DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK

# PATENTSCHRIFT

(12) **Wirtschaftspatent**

(19) **DD** (11) **242 440 A1**

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

4(51) **E 04 B 1/70**

**AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN**

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

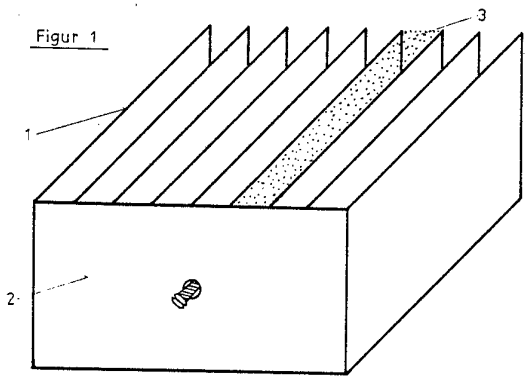
(21) WP E 04 B / 282 702 5 (22) 11.11.85 (44) 28.01.87

(71) Bauakademie der DDR, Institut für Wohnungs- und Gesellschaftsbau, 1125 Berlin, Plauener Straße, DD
(72) Birkenhofer, Hubertus, Dipl.-Chem.; Reckin, Klaus, DD

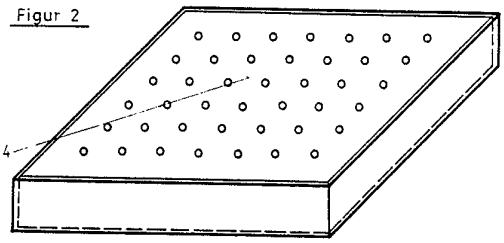
## (54) Vorrichtung zur Trocknung von Bauwerken

(57) Es wird eine Vorrichtung zur elektrokinetischen Sperrung von nässegeschädigtem Mauerwerk beschrieben. Erfindungsgemäß wird dabei besonders auf die dabei wirkenden elektrochemischen Elektroden- und Transportprozesse eingegangen. Die Erfindung geht von dem Gedanken aus, durch die Einstellung eines bestimmten, einstellbaren Stromflusses und einer entsprechenden Menge an elektrochemisch verwertbaren Stahles die Anlage so zu dimensionieren, daß eine Lebensdauer von 30 Jahren und mehr erreicht wird. Dies wird durch die besondere Konstruktion der als Anode geschalteten Elektroden, der Art des Einbaus und durch Berücksichtigung der im Mauerwerk vorhandenen Salz- und Wasserkonzentration erreicht. Weiterhin wird dargelegt, wie bei einer erhöhten Salzkonzentration im Mauerwerk, diese auf den geforderten Wert von 0,01 Ma.-% bezogen auf die Chloridionenkonzentration, abgesenkt werden muß und erst danach die elektrokinetische Sperre installiert wird. Fig. 1 und 2

Figur 1




Figur 2




**ISSN 0433-6461**

5 Seiten

**Erfindungsanspruch:**

Vorrichtung zur Trocknung von Bauwerken unter Verwendung von elektrischem Strom, der über Elektroden, die sich im Mauerwerk befinden, eingeleitet wird, **dadurch gekennzeichnet,** daß Lamellenelektroden aus Stahlblechen und Erdalkalihydroxiden bestehend, auf einer Kunststoffauflage liegend, in einer Höhe in das Mauerwerk so eingebracht sind, daß die Lamellen von maximal zwei Ma.-% feuchtem Mauerwerk umgeben sind und daß ihr Abstand untereinander so gewählt ist, daß ein homogenes elektrisches Feld entsteht.

Hierzu 1 Seite Zeichnungen

**Anwendungsgebiet der Erfindung**

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Sperrung von nässegeschädigtem Mauerwerk gegen aufsteigende Feuchtigkeit.

**Charakteristik der bekannten technischen Lösungen**

Das Phänomen der Elektroosmose, das heißt, die Bewegung von Wasser in kapillaren Systemen bei Anlegung einer Gleichspannung von der Anode zur Katode hin, wurde im Jahre 1809 entdeckt. Seit Mitte der 30er Jahre wurde die Erscheinung zur Trockenlegung nässegeschädigter Bauwerke verwendet. Obwohl das naturwissenschaftliche Wirkprinzip unstrittig ist, sind die erwünschten Trockenlegungserfolge mit dieser Verfahrensgruppe oft nicht eingetreten.
Der Grund hierfür liegt in der Regel in der Mißachtung fundamentaler Gesetze der Elektrochemie. Die in das Mauerwerk eingebrachten Elektroden sind in der Regel nur mittelfristig beständig. Damit sind der Anwendung von elektroosmotischen Dauersperren von vornherein zeitliche Grenzen gesetzt.
Um die Probleme der Elektrodenstabilität zu beherrschen, wurden in der Vergangenheit zwei grundsätzliche Wege beschritten:

1. Verfahrengruppe, die mit Spannungen unter 1,23 Volt der theoretischen Zersetzungsspannung des Wassers arbeitet.
2. Verfahrensgruppe, die den Einsatz von höheren Spannungen vorschlägt, bei gleichzeitiger Verwendung von edlem Elektrodenmaterial.

Zur ersten Gruppe ist zu sagen, daß die praktische Zersetzungsspannung in der Regel sehr viel niedriger liegt, bedingt durch im Mauerwerkswasser gelöste Salze. Damit wäre eine praktikable Arbeitsspannung von etwa 0,8 Volt relevant. Dem steht die theoretische Erkenntnis gegenüber, daß die Wanderungsgeschwindigkeit von Wasser in kapillaren Systemen der Höhe der angelegten Spannung direkt proportional ist. Bei Spannungen von 0,8 Volt sind also wesentliche Austrocknungseffekte nicht zu erwarten.
In der richtigen Erkenntnis dieser Tatsache versucht man bei der zweiten Verfahrensgruppe mit elektrokorrosionsbeständigem Elektrodenmaterial zu arbeiten. Dies können einmal sehr kostenaufwendige Edelmetallelektroden sein, zum anderen versucht man das Problem über kohlenstoffhaltige Elektroden und mit elektrisch leitenden Kunststoffen zu lösen.
Arbeitet man mit Spannungen über der Zersetzungsspannung des Wassers, dann entsteht zwingenderweiße Sauerstoff an der Anode. Nunmehr ist bekannt, daß kohlenstoffhaltige Verbindungen, einschließlich Graphit gegenüber Sauerstoff in statu nascendi äußerst empfindlich sind. Dabei entstehen Graphitsäuregemische, die den *p*H-Wert im Anodenraum auf etwa 4 absinken lassen. Damit besteht die Gefahr des Umkippens der Elektroosmose.
Im Mauerwerk vorhandene Salze, deren Anwesenheit zwar allgemein bekannt ist, werden bei der theoretischen Deutung elektrochemischer Prozesse im Mauerwerk in der Regel nicht berücksichtigt.
In der DE 2503670 wird ganz richtig auf die mangelnde Resistenz von kohlenstoffhaltigen Kunststoffen als Anodenmaterial hingewiesen, gleichzeitig aber selbst ein kohlenstoffgefüllter Plast patentrechtlich geschützt. Dabei ist die Art des verwendeten Kunststoffes relativ unbedeutend, solange er elektrisch inert ist, da ja der Stromfluß über das Füllmaterial realisiert wird.
In der Schweizer Patentschrift Nr. 497614 wird eine Elektrode aus kohlenstoffreichem Material beschrieben und eine Gleichspannung von 42 Volt angelegt, ohne auf die Einbauhöhe und Einbaubedingungen einzugehen. Es durfte aus elektrochemischer Sicht klar sein, daß innerhalb weniger Wochen diese Elektroden elektroerosiv abgebaut werden.
In der BRD OS 2717291 wird eine Elektrode, bestehend aus einer plastischen oder breiigen leitfähigen Masse beschrieben, in der ein metallischer Leiter eingebettet ist. Über die Zusammensetzung erfolgt keine Aussage. Sollte es sich um kohlenstoffhaltige Produkte handeln, was wahrscheinlich ist, dann gilt das bereits Gesagte.
Alle diese genannten Patentschriften berücksichtigen nicht die elektrochemischen Vorgänge an den Elektroden, den sogenannten Elektrodenprozessen. Bekannt ist, daß z. B. gewöhnliche Stahlelektroden eine größere Stabilität besitzen als Graphitelektroden. Die Stabilität der Stahlelektroden wird noch verbessert, wenn es gelingt, den Anodenbereich über einen langen Zeitraum alkalisch zu halten.
Unter Elektrodenprozessen versteht man die unmittelbar an der Elektrodenoberfläche ablaufenden elektrochemischen Reaktionen. Die Elektrodenprozesse an der Anode und deren zeitlicher Verlauf sind abhängig von der Temperatur, den Feuchtigkeitswerten und den damit zusammenhängenden Elektrolytkonzentrationen, dem realisierten Stromfluß und dem Elektrodenmaterial.
In Übereinstimmung mit den Gesetzen von Faraday können bei einem Stromfluß von einem Ampere in einer Stunde 0,69 g Eisen zu Eisen-(III)-Kationen in Lösung gebracht werden.
Diese unbestreitbare elektrochemische Gesetzmäßigkeit stellt bei allen möglichen Parallelreaktionen, bedingt durch eine Zersetzung von Wasser und darin gelösten Salzen, das elektrochemische Äquivalent dar. Dabei kommen den sehr beweglichen Chloridionen und OH-Anionen eine besondere Bedeutung zu.

Vereinfacht sind die Anodenvorgänge so zu verstehen:

1. $Cl' \rightarrow Cl + 1e$
   $Fe + 3Cl \rightarrow FeCl_3$
2. $OH' \rightarrow OH + 1e$
   $4OH' \rightarrow 2O + H_2O + 4e$
   $2O \rightarrow O_2$
   bzw.
   $Fe + 3OH \rightarrow Fe(OH)_3$
   $2Fe(OH_3) \rightarrow Fe_2O_3 + 3H_2O$

Dabei sind Chlor- und Sauerstoffatome in statu nascendi besonders aggressiv gegenüber dem Elektrodenmaterial.
Neben den Elektroprozessen sind beim elektrokinetischen Transport von Flüssigkeiten in kapillaren Systemen die Transportprozesse von Bedeutung.
Diese gehorchen grundsätzlich der von Helmholtz und Smoluchowski aufgestellten Gleichung:

$$v = \frac{\varepsilon \cdot E \cdot \zeta}{4\pi \cdot \eta_o}$$

Diese Gleichung sagt aus, daß die pro Zeiteinheit transportierte Flüssigkeitsmenge direkt proportional ist der Größe der Dielektrizitätskonstanten, der angelegten Feldstärke (Spannung) und der Potentialdifferenz an der Phasengrenze zwischen ruhender und strömender Flüssigkeit, das man als elektrokinetisches oder Zeta-Potential bezeichnet.
Die transportierte Flüssigkeitsmenge ist umgekehrt proportional der Viskosität der Flüssigkeit. Weiterhin ist aus den theoretischen Arbeiten von Helmholtz, Stern, Gouy und Chapman zur Deutung der elektrischen Doppelschicht und des Zeta-Potentials bekannt, daß letzteres von der Elektrolytkonzentration abhängig ist und ab einer bestimmten Konzentration Null wird.
Betrachtet man die Gleichung von Helmholtz — Smoluchowski unter der Bedingung $\zeta = 0$, wird klar, daß dann keine elektrokinetische Transportarbeit geleistet werden kann.
Daraus läßt sich für die erfinderische Aufgabe ableiten, daß ab einer bestimmten Salzkonzentration eine elektrokinetische Austrocknung eines Mauerwerkes nicht möglich ist.

**Ziel der Erfindung**

Ziel der Erfindung ist die Entwicklung einer Vorrichtung zur elektrokinetischen Trocknung von Mauerwerk, welche unter Berücksichtigung der wirkenden elektrochemischen und elektrokinetischen Gesetze eine Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten hat.

**Darlegung des Wesens der Erfindung**

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zu entwickeln, die trotz des Einsatzes relativ hoher Spannungen und einfacher Elektrodenmaterialien eine nur geringe anodische Korrosion der Elektroden zuläßt, um die Lebensdauer der Vorrichtung wesentlich zu erhöhen.
Erfindungsgemäß ist die Aufgabe dadurch gelöst, daß Lamellenelektroden aus Stahlblechen und Erdalkalihydroxiden bestehend, auf einer Kunststoffauflage liegend, in einer Höhe in das Mauerwerk so eingebracht werden, daß das die Lamellenelektrode umgebende Mauerwerk einen maximalen Feuchtigkeitswert von 2 Ma.-% hat. Dabei darf die Salzkonzentration, ausgedrückt als Chloridionenkonzentration, 0,01 Ma.-% nicht übersteigen.
Die technisch bedingten Anschlußstellen, das sind die Anschlußstellen für das elektrische Kabel an die Lamellenelektroden und die zwischen einer Grundplatte und Lamellen sowie die Grundplatte selbst, sind mit einer Isoliermasse versehen, so daß der Stromfluß ausschließlich über die Lamellen und die Erdalkalihydroxide, vorzugsweise Calciumhydroxid, erfolgen kann.
Die Lamellenelektrode ruht auf einer Kunststoffauflage, die vorzugsweise Öffnungen besitzt, so daß die im Anodenbereich sich sammelnden geringen Restkonzentrationen an Chloriden als Fe(III)- oder $CaCl_2$-Hydrat durch die vorgesehenen Öffnungen ablaufen und in einem Vorratsbehälter sich sammeln können und somit für weitere elektrochemische Reaktionen nicht zur Verfügung stehen.
Die Lamellenelektroden sind untereinander elektrisch leitend verbunden. Ihr Abstand ist so zu wählen, daß im Mauerwerk ein homogenes elektrisches Feld entsteht, das durch Messungen ermittelt werden kann.
Als Katode ist ein aus Stahlstäben bestehendes Leitungssystem in Fundamentnähe in das Erdreich eingebracht. Über ein stufenlos regelbaren Gleichrichter ist eine Spannung zwischen 10 und 50 Volt so zu wählen, daß eine Stromstärke von 1–5 mA pro Meter Mauerwerk erreicht wird.

**Ausführungsbeispiele**

Die Erfindung wird anhand zweier Ausführungsbeispiele näher erläutert. Die Zeichnungen zeigen:

Figur 1: Eine Lamellenelektrode der elektrokinetischen Dämmanlage
Figur 2: Kunststoffauflage für die Lamellenelektrode

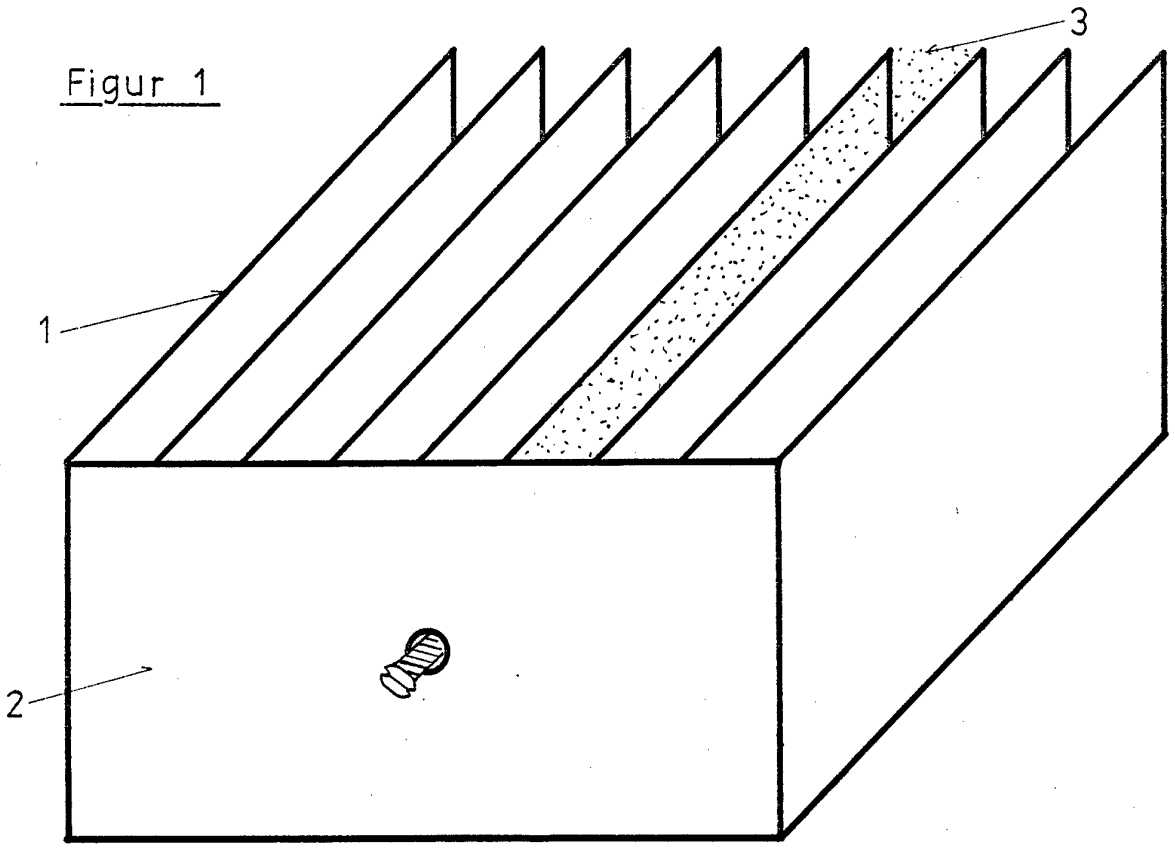
**Beispiel:**
Es wurden zwei Versuchspfeiler 360 × 360 × 1200 mm aus MZ 150 und einem neutralen Bindemittel (Lehm-Sand-Gemisch) in einer PVC-Wanne errichtet. Beide Pfeiler wurden mit einer Plastfolie umhüllt und am Pfeilerfuß ständig mit Wasser versorgt. An einem Pfeiler wurde eine Lamellenelektrode (X) entsprechend Fig. 1 auf einer gelochten Kunststoffauflage (4) entsprechend Fig. 2 installiert. Die Räume (3) zwischen den Lamellen wurden mit einem Kalk-Sand-Gemisch von 3:1 ausgefüllt.
In Höhe des Wasserspiegels wurde ein Flachstahl als Katode installiert. Der Versuch wurde begonnen als an beiden Pfeilern am Kopf 2 Ma.-% Wasser gemessen wurden. Nunmehr wurde an die elektrokinetische Dämmanlage über einen Stellgleichrichter eine Spannung von 100 Volt angelegt. Zu Versuchsbeginn flossen 40 mA. Innerhalb von vier Wochen sank die Stromstärke auf 8 mA und blieb danach weitgehend konstant.
Der Feuchtigkeitsverlauf an den Pfeilern nach vier Wochen ist dem nachstehenden Diagramm zu entnehmen.

| Höhe der Meßstellen | Versuchspfeiler | Vergleichspfeiler |
|---|---|---|
| 10 cm über Wasserspiegel | 8 Ma.-% | 22 Ma.-% |
| 50 cm über Wasserspiegel | 3 Ma.-% | 11 Ma.-% |
| 100 cm über Wasserspiegel | < 1 Ma.-% | 6 Ma.-% |

Gemessen wurde die Feuchtigkeit mit einem CM-Gerät.
Abgesehen von meßtechnisch bedingten Streuungen blieb dieses Meßbild über ein Jahr konstant. Danach wurde der Versuch abgebrochen und die Lamellenelektrode demontiert. Obwohl bedingt durch die gewählte sehr hohe Versuchsspannung ein recht hoher Stromfluß bezogen auf den Stahleinsatz an der Versuchseinrichtung gemessen wurde, war die sichtbare elektroerosive Abtragung an der Lamellenelektrode äußerst gering. Erwartungsgemäß waren die zwei äußeren Lamellen leicht korridiert, während an den inneren Lamellen ein elektroerosiver Abbau nicht erkennbar war.

**Beispiel:**
Es bestand die Aufgabe, ein freistehendes Mehrfamilienhaus, welches jahrzehntelang aufsteigender Feuchtigkeit ausgesetzt war, trockenzulegen. Die Salzanalyse ergab einen Versalzungsgrad bis teilweise 0,5 Ma.-% bezogen auf die Chloridionenkonzentration. Zunächst wurden die bautechnischen Mängel beseitigt. Dazu gehörte auch die ordnungsgemäße Wiederherstellung der Vertikalsperre. Dann wurde das Mauerwerk auf elektrochemische Wege entalzen und vorgetrocknet. Während des Austrocknungsprozesses wurde unmittelbar über der Entsalzungsanlage die elektrokinetische Dämmanlage installiert. Dazu wurden in einem Abstand von zwei Metern ziegelsteingroße Aussparungen in das Mauerwerk gestemmt und Lamellenelektroden entsprechend Fig. 1 auf Kunststoffauflagen entsprechend Fig. 2 in das Mauerwerk bündig eingesetzt. Die Kontaktierung erfolgte mittels doppelisoliertem Kupferschaltkabel. Die Lamellenelektroden wurden mit Siebblechen abgedeckt.
Nunmehr wurde die elektrokinetische Dämmanlage über einen Stellgleichrichter gegen eine Erderleitung geschalten.
Der gewünschte Stromfluß von 5 mA pro Meter Mauerwerk wurde bei 25 Volt erreicht.
Insgesamt fließen an der installierten Anlage 150 mA.
Der elektrochemisch verwertbare Stahl beträgt für die Anlage 35 kg. Die theoretische Lebensdauer einer derartigen Anlage müßte also bei 350000 h oder ca. 40 Jahren liegen. Dies unter der Voraussetzung, daß die Grundplatte der Lamellenelektrode und die Kontaktierung ordnungsgemäß isoliert ist und eine Korrosion durch Luftsauerstoff ausgeschlossen werden kann.

Figur 1




Figur 2

