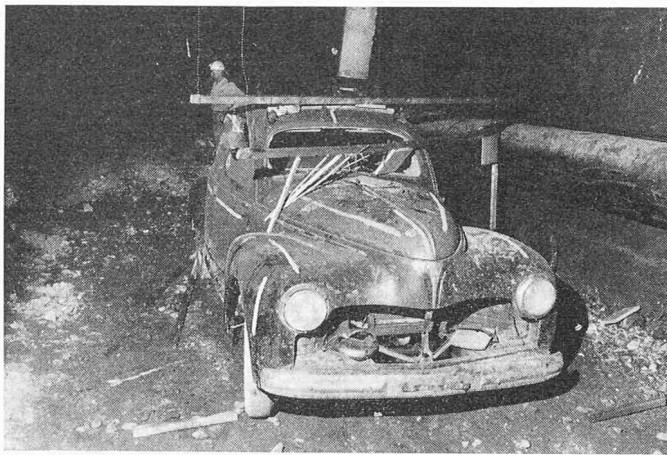


Bild 5. Benzindampf-Explosion in einem Strassentunnel

zu bestimmen<sup>7)</sup>, wonach die vom Explosions- oder Luftstoss auf diese Masse übertragene kinetische Energie berechnet werden kann. Das Verhältnis der Deformations- und Brucharbeit des Bauteiles zur übertragenen kinetischen Energie entspricht dann seiner Sicherheit.

Die Beanspruchung durch lange Druckstösse wurde von der Arbeitsgruppe für den baulichen Zivilschutz behandelt<sup>6)</sup>.

Die in diesem Bericht abgeleiteten Beziehungen dienen als Modellgesetze für die Anwendung anderweitiger Unterlagen auf Explosionen aller möglichen Art.

Die Bilder 3 bis 6 zeigen Beispiele, bei deren Beurteilung die besprochenen Berechnungsmethoden Anwendung fanden.

#### 10. Schlussbemerkung

Es wurde versucht, mit Berücksichtigung aller bedeutenden Fälle, aber mit Ausschaltung von allem Sekundären, die wichtigsten Zusammenhänge der Explosions-Entstehung und -Auswirkung in möglichst einfacher und zugleich allgemeiner Form zu überblicken; zur Anwendung auf gasförmige ( $\gamma_0 = \gamma_M$ ), flüssige ( $\gamma_0 = \gamma_s$ ), und feste Brennstoffe oder oxydierende Materialien einschliesslich Sprengstoffe ( $\gamma_0 = B + \gamma_L$ ), sowie schliesslich auf reine Luftstösse ( $\gamma_0 = \gamma_L$ ,  $F = 0$ ).

<sup>7)</sup> A. Voellmy: Tonnengewölbe. EMPA-Bericht Nr. 136, 1942

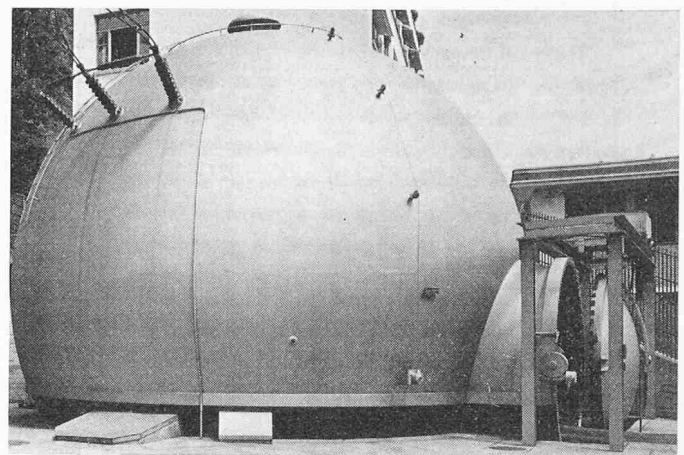


Bild 6. Vom Verfasser vorgeschlagene, im Auftrag der AG Brown, Boveri & Cie, Baden, von Gebrüder Sulzer, Winterthur, konstruierte Druckkammer von 11 m Durchmesser und 20 mm Blechstärke zur Durchführung von Versuchen an Ölschaltern. Der Berechnung wurde eine Explosion von 7,5 kg zerstäubtem Schalteröl zugrundegelegt; dabei ergeben sich der Überdruck der Explosionswelle zu 6,3 at, der dynamische Druck zu 20,9 at, der reflektierte Druck zu 30,5 at und die Stosszeit zu 3/1000 s. Diese Zahlen entsprechen einer Trotyl-Explosion von etwa 10 kg in Behältermitte

Dieses Unterfangen ist in einzelnen Fällen nicht ohne Einbusse an Genauigkeit möglich; doch deckt die Rückkehr zu den Naturgesetzen allgemeine Zusammenhänge auf, die ohne weiteres als Modellgesetze für die Übertragung und Auswertung von Erfahrungen und anderweitigen Unterlagen dienen können, worüber neuerdings, aus Interesse an Nuklear-Explosionen, eine Flut von speziellen Abhandlungen erscheint.

Mephisto meinte:

«Wer will was Lebendigs erkennen und beschreiben,  
Sucht erst den Geist herauszutreiben,  
Dann hat er die Teile in seiner Hand,  
Fehlt leider! nur das geistige Band.»

Zu diesem Band möchten obige Zeilen einen kurzen Faden beisteuern; zur Verbindung der Spezialisten; im Sinne der Grundsätze unseres Direktionspräsidenten Prof. Ed. Amstutz.

Adresse des Verfassers: Dr. A. Voellmy, Höhenweg 20, 8032 Zürich

## Verfahren zur Entfeuchtung von Mauerwerk in Hochbauten

DK 699.62

Von Prof. P. Haller, dipl. Ing., ehem. Abteilungsvorstand der EMPA, Dübendorf-Zürich

### A. Problemstellung

Das teilweise im Erdreich steckende Mauerwerk, bestehend aus natürlichen oder künstlichen Mauersteinen und dem die statischen Spannungen ausgleichenden Mörtel, enthält mehr oder weniger feine zusammenhängende Hohlräume, in denen Grundfeuchtigkeit unter der Wirkung der Oberflächenspannungen des Wassers hochgesogen wird. Diese Wasserströmung wirkt sich schädlich aus und muss daher vermieden werden. Dazu geeignete Verfahren werden nachfolgend beschrieben.

### B. Theoretische Überlegungen

Die in einer zylindrischen Kapillare saugende Kraft ist<sup>1)</sup>

$$P = \alpha 2 \pi r_m \sigma.$$

$\alpha$  wird zu 1, sobald eine vollständige Benetzung vorliegt, was in der Regel zutrifft. Die mittlere Geschwindigkeit des Wasserfadens in einer zylindrischen Kapillare kann angenähert zu

$$v_m = \frac{\sigma}{4 \eta} \frac{r_m}{l_m}$$

berechnet werden.

Als Arbeitsmodell diene eine freistehende, teilweise im nassen Baugrund steckende Mauer mit zylindrischen, vertikalen Kapillaren nach Bild 1. Je Flächeneinheit seien  $n$  solcher Kapillaren vorhanden, so dass der gesamthaft geförderte Wasserfluss

$$Q_1 = n r^2 \pi v_m \text{ cm}^3/\text{s}$$

beträgt.

<sup>1)</sup> Bezeichnungen siehe am Schluss des Aufsatzes.

Die Anzahl der Kapillaren je Flächeneinheit kann angenähert aus der Porosität  $p$  berechnet werden, wenn man voraussetzt, die Kapillaren seien gleichmässig auf die drei Richtungen verteilt.

$$p = 3 n r_m^2 \pi l_1, \text{ woraus } n = \frac{p}{3 r_m^2 \pi l_1}.$$

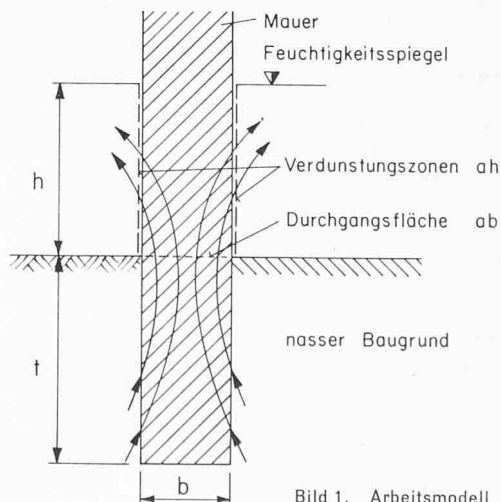


Bild 1. Arbeitsmodell

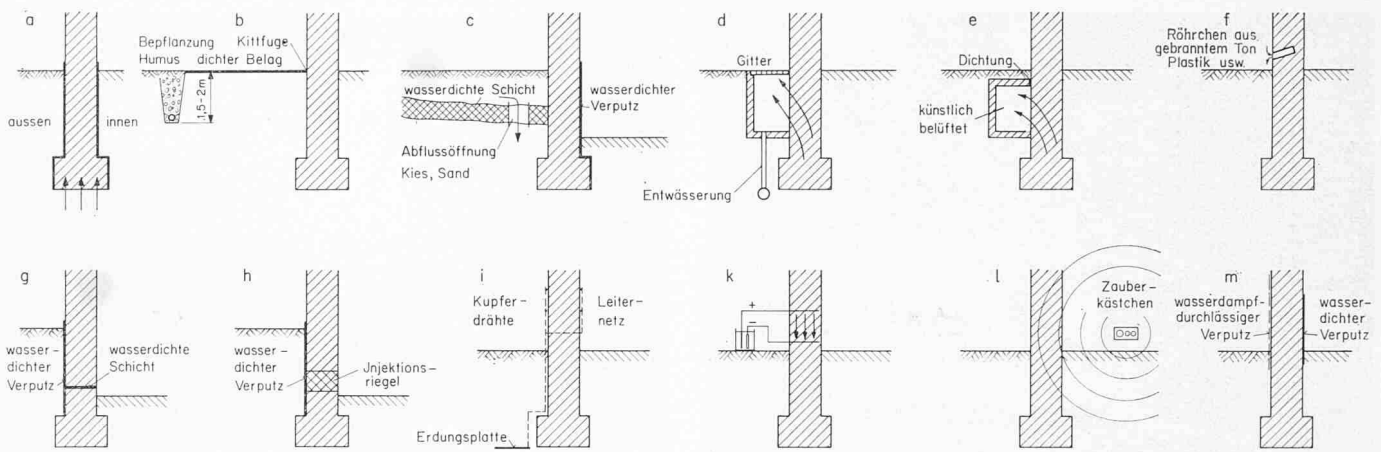


Bild 2. Beispiele für verschiedene Entfeuchtungsverfahren

Der durch die Fläche ( $a$ ) wandernde Wasserfluss berechnet sich demnach zu

$$Q'_1 = 1/3 p v_m a b.$$

Der auf beiden herausragenden Mauerflächen verdunstende Wasserstrom ist

$$Q'_2 = 2 \varepsilon a h.$$

Im stationären Zustand müssen beide Wasserflüsse gleich gross sein, woraus sich die Höhe  $h$  der Verdunstungsfläche zu

$$h = \frac{p b v_m}{6 \varepsilon} = \frac{p b}{6 \varepsilon} \frac{\sigma}{4 \eta} \frac{r_m}{l_m}$$

ergibt. Setzen wir für die mittlere Kapillarlänge  $l_m$  den Wert  $l_m = 1/2 (h + t)$  ein, so erhalten wir den Ausdruck

$$h (h + t) = \frac{p b r_m}{\varepsilon} 580 \text{ cm}^2.$$

Darin wurde  $\sigma/\eta = 7000 \text{ cm/s}$  eingesetzt.

Die wirklich vorhandenen Kapillaren wechseln ihren Querschnitt; dieser weicht ausserdem mehr oder weniger von der Kreisform ab, weshalb sich die Zugkraft und die Fliessgeschwindigkeit in den einzelnen Kapillaren ständig ändern. Im Schnitt über die vielen Kapillaren werden sie jedoch von der gegebenen Beziehung kaum wesentlich abweichen.

Beim Austrocknungsvorgang spielt die Variabilität der an der Oberfläche angeschnittenen Kapillaren eine entscheidende Rolle. Das Austrocknen wird um das Vielfache beschleunigt, wenn der Meniskus in den feineren, je Flächeneinheit kräftiger ziehenden Kapillaren ständig an die Oberfläche vorgezogen wird, wobei das Wasser ohne grösseren Widerstand in den Luftraum hinaus verdunstet kann. Als weitere Annäherung sind bei der Berechnung der Kapillanzahl aus der Porosität der Ausdruck für die Geschwindigkeit und die Angabe der mittleren Weglänge zu wählen. Während der mittlere Kapillarradius für die Mauersteine und den Mörtel aus der Steighöhe nach einer gewissen Zeitspanne berechnet und auch die Porosität der beiden Baustoffe ermittelt werden kann, stösst die Bestimmung des Verdunstungskoeffizienten aussen und innen auf grosse Schwierigkeiten. Dieser schwankt nicht nur täglich und jährlich, sondern ist stark von der herrschenden Witterung: Temperatur, Sonnenwärmestrahlung, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und einem allfälligen Pflanzenschirm abhängig.

Da im Natursteinmauerwerk sehr oft petrographisch verschiedene Steine zur Verwendung kommen, stösst die Berechnung der Verdunstungshöhe auf unüberwindliche Schwierigkeiten. Normalerweise ist die Höhe der Verdunstungsfläche jedoch bekannt, sodass sich der mittlere Verdunstungskoeffizient bei gegebenem Kapillarradius und Porosität sowie bei gegebenem Verhältnis Mauerstein zu Mauer Mörtel berechnen lässt. In der Regel sind diese Materialwerte und der Verdunstungskoeffizient nicht bekannt, weshalb der abgeleitete Ausdruck lediglich zur Beurteilung des Einflusses der einzelnen Faktoren auf die Höhe der Verdunstungsfläche herangezogen werden kann. Diese Höhe wächst zweifelsfrei

1. mit der Dicke der Mauer,
2. mit der Porosität des Mauer Mörtels und des Mauersteines
3. mit den Kapillarradien,
4. mit abnehmender Fundamenttiefe,
5. mit der Verschlechterung der Verdunstungsbedingungen.

Selbstverständlich spielt auch der Nachschub von Wasser zum Mauerwerk im Erdreich dabei mit. Die Porosität und die Kapillarradien, das heisst die Durchlässigkeit des Erdreiches sind mitbestimmend.

Auffallend ist, dass sich die Höhe der Verdunstungsfläche nur proportional mit den Kapillarradien verändert. Bei dichten Mauersteinen: Kalksteine, Quarzite usw. wird das Wasser nur durch den Mörtel aufgesogen, weshalb dessen Porosität und die Saughöhe neben dem Anteil Mauer Mörtel/Mauerstein für die Höhe der Verdunstungsfläche entscheidend sind.

Der Nässepegel schwankt während des Verlaufes eines Jahres, weil sich die äusseren Bedingungen, die Verdunstung und der Nässe nachschub, verändern. Wenn zum Beispiel eine innere dichte Schicht die Verdunstung nach innen behindert, wird aussenseitig die Verdunstungsfläche ansteigen. In geheizten Gebäuden verändert sich die Feuchtigkeitwanderung aus dem Erdreich zufolge der dabei auftretenden Veränderung des Wasserdampfdruckgefälles. Dabei wird gleichzeitig auch die Verdunstung auf der Raumseite beträchtlich beeinflusst. Wasserdampfkondensation verstärkt ebenfalls den Wassergehalt der Mauer.

### C. Massnahmen zur Bekämpfung der kapillar aufsteigenden Grundfeuchtigkeit

Die theoretische Betrachtungsweise lässt schon eine Reihe von Möglichkeiten zur Bekämpfung der kapillar aufsteigenden Nässe erkennen:

1. Eine *wasserdichte Schicht*, die beidseitig des im Erdreich steckenden Mauerwerkes aufgebracht wird, unterbindet den Wassereintritt durch die Seitenflächen, doch bleibt die Fundamentsohle für die Grundfeuchtigkeit zugänglich, Bild 2a. Das selbe erreicht man bei aggressivem Wasser durch einen *wasserdichten Zementmörtel* mit zweimaligem Anstrich mit Bitumenlack oder Bitumenemulsion oder durch eine Lehm packung. Ist das Erdreich innenseitig des Mauerwerkes trocken, so ist die Dichtungsschicht nur aussenseitig anzubringen.
2. Weist das anschliessende Gelände einen begehbaren Belag auf, so kann das Meteorwasser durch einen Sickerschacht mit Drainleitung am Rand dieser Zone abgefangen werden, Bild 2b. Bei Pflästerungen ist unter diesen eine dichtende Betonplatte mit Gefälle gegen den mindestens 1,2 bis 2 m tiefen Sickerschacht vorzusehen. Je grösser der Abstand des Sickerschachtes vom Gebäude ist, das trocken gehalten werden soll, desto grösser ist der Fliesswiderstand, das heisst desto kleiner ist die noch zum Gebäude fliessende, bzw. im Erdreich kapillar bewegte Wassermenge.
3. Ist der Untergrund kiesig oder sandig, das heisst für Wasser durchlässig, so kann eine lehmige Schicht, auf der Wasser gegen das Gebäude geführt wird, aufgeschnitten werden, so dass das Wasser in die tiefer liegende durchlässige Kiesschicht versickert, Bild 2c.

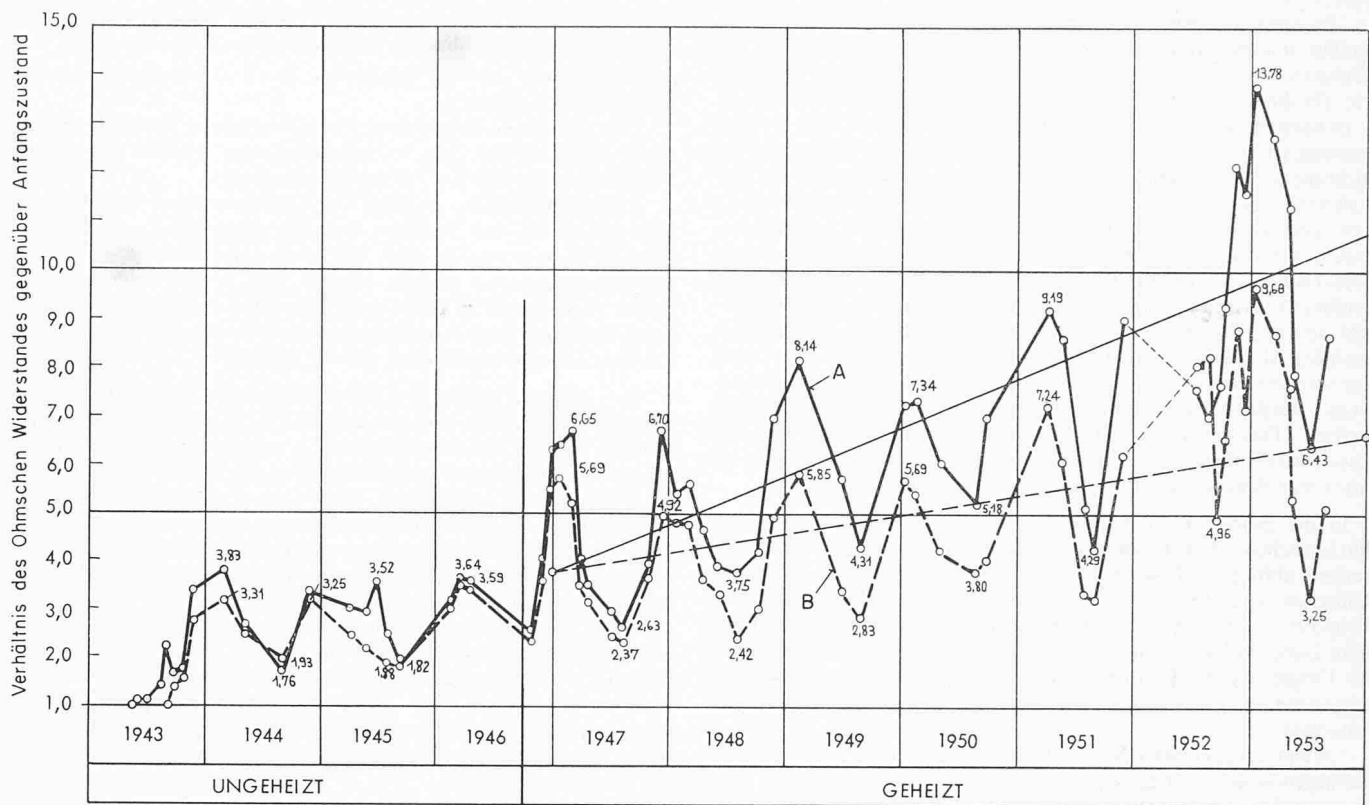


Bild 3. Ergebnisse von Messungen des ohmschen Widerstandes am Mauerwerk aus natürlichen Bausteinen des Chores der Predigerkirche in Zürich, ausgeführt durch die EMPA. Aufgetragen sind die Mittelwerte von drei Messstellen. Die Messungen begannen unmittelbar nach dem Auftragen eines neuen Verputzes

**Kurve A** (ausgezogen): Messungen auf der NW-Seite der Kirche, wo ein geerdetes Leiternetz nach Bild 2i eingebaut war; Elektrodenabstand 25 bis 85 cm. Durch Häuser beschränkte Sonnenbestrahlung, dem Wind ausgesetzte Wand

**Kurve B** (gestrichelt): Messungen auf der SO-Seite (Predigerplatz), wo «Knapen»-Röhrchen aus gebranntem Ton nach Bild 2f eingebaut waren. Elektrodenabstand rund 2 m. Durch Bäume und Häuser stark behinderte Besonnung, wenig Wind

**Folgerungen:** In den Kriegsjahren 1943 bis 1945 und im darauffolgenden Winter konnten die Räume des im Chor der Kirche untergebrachten «Schweiz. Sozialarchivs» nicht geheizt werden. Der Ohmsche Widerstand bezogen auf den Anfangswert schwankte nach dem Austrocknen des bei den Verputzarbeiten eingeschleppten Wassers im Falle A um den 2,5fachen, im Falle B um den 2,9fachen Wert. Während den Herbstmonaten stieg der Verhältnisswert (Trocknung) an und erreichte im Dezember bis Februar das Maximum, worauf dieses fiel, um im August bis September den höchsten Wassergehalt anzuzeigen. Nach Inbetriebnahme der Heizung im Winter 1946/47 stellte sich ein Diffusionsgefälle durch das Mauerwerk nach aussen ein, unter dessen Wirkung Wasser in die Aussenluft ab-

wanderte. Die Messergebnisse lassen tatsächlich eine intensivere Austrocknung im Winterhalbjahr feststellen. In den heizfreien Monaten wird aber wieder Wasser in stärkerer Masse als bei fehlender Winterheizung kapillar nachgesogen. Unter der Wirkung der Heizung ist ein Anstieg des Ohmschen Widerstandes, also eine Trocknung je Jahr im Falle A von 0,2 und im Falle B von 1,0 Einheiten festzustellen. Die Ursache dieses Unterschiedes ist in den unterschiedlichen Verdunstungsbedingungen auf der SO- und der NW-Seite der Kirche zu suchen.

Die vorliegenden Versuche haben keine wesentliche trocknende Wirkung der angewandten Verfahren auf das kapillar durchnässte Mauerwerk nachweisen lassen.

4. Wird dem Mauerwerk die Möglichkeit gegeben, schon in den Schichten unter Boden das aufgesogene Wasser an die Umgebungsluft abzugeben, so können die über Boden sichtbaren Bauteile trocken gehalten werden, Bild 2d.

Der Entlüftungsschacht wird mit einem Gitter abgedeckt. Laub, Sand und Staub werden sich am Boden ansammeln und sind periodisch zu entfernen. Der Schacht muss demnach zu diesem Zweck eine genügende Breite aufweisen. Kann Meteorwasser in den Schacht eindringen, so ist dieser zu entwässern. Der Schacht kann oben mit Erde abgedeckt werden, wenn zum Beispiel U-förmige Betonschalen gegen die zu entfeuchtende Mauer gestellt werden und der Schacht, der mindestens bekriechbar sein muss, zeitweise künstlich belüftet wird, Bild 2e. Die Belüftung ist bei trockenem Wetter genügend lang durchzuführen, sodass Kondenswasser, das sich anfänglich bilden könnte, wieder verdunstet; dies geschieht, sobald sich das Mauerwerk über den Taupunkt erwärmt hat (Kloster Fahr).

5. Wird die Mauer durchschnitten – weiche Gesteine können durchsägt werden, harte Mauersteine müssen ausgebrochen werden – und eine wasserdichte Schicht eingelegt, so lässt sich die kapillare Durchdringung des oberliegenden Mauerwerkes unterbinden, Bild 2g. Diese Arbeit muss aus statischen Gründen etappenweise durchgeführt werden. Die Dichtungsschicht darf auch bei örtlich stärkeren De-

formationen nicht aufreissen, weshalb in sie eine verformbare Seele eingelegt werden muss. Bleifolien oder weiches Kupferblech haben sich für diesen Zweck gut bewährt. Die Dichtungsschicht muss an den Stossstellen überlappt und verklebt werden. Um Setzungen zu vermeiden, muss die Dichtungsschicht auf eine vorbereitete, ebene Unterlagsschicht (Zementmörtel) verlegt werden; darüber liegende Hohlräume sind restlos auszufüllen. Grössere Hohlräume sind auszumauern und die kleineren mit Zementmörtel und schliesslich mit Zementbrei unter Druck auszufüllen.

Dass die Mauern und auch die Zwischenwände vollkommen durchschnitten werden müssen, dürfte einleuchten. Diese radikale und sichere Methode ist eine Vertrauensarbeit, die nur ausgewiesenen Fachleuten anvertraut werden darf. Leider sind derartige Arbeiten, besonders bei dickem Mauerwerk, erheblich aufwendig.

6. Es wird immer wieder versucht, die Kosten für diese Dichtungsarbeiten zu senken und Verfahren anzuwenden, die einen vollwertigen Ersatz für das unter 5. beschriebene sichere Verfahren zur Trockenlegung von Mauern bieten sollen, Bild 2h. Durch das Einpressen von Lösungen (Aufschwemmungen oder Emulsionen) in vorgebohrte Löcher unter Druck, die in den Hohlräumen des Mörtels dichtende Materialien deponieren, kann ein dichtender Riegel erzeugt werden, durch welchen die kapillare Durchdringung möglichst vollkommen unterbrochen wird.

Es muss also eine ununterbrochene, für Wasser undurchlässige, kapillar undurchdringbare Schicht geschaffen werden. Nur in den seltensten Fällen dürfte dieses Ziel mit *einer* Lochreihe zu erreichen sein. Da die Löcher mit dem eingepressten Material gedichtet werden, ist es notwendig, neue Löcher in die Fugen zu bohren, und die Einpressung ist zu wiederholen, damit noch verbliebene Lücken in der Dichtungsschicht geschlossen werden. Diese Tatsache gilt für alle Injektionsmittel. Auch in den Löchern treibende, das heisst an Volumen zunehmende Substanzen können daran nichts wesentliches ändern. Ob der Sperrriegel wirklich vollkommen ist, kann an jedem Objekt nur durch eine Kontrollmessung (siehe Abschnitt D) bewiesen werden. Das Verfahren muss solange fortgesetzt werden, bis die Mehrzahl der Kapillaren unterbrochen und die Trocknung des darüberliegenden Mauerwerkes festgestellt wird. Es kann nur dann von Erfolg begleitet sein, wenn die Bohrungen den örtlichen Gegebenheiten angepasst werden. Der Ausführende muss über langjährige Erfahrungen verfügen. Das Verfahren ist und bleibt problematisch; in jedem Fall muss deshalb der Erfolg durch Messprotokolle über mindestens ein Jahr unter Beweis gestellt werden.

7. In die gebohrten Löcher versetzte Tonröhrchen (Knapen) oder durchbrochene Plastikröhrchen sollen die Feuchtigkeit des Mauerwerkes abführen, Bild 2f. In den leicht nach aussen geneigten Röhrchen wird die Luft abgekühlt und fällt nach unten aus dem Röhrchen heraus, wobei frische Aussenluft nachgesogen wird. Durch diese Luftzirkulation soll nun im Laufe der Zeit das Mauerwerk in der Umgebung des Röhrchens entfeuchtet werden. Diese Entfeuchtungszonen müssen sich überschneiden, woraus sich der Abstand der Röhrchen ergibt.

Wenn ein geeigneter Versetzmörtel gewählt wird, ist mit diesem Verfahren in der Anfangszeit ein Erfolg zu verzeichnen. Mit der Zeit lässt jedoch die entfeuchtende Wirkung nach, Bild 3. Der Grund dafür muss im Verstopfen der Kapillaren im Tonröhrchen oder im Mauerwerk (Stein oder Mörtel) gesucht werden. In der Verdunstungszone, die in der Regel im Festmaterial zu suchen ist, bleiben die löslichen Salze nach Verdunsten des Lösungswassers liegen. Die Kapillaren wachsen langsam zu und die Wirkung hört auf. Dringt in die Röhrchen warme, feuchte Luft, sind ausserdem Kondensationserscheinungen zu erwarten. Im Winter ist mit einer Auskühlung des Mauerwerkes zu rechnen, sodass sich dessen Wärmeisolerfähigkeit verkleinert; innen-seitig der Mauer wird der Taupunkt unterschritten und Kondenswasser fällt aus.

Dem Verfahren kann keine sichere, langandauernde Wirkung nachgerühmt werden; es ist deshalb abzulehnen. Langjährige Messungen an der Predigerkirche in Zürich, wie ungezählte andere Ausführungen führen zu diesen Schlussfolgerungen.

8. Zwischen dem Mauerwerk und dem Baugrund ist in der Regel eine elektrische Spannung von maximal einigen Volt nachweisbar. Wird an einem Körper aus porösem, nassem Material eine Gleichspannung angelegt, so wandert infolge des entstehenden elektrischen Feldes an der Kapillarwand Wasser in den Kapillaren des Körpers vom positiven zum negativen Pol. Diese elektrokinetische Erscheinung (genannt elektroosmotischer Effekt) ist längst bekannt. Ohne Fremd-strom können nur die galvanischen Ströme an diesem Wassertransport beteiligt sein. Wenn dieser elektrische Potentialunterschied durch einen Leiter (Erdungsnetz) zum Zusammenbruch gebracht wird, so fällt diese Komponente des Wasserverfrachtens weg, aber die kapillare Saugkraft verbleibt, Bild 2i. Durch einen praktischen Versuch an der Predigerkirche in Zürich konnte diese Überlegung eindeutig unter Beweis gestellt werden, Bild 3. Die Kapillarwirkung wird in keinem Fall durch das Zusammenbrechen des elektrokinetischen Effektes beeinflusst, und das Mauerwerk wird weiter kapillar durchnässt.

Durch einen genügend hohen, von oben nach unten fliessenden Gleichstrom kann theoretisch der kapillare Wassertransport verhindert werden, Bild 2k. Praktisch scheitert dieses Verfahren jedoch an folgenden Tatsachen:

- Die in das Mauerwerk einzusteckenden Elektroden aus Kupfer, Silber, Kohle werden langsam abgebaut; das Abbau-Material diffundiert dabei in das Mauerwerk hinein. Vermutlich können nur Platin-Elektroden dieser galvanischen Zersetzung widerstehen.
- Durch die Polarisationserscheinung – Ansammlung von Gasen an den Elektroden – wird die Spannungsdifferenz herabgesetzt, das heisst der Osmoseffekt vermindert sich beträchtlich, sodass die elektrische Spannung entsprechend erhöht werden müsste. Der Einbau von Depolarisatoren könnte diese Vorgänge wenigstens eine Zeitlang aufheben oder doch verringern.

c) Die elektrische Spannung müsste so niedrig gewählt werden, dass sie für den Menschen und für Tiere nicht mehr gefährlich wäre.

d) Gleichströme können ausserdem Korrosionserscheinungen an Metallteilen verursachen.

Die praktische Anwendung von Gleichstrom zur Entfeuchtung stösst demnach auf grössere Schwierigkeiten, weshalb sich dieses Verfahren in der Praxis nicht durchsetzen konnte.

«Zauberkästchen», angefüllt mit «elektronischem» Unsinn, sind auch gegen die von Pendlern und Wünschelrüttern empfundenen Erdstrahlen wirkungslos. Der Nachweis, dass Erdstrahlen an der Durchfeuchtung von Mauern beteiligt sind, ist bis heute nicht erbracht worden, Bild 2l. Auch wenn diese nicht messbaren Wirkungen durch Erdungen zum Zusammenbrechen gebracht werden, bleibt die kapillare Durchdringung nach wie vor erhalten.

9. Bei geringen kapillaren Durchfeuchtungen kann ein wasser-durchlässiger Verputz, zum Beispiel EMPA-Grundputz mit Kalkfarbanstrich – ohne Zementmörtelanwurf –, das höhere Aufsteigen des Wassers im Mauerwerk verhindern, Bild 2m. Dieser Verputz wird im Verlaufe von Jahrzehnten durch die in ihm kristallisierenden Ablagerungen von löslichen Salzen zerstört und muss ersetzt werden. Durch deutliche Abgrenzung vom übrigen Verputz, der zum Beispiel mit Dispersionsfarbe gestrichen werden darf, kann später die Reparatur auf diese untere Zone beschränkt werden.

Sind diese Feuchtigkeitserscheinungen auf der *Innenseite* des Mauerwerkes festzustellen, kann dort durch einen wasserdichteren Putz der Feuchtigkeitsanfall vermindert werden, jedoch nur dann, wenn die Mauer nicht durch Möbel, Täferungen, Bänke usw. verstellt werden müssen. Durch die gleichzeitige Anwendung des Verfahrens 1 oder 2 kann die zerstörende Wirkung auf die untere Putzzone wesentlich herabgesetzt werden.

#### D. Verfahren zur Überprüfung der Wirksamkeit des angewandten Entfeuchtungsverfahrens

a) Das *Herausbohren von Proben* (Durchmesser mindestens 5 cm, Länge bis 2/3 der Mauerdicke) und die Bestimmung des Wassergehaltes durch Austrocknen kann nur dann zu einem schlüssigen Resultat führen, wenn mindestens 6 bis 12 Einzelwerte vorliegen, wobei die kleinere Zahl für Mauerwerk mit gleichartigen Mauersteinen, die grössere Zahl für ein solches mit verschiedenen Mauersteinen (Bollensteine) gilt. Diese Methode mit Bohrungen *vor* der Durchführung der Entfeuchtungsmassnahmen und nach einer gewissen Zeitspanne nachher sind aufwendig. Zudem stösst das spätere Unsichtbarmachen der Bohrlöcher im Verputz auf Schwierigkeiten.

b) Die *Methode der Messung des Ohmschen Widerstandes* eines Mauerwerkes lässt die Veränderung des Nässezustandes einer Mauer mit genügender Genauigkeit feststellen. Als Elektroden versetzt man Kupferdrähte von 5 mm, die hinten breitgeschlagen werden, mit Zementmörtel P 500 10 cm tief in das Mauerwerk. Der Mörtel wird erdflecht in das Bohrloch von 20 bis 25 mm Durchmesser eingestampft. Erfahrungsgemäss werden hakenförmige Elektroden weniger durch Arbeiter irrtümlicherweise entfernt. Die Messung kann sofort beginnen.

Die erste Elektrodenreihe versetzt man aussenseitig etwa 40 cm über Erdboden. Eine zweite Reihe wird mit Vorteil etwa 1,5 m über Boden vorgesehen, wobei die Elektroden um die halbe Distanz versetzt angebracht werden können, sodass die Messstrecken länger ausfallen und ein grösserer Teil des Mauerwerkes in die Messung einbezogen wird. Der Abstand der Elektroden spielt bei einem einheitlichen Mauerwerk keine Rolle, insofern als der Durchflussquerschnitt *a* nicht wesentlich kleiner als der Elektrodenabstand *d* ist.

Der Ohmsche Widerstand wird mittels Ohmmeter zwischen den benachbarten Elektroden der beiden horizontalen Reihen und ausserdem zwischen benachbarten Elektroden der beiden Reihen gemessen. Das Verhältnis des später gemessenen Widerstandes zum Widerstand gemessen *vor* den Entfeuchtungsmassnahmen, vermittelt nach den bisherigen Erfahrungen der EMPA ein treues Bild über den Austrocknungsvorgang. Nasse Mauern lassen einen Ohmschen Widerstand von 100 bis 1000 Ohm messen, während trockenes Mauerwerk sich über einen solchen von über einer Million ausweist. Tabelle 1 gibt einen ungefähren Hinweis über den Zusammenhang zwischen Ohmschem Widerstand und dem Trockenheitsgrad eines Mauerwerkes aus natürlichen Steinen. Je nach dem elektrischen Widerstand von Mauerstein und Mörtel, der Vermauerungsarbeit (volle Fugen), dem Salzgehalt (Elektrolyt) und der Temperatur des Mauerwerkes ist der Ohmsche Widerstand des Mauerwerkes verschieden, weshalb die Zahlen der Tabelle 1 nur einen orientierenden Charakter haben können.

Tabelle 1. Zusammenhang zwischen Widerstand und Feuchtigkeitsgrad

Widerstand	100	1000	10000	100000	über 100000 Ohm
Feuchtigkeitsgrad	nass	mässig nass	feucht	schwach feucht	trocken

Bei der Beurteilung einer Entfeuchtungsmassnahme kann erst vom Beginn einer Wirksamkeit gesprochen werden, wenn der Ohmsche Widerstand allermindestens auf den zehnfachen Wert angestiegen ist. Von einer Austrocknung des Mauerwerkes kann aber erst gesprochen werden, wenn der Ohmsche Widerstand auf das 100 bis 1000fache des Wertes, gemessen vor der Entfeuchtungsmassnahme, ansteigt.

Der Wassergehalt eines Mauerwerkes kann sich im Laufe eines Jahres verändern. Längerer Regenfall, stärkere Zuwanderung von Grundwasser zum Fundament, schlechtere Verdunstungsbedingungen lassen den Feuchtigkeitspiegel  $h$  ansteigen, wobei gleichzeitig der kleinere Ohmsche Widerstand auch eine Zunahme des Wassergehaltes anzeigt, Bild 3.

#### E. Rechtliche Fragen

Wie im vorstehenden Abschnitt ausgeführt, kann die Wirksamkeit eines Entfeuchtungsverfahrens nur durch wiederholte, sich über ein Jahr erstreckende Überprüfung des Wassergehaltes durch Bohrungen oder einfacher durch die Messung des Ohmschen Widerstandes nachgewiesen werden. Erfahrungsgemäss lässt sich der Trocknungseffekt nur in seltenen Fällen vor Ablauf von 5 bis 10 Jahren mit Sicherheit ohne derartige Kontrollen feststellen, aus dem einfachen Grund, weil die Gebäude nach diesen Arbeiten einen neuen, oft sogar dichteren Verputz erhalten.

Wie kann sich nun der Eigentümer gegen eine Fehlleistung schützen? Eine Möglichkeit besteht in der Kontrolle des Austrocknungseffektes unter Anwendung der unter D genannten Messmethoden; eine andere durch das Begehren einer mehrjährigen Bank-

garantie bzw. durch das Hinterlegen der Reparaturkosten und deren Auszahlung erst nach ausgewiesenem Erfolg. Bei Bauten der öffentlichen Hand und bei solchen, die mit öffentlichen Geldern subventioniert werden, sollten nur ausgewiesene, bewährte Verfahren zum Einsatz gelangen. Neuartige Entfeuchtungsmassnahmen, die möglicherweise mit geringeren Kosten durchgeführt werden können, die aber nicht zum Ziele führen, sind zweifellos zu teuer erkaufte. Deshalb sollten neue Verfahren nur unter Kontrolle zur Anwendung kommen und auch nur bei Erfolg honoriert werden.

#### Bezeichnungen

$h$	Höhe der Verdunstungsfläche in cm
$a$	Mauerlänge in cm
$b$	Mauerdicke in cm
$l_m$	mittlere Länge der Kapillaren in cm
$l_1$	Länge der Kapillare im Materialwürfel von 1 cm Kantenlänge in cm
$p$	Porosität in cm <sup>3</sup>
$r_m$	mittlerer Kapillarradius in cm
$\varepsilon$	Verdunstungskoeffizient in g/cm <sup>2</sup> h
$\sigma$	Oberflächenspannung in g/cm (reines Wasser von 18°:0,075)
$\eta$	kinematische Zähigkeit in gs/cm <sup>2</sup> (reines Wasser von 18°C: 0,000011)
$v_m$	mittlere Steig-Geschwindigkeit des Wassers in der Kapillare in cm/s
$n$	Anzahl der Kapillaren je cm <sup>2</sup>
$Q_1$	Wasserfluss in cm <sup>3</sup> /s je 1 cm <sup>2</sup> Durchtrittsfläche
$Q'_1$	Wasserfluss durch die Durchschnittsfläche ( $a b$ ) in cm <sup>3</sup> /s
$Q'_2$	auf der Fläche ( $a h$ ) verdunstender Wasserfluss in cm <sup>3</sup> /s

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

## 50 Jahre Spritzmetallisierung in der Schweiz

DK 620.197.6:669.586

Von Dr. J. Friedli, ehemals Abteilungschef der EMPA, Dübendorf-Zürich

Es besteht heute wohl kein Zweifel mehr darüber, dass es sich bei der Spritzmetallisierung um ein wertvolles Oberflächenverfahren handelt, das besonders auf dem Gebiete des Korrosionsschutzes, nicht nur in der Schweiz, sondern auch in vielen andern Ländern, eine grosse Bedeutung erlangt hat. Dies ist nicht so selbstverständlich, denn in der ersten Zeit seiner Anwendung waren zahlreiche Misserfolge zu verzeichnen. Sie haben in unserem Lande einige Jahre dauerndes Misstrauen gegenüber diesem Verfahren zur Folge gehabt, das erst gewichen ist, nachdem durch entsprechende Untersuchungen deren Ursachen ermittelt werden konnten. Im folgenden soll versucht werden, einen kurzen Überblick über die Erfahrungen zu geben, die in den letzten 50 Jahren in der Schweiz mit der Spritzmetallisierung gemacht wurden. Dabei müssen wir uns wegen des vorgeschriebenen Umfangs dieses Berichtes auf die Spritzverzinkung beschränken, die eine grosse Verbreitung gefunden hat, während das Flamm-spritzen anderer Metalle auf Sondergebiete beschränkt blieb.

Nachdem der Erfinder des Metallspritzens, der Zürcher Ingenieur M. U. Schoop im Januar 1913 nach langjährigem Kampf um die Anerkennung seiner Idee, endlich den deutschen Patentschutz erhielt, dauerte es noch Jahre, bis sein Verfahren allgemeine Anerkennung fand. Kurz nach dem Ersten Weltkrieg waren die Schweizerischen Bundesbahnen mit von den ersten, die es wagten, die Spritzverzinkung als Korrosionsschutz anzuwenden. Mit dem Beginn der Elektrifikation haben die SBB bestimmte Teile von Fahrleitungs-Tragwerken und Fachwerkträgern für die Energieübertragung mit gespritzten Zinküberzügen gegen atmosphärische Korrosion geschützt und zwar mit bestem Erfolg. Es wurden hauptsächlich die obersten, für Revisionsarbeiten schlecht zugänglichen Teile der Tragwerke und Masten verzinkt, während die ohne Gefährdung durch den elektrischen Strom gut zugänglichen Teile einen Anstrich erhielten. Nach 20 Jahren waren die spritzverzinkten Teile noch praktisch unverändert und ohne Rostbildungen, während die gestrichenen Teile starke Rost-

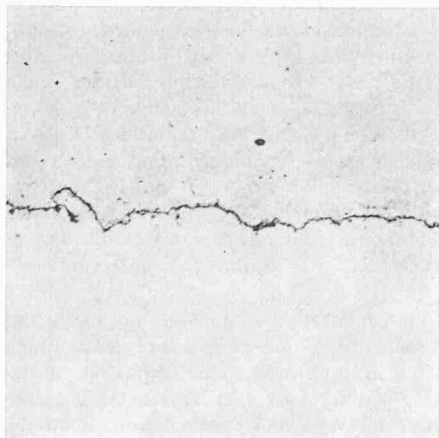


Bild 1 (links). Spritzzink auf Stahl, ungeätzt, Vergrösserung 200fach. Obere Hälfte Zink, praktisch porenfrei. Untere Hälfte Grundwerkstoff

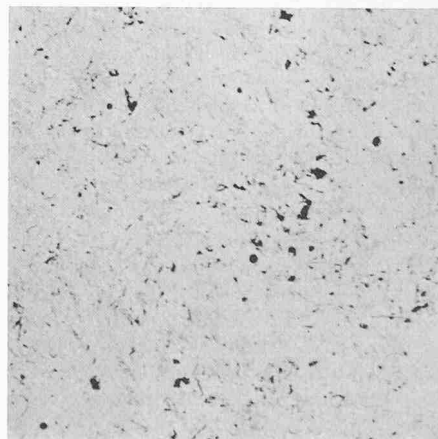


Bild 2 (rechts). Spritzzink, stark porig, ungeätzt, Vergrösserung 200fach