



Elektrophysikalische Mauertrocknung - von der Physik in die Praxis





Inhalt des Vortrages:

- I. **Physikalische Grundlagen**
- II. **Elektrophysikalische Mauertrockenlegung mit Drymat**



- Bauwerke vor äußeren Einflüssen, wie Feuchtigkeit, Wind, Kälte und Sonne schützen durch z.B.
 - Wände mit Lehm,
 - Schutzanstriche aus Gips/Öl/Wachs/Mineralien
 - Pechanstriche
 - Wasserundurchlässige Mörtel in Zisternen und Wasserleitungen
- Höherer Bedarf mit Zunahme der Bevölkerung im 19 Jh., mit Mehrbedarf an Wohn- und Fabrikgebäuden, teilweise mit Unterkellerung
- Entwicklung/Verfügbarkeit von Abdichtungstoffen (Erdölprodukte →Asphalt, Bitumen, Glas, Metalle, Kunststoffe u.a.)

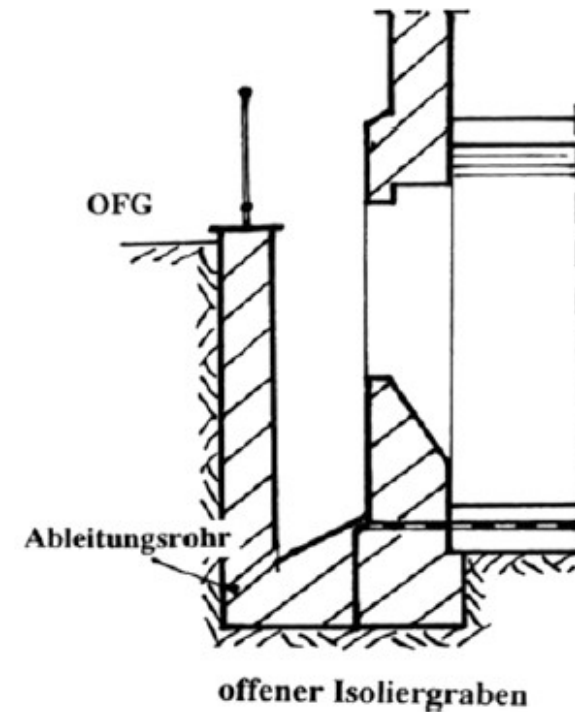
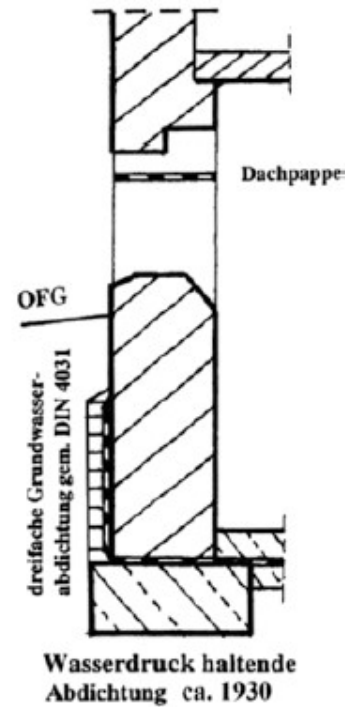
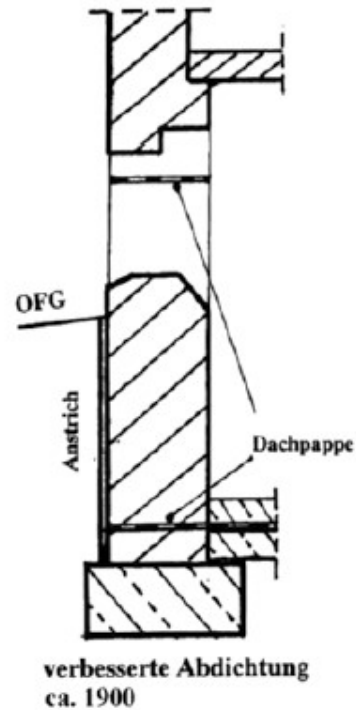
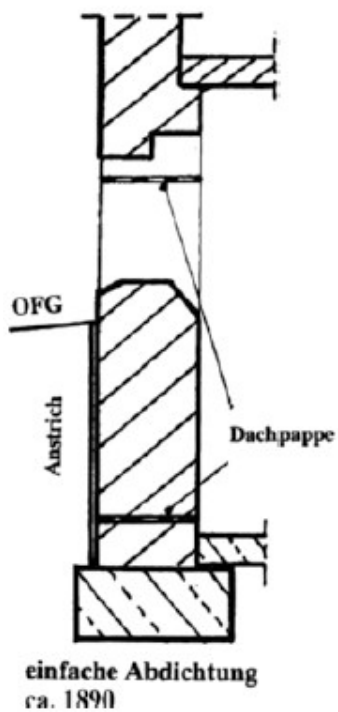


Pont du Gard in Nîmes-Südfrankreich 1. Jh. v. Chr. von Römernerbau, 19.Jhrd. restauriert



Verschiedene Mauerwerksabdichtungen

Isoliergräben zur „Hinterlüftung“ des Mauerwerks





Bei der Sanierung von Bestandsbauten sind hauptsächlich nachfolgende Wandkonstruktionen vorzufinden:

- Lehmwände
- Betonwände (Stahlbeton, Stampfbeton)
- Backsteinmauerwerk
- Natursteinmauerwerk (Quader- Schichten oder Bruchsteinmauerwerk)
- Ziegelmauerwerk (Kalksandstein-, Ziegel- oder Klinkermauerwerk)



Korrosion von Baustoffen:

Unter Korrosion versteht man die unbeabsichtigte zerstörende Einwirkung auf einen metallischen oder nichtmetallischen Werkstoff, ausgelöst durch die ihn umgebenden oder in seiner Struktur eingelagerten bzw. eingebauten Stoffe oder Medien (Korrosionsmittel).

- Korrosionsmittel sind oft Flüssigkeiten (meist Wasser bzw. eine Lösung, Wasser dient als Transportmittel für gelöste Salze)
- bewirken chemische, elektrochemische Reaktionen
- Korrosion beginnt in i.d.R. von der Oberfläche des Baustoffes

Schäden aufgrund
von Salzen





Transportvorgänge in Baustoffen

In porösen Stoffen können stattfinden:

- Kapillares Saugen
- Hygroskopische Wasseraufnahme
- Kondensation
- Eindringen unter Druck
- Diffusion, Osmose

Porenanteil, Porenform, Porenverteilung entscheidend für Transportprozesse

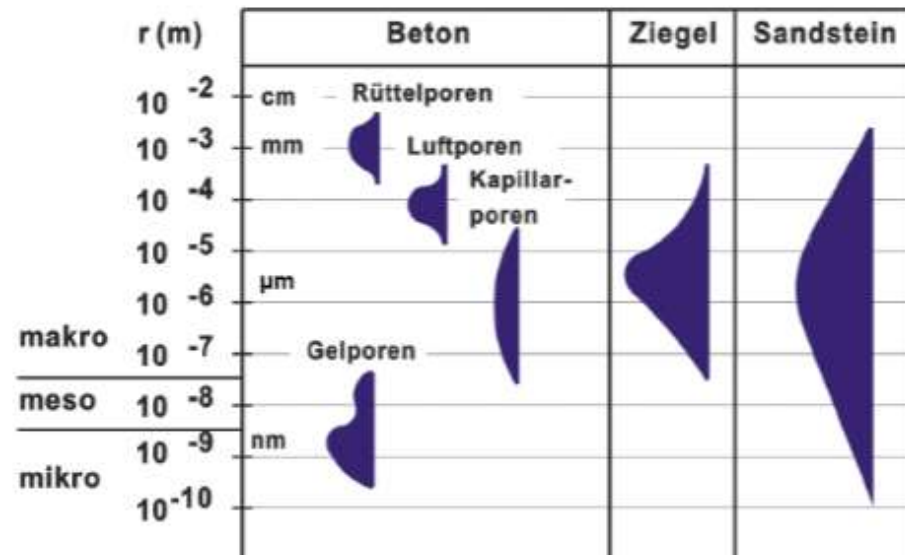
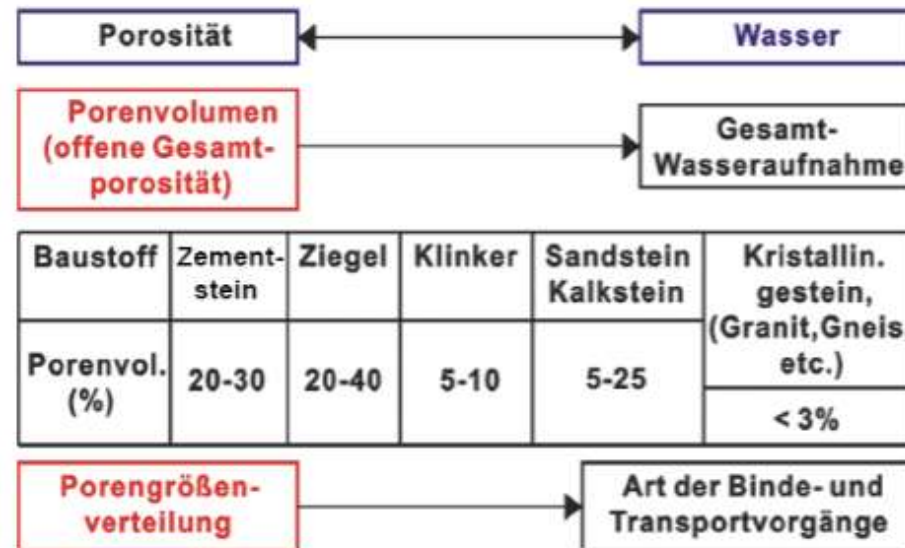


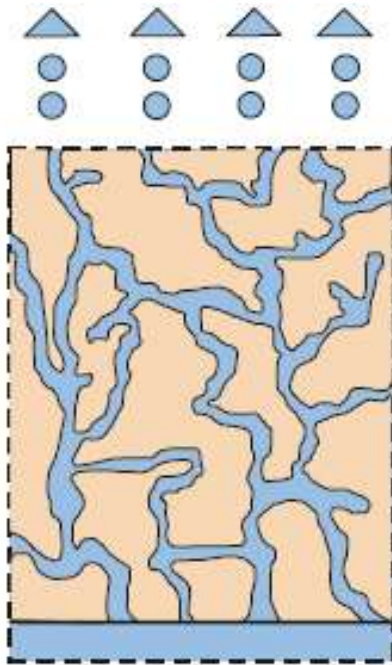
Porosität:

Das Vermögen von Baustoffen, Wasser aufzunehmen, ist sehr unterschiedlich und hängt von den Poren/ dem Porensystem ab.

Porenunterteilung in:

1. Mikroporen oder Gelporen kleiner 10^{-7} m
2. Kapillarporen größer 10^{-7} m; kleiner 10^{-4} m
3. Makro- oder Luftporen größer 10^{-4} m



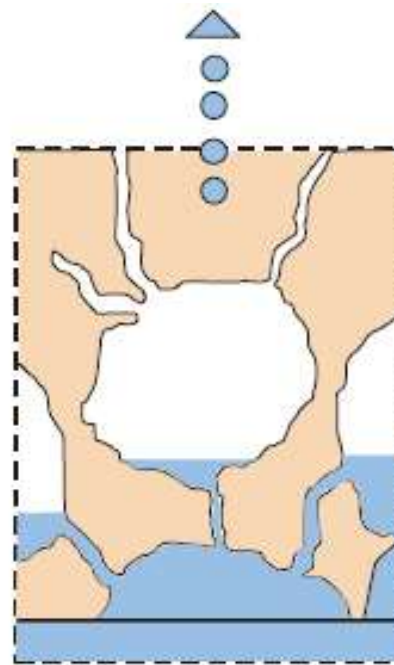


a

großes Wasseraufnahme-
vermögen

großes Feuchtigkeits-
abgabevermögen

z.B.: Ziegel, Gips

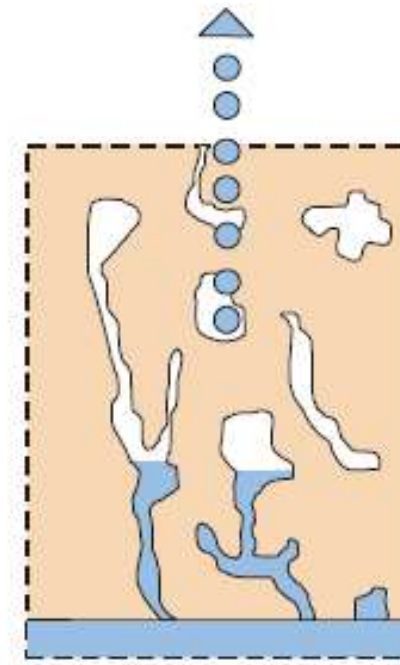


b

großes Wasseraufnahme-
vermögen

geringes Feuchtigkeits-
abgabevermögen

z.B.: Gasbeton



c

geringes Wasseraufnahme-
vermögen

geringes Feuchtigkeits-
abgabevermögen

z.B.: Schwerbeton, Blähbeton



| Material | ρ Rohdichte | w Wasseraufnahme- Koeffizient | | B Wasser- eindring- koeffizient | u _p Wasserkapazität | u _{max} Sättigungs- feuchtigkeits- gehalt | |
|----------------|----------------|-------------------------------------|--|--|-----------------------------------|---|--|
| | | (kg/m ³) | (kg/m ² s ^{0,5}) | | | | (kg/m ² h ^{0,5}) |
| Vollziegel | A | 1750 | 0,420 | 25,1 | 2,24 | 0,19 | 0,29 |
| | B | 2175 | 0,049 | 2,9 | 0,56 | 0,09 | 0,13 |
| Hochlochziegel | C | 1155 | 0,138 | 8,3 | 0,73 | 0,19 | 0,22 |
| | D | 1165 | 0,148 | 8,9 | 0,81 | 0,18 | 0,18 |
| Kalksandstein | A | 1635 | 0,123 | 7,7 | 0,46 | 0,27 | 0,36 |
| | B | 1755 | 0,050 | 3,0 | 0,21 | 0,24 | 0,34 |
| | C | 1760 | 0,091 | 5,5 | 0,42 | 0,22 | 0,35 |
| | D | 1795 | 0,087 | 5,4 | 0,39 | 0,22 | 0,32 |
| | E | 1880 | 0,053 | 3,2 | 0,29 | 0,18 | 0,27 |
| | F | 1920 | 0,053 | 3,2 | 0,26 | 0,20 | 0,27 |
| Schwerbeton | A | 2290 | 0,030 | 1,8 | 0,22 | 0,14 | |
| | B | 2410 | 0,018 | 1,1 | 0,09 | 0,19 | 0,22 |
| Bimsbeton | A | 845 | 0,483 | 2,9 | | | |
| | B | 1085 | 0,032 | 1,9 | | | 0,40 |
| Gasbeton | A | 630 | 0,077 | 4,6 | 0,28 | 0,28 | 0,72 |
| | B | 600 | 0,071 | 4,2 | 0,25 | 0,28 | 0,71 |
| | C | 530 | 0,066 | 4,0 | 0,23 | 0,29 | 0,74 |
| | D | 620 | 0,110 | 6,5 | 0,38 | 0,29 | 0,72 |
| | E | 640 | 0,128 | 7,7 | 0,45 | 0,28 | 0,60 |
| Gipsbauplatte | A | 900 | 1,16 | 69 | 2,36 | 0,49 | |
| | B | 600 | 0,64 | 38 | 1,80 | 0,36 | |

Wasseraufnahme-
koeffizient:

$W > 2,000 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$
Starksaugend

$W \leq 2,000 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$
Wasserhemmend

$W \leq 0,500 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$
Wasserabweisend

$W \leq 0,001 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$
wasserdicht



Baustoffe können Wasser durch Sorption aufnehmen.

Salze im Baustoff → Hygroskopische Feuchteaufnahme

In der Umgebungsluft des Bauteils ist immer Wasser in gasförmigem Zustand vorhanden. Salze sind in der Lage, Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft aufzunehmen.

Tab. 3.3 Bewertung der schadensverursachenden Wirkung verschiedener Salzionen in Mauerwerkskörpern (Angabe in Masse-%). (nach Tab. 8 aus (WTA-Merkblatt 4-5-99))

| | | | |
|------------------------|---|--|---|
| Chloride ^a | <0,2 | 0,2–0,5 | >0,5 |
| Nitrate | <0,1 | 0,1–0,3 | >0,3 |
| Sulfate ^b | <0,5 | 0,5–1,5 | >1,5 |
| Bewertung ^c | Belastung gering – Maßnahmen im Ausnahmefall erforderlich | Belastung mittel – weitergehende Untersuchungen zum Gesamtsalzgehalt (Salzverbindung, Kationenbestimmung) erforderlich – Maßnahme im Einzelfall erforderlich | Belastung hoch – weitergehende Untersuchungen zum Gesamtsalzgehalt (Salzverbindung, Kationenbestimmung) erforderlich – Maßnahmen erforderlich |

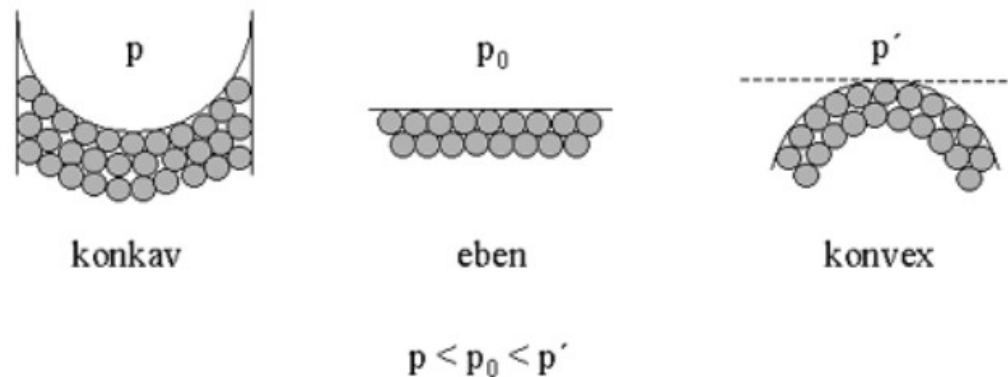


Kondensation: Übergang eines Stoffes vom gasförmigen in den flüssigen (oder auch festen) Aggregatzustand, aufgrund von Abkühlung

beim Baustoff: Wasseraufnahme aus Raumluft aufgrund von geringen Bauteiltemperaturen.

Kapillarkondensation: beruht darauf, dass über kleinen Flüssigkeitstropfen und ebenso über den stark gekrümmten Flüssigkeitsmenisken in kleinen Poren der Dampfdruck erniedrigt ist.

Die in Porenräumen kondensierende Feuchtigkeit wird auf kapillarem Wege weitertransportiert





Einlagerung von Wasser unter Aufbringen eines äußeren **Überdruckes** möglich.

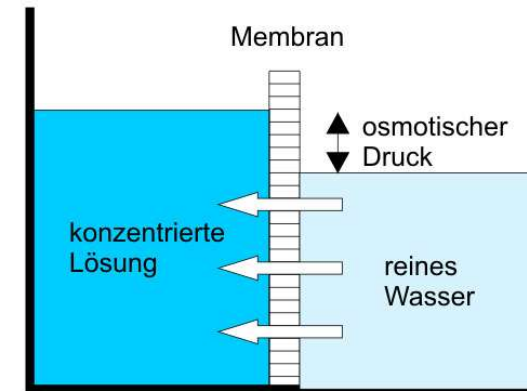
- kapillare Wasseraufnahme von Baustoffen hinsichtlich Steighöhe und Geschwindigkeit verstärkt
- Befüllung weiterer Poren bis hin zur Sättigungsfeuchte



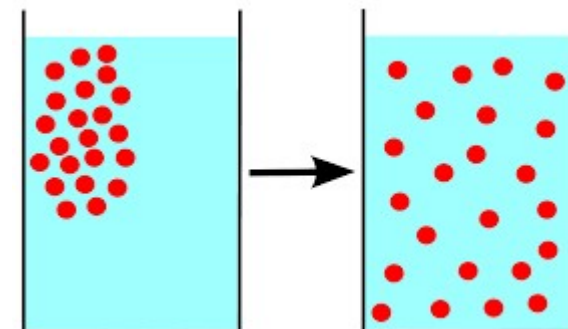
Osmose: ist ein physikalischer Mechanismus, bei dem eine Flüssigkeit durch eine „halbdurchlässige“ Wand (Membran) hindurchtritt. Voraussetzung hierfür ist, dass das Wasser auf beiden Seiten der Wand in unterschiedlicher Konzentration Lösungstoffe (Salze) enthält.

- Relevant bei salzbelastetem Baustoffen
- Feuchtigkeitstransport in Bereiche mit hohem Salzgehalt (z.B. Verdunstungszonen)

Diffusion: Teilchentransport, aufgrund von Konzentrationsgradienten (unterschiedlicher Salzgehalt)



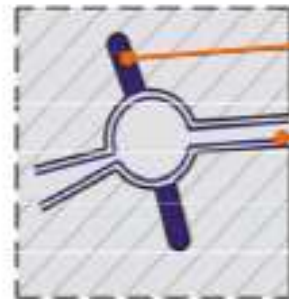
Prinzip der Osmose





| | | |
|---------------------------|---------------------------------|---|
| Ziegel | Makroporen | Kapillare und hygroskopische Wasseraufnahme, Kondensation, Kapillarkondensation |
| Zementstein | Gelporen | Kondensation, Kapillarkondensation |
| Porenbeton | Luftporen | Druckwasser, hygroskopische Feuchteaufnahme, Kondensation, Kapillarkondensation |
| Sanierputz, Wärmedämmputz | Luftporen | Druckwasser, hygroskopische Feuchteaufnahme, Kondensation, Kapillarkondensation |
| Beton | Gelporen (abhängig vom WZ-Wert) | Kondensation, Kapillarkondensation |



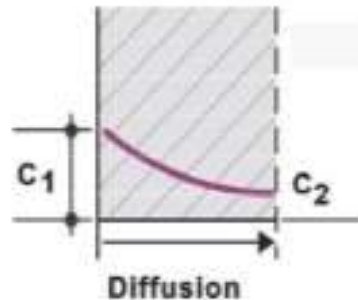


- Feuchte Luft -

- kleine Poren wassergefüllt
- Wasserfilm an der Oberfläche
- Wassertransport – Austausch
- bzw. Transport von Gasen und gelösten Stoffen durch Diffusion im Wasserfilm

Treibende Kraft für den Diffusionsprozeß

Konzentrationsunterschiede



poröser Baustoff

C_1, C_2 = Konzentration von z. B. H_2O , CO_2 , Cl^- etc. (Partialdruck)

Bild 11: Wasseraustausch zwischen Beton und Umgebung



- Regen (Spritzwasser) -

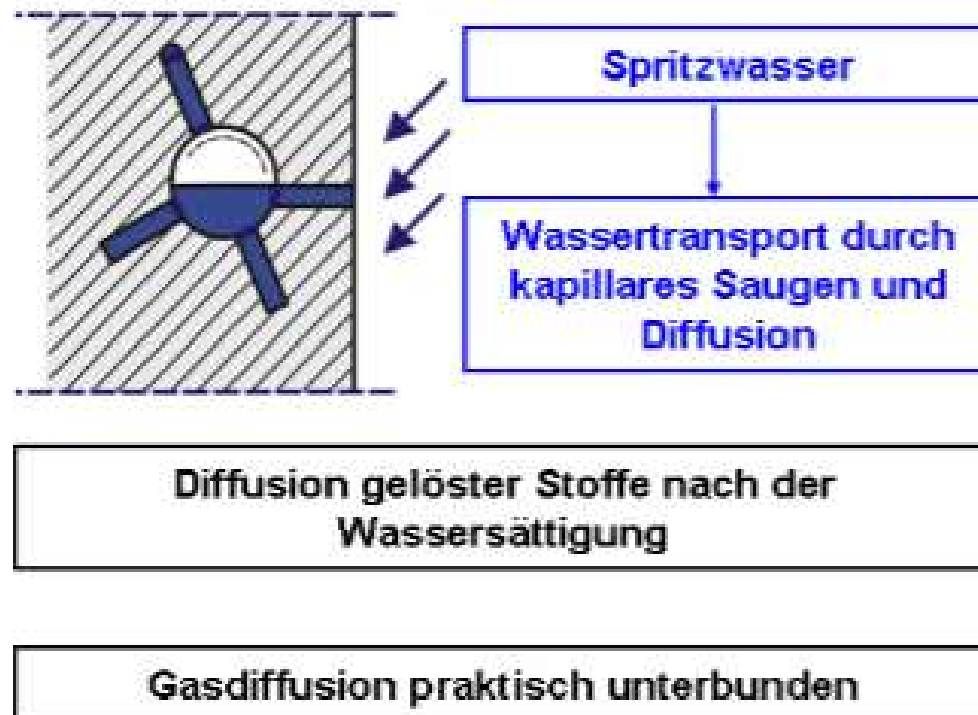


Bild 12: Wasseraustausch zwischen Beton und Umgebung



- Bauteile unter Wasser -

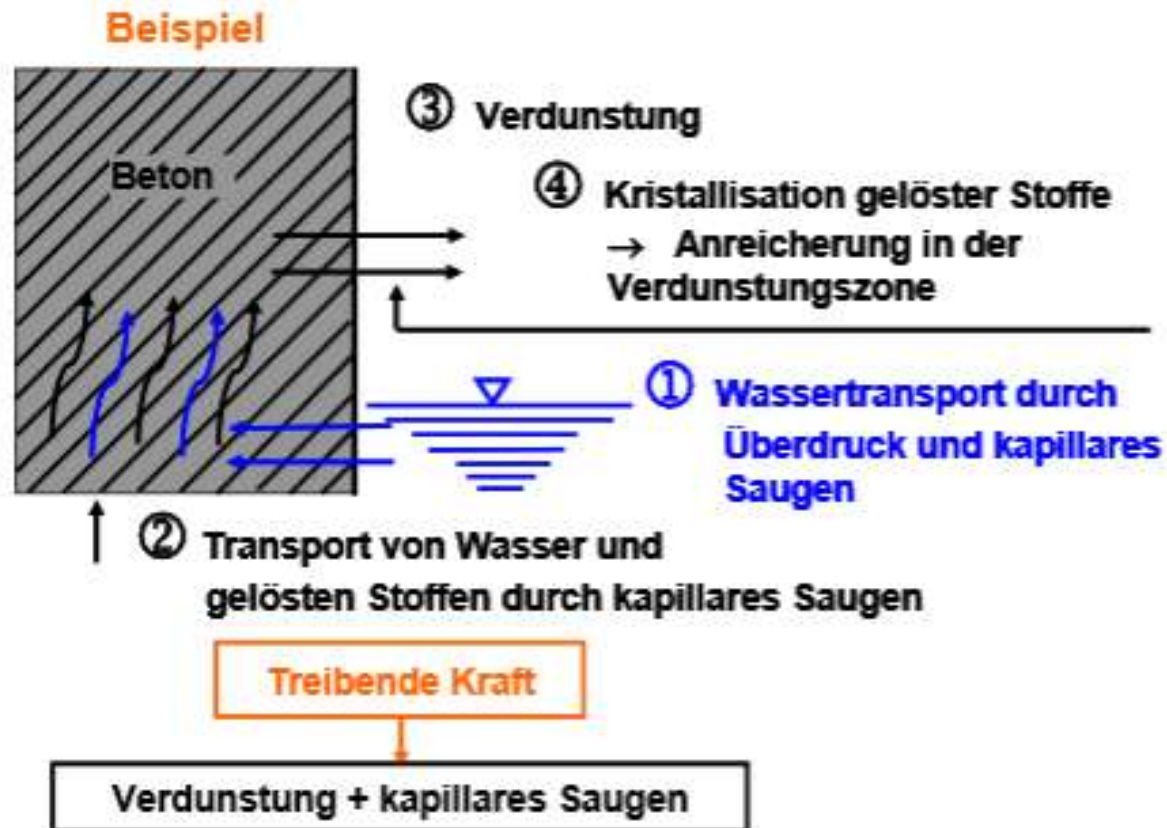
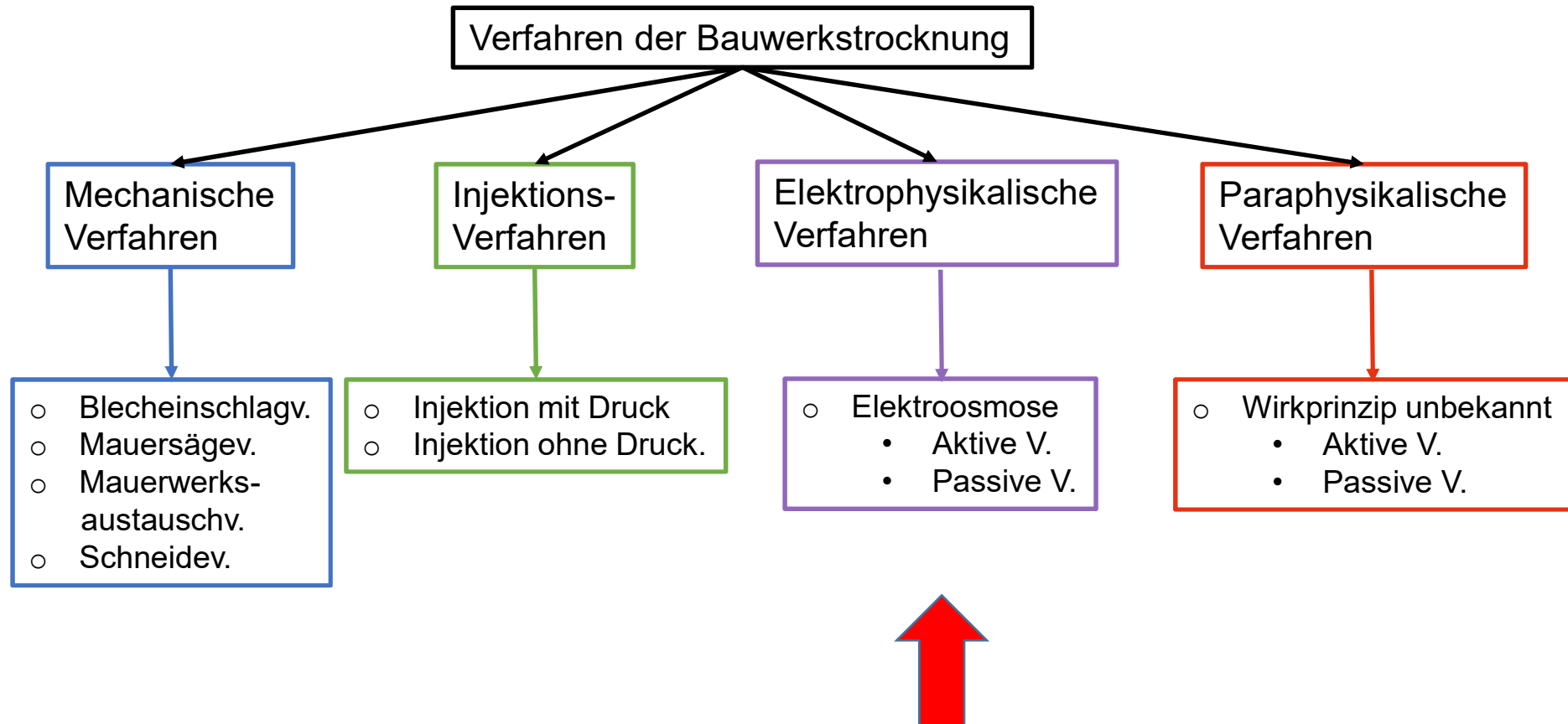


Bild 13: Wasseraustausch zwischen Beton und Umgebung

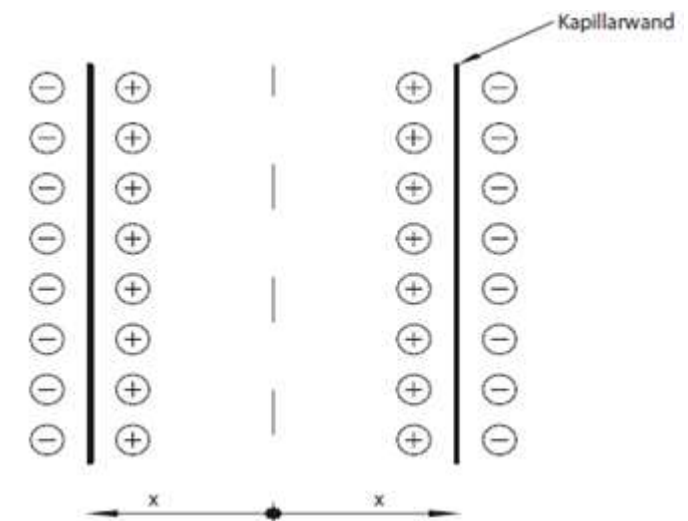
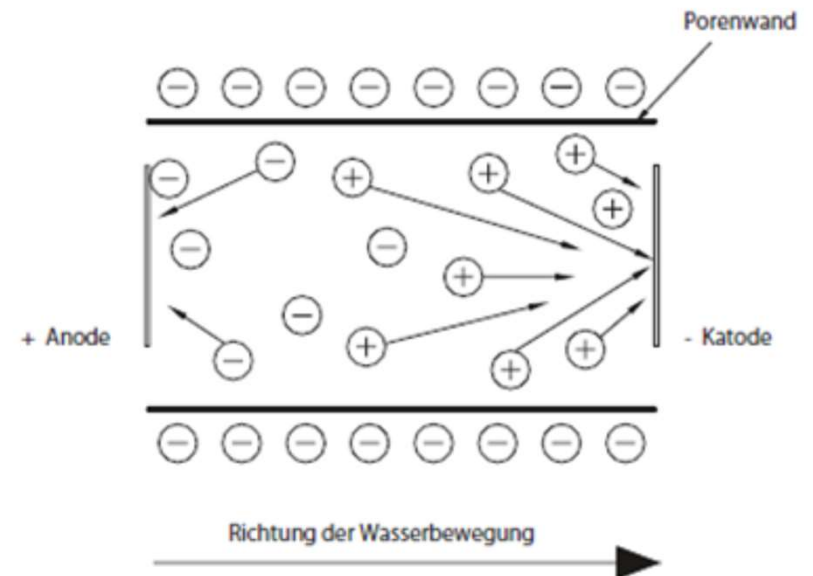


Elektroosmose:

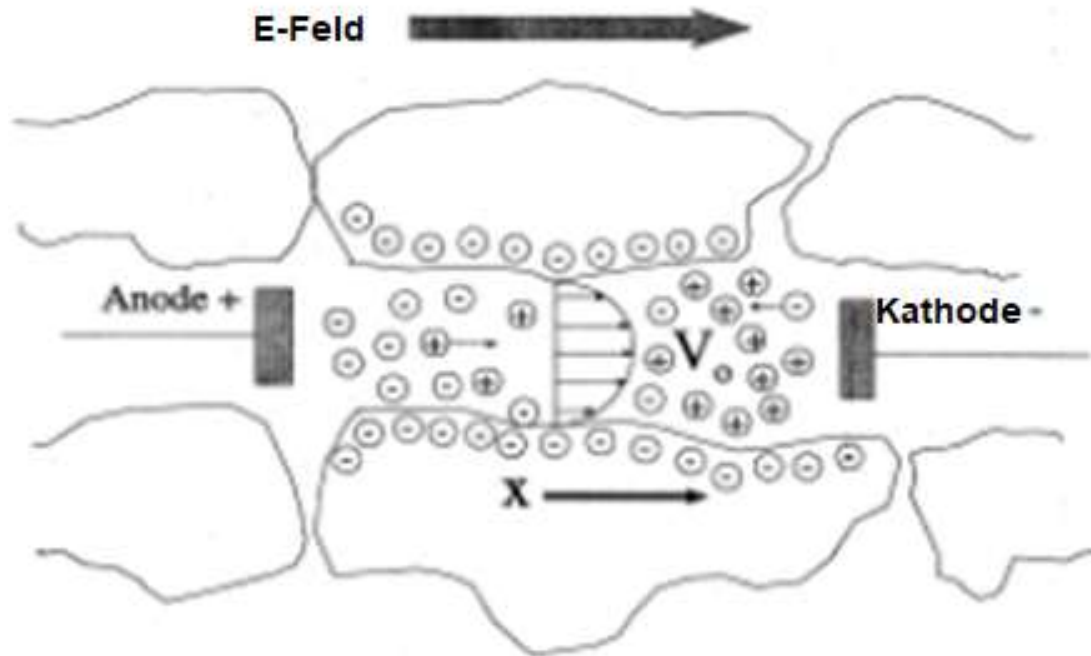
(1809 Reus, Moskau: 2 wassergefüllte Hohlelektroden im Boden, bei Anlegen einer Gleichspannung → Wanderung des Wassers zur Kathode, später durch Perrin, Helmholtz, Hittorf wiss. begründet)

Beschreibt die Bewegung von Flüssigkeiten im elektrischen Feld.

- Gehört zur Elektrokinetik (neben Elektrophorese, Strömungspotential, Sedimentationspotential)
- Elektrokinetik von elektrochemischer Doppelschicht zwischen Werkstoff (Kapillaren) und Flüssigkeit beeinflusst



Doppelschicht nach Helmholtz



Geschwindigkeit
der Elektroosmose:

Stationärer Zustand der Bewegung

$$\mu \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + E_x \varepsilon \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0$$

Integration

$$v_x = \frac{\varepsilon \xi}{\mu} E_x$$

ε – dielektrische Leitfähigkeit

ξ – Zeta – Potential

μ – Viskosität der Lösung

E_x – angelegtes E – Feld (extern)

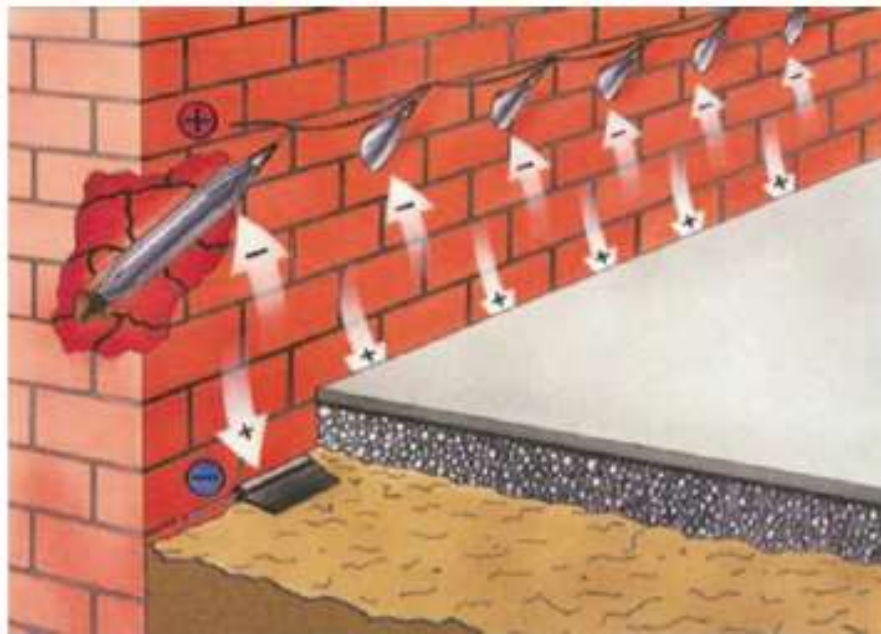
ϕ – Elektr. Potential Gradient



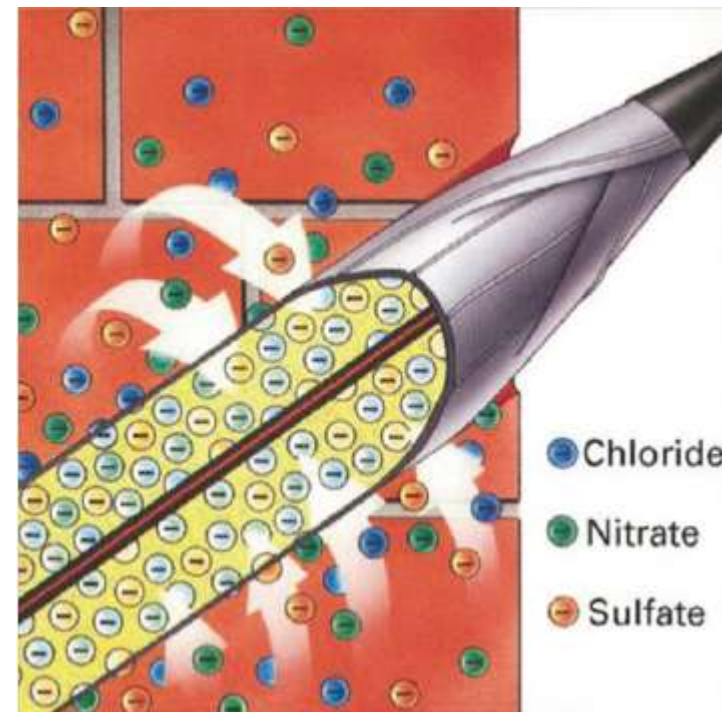
| Kategorie | Verfahren | Beispiele |
|--------------------------------|------------------------|--|
| Kategorie I | Entfernungsverfahren | Salze abbürsten, absaugen |
| | | salzbelastete Materialien entfernen |
| Kategorie II | Reduzierungsverfahren | AET- oder ETB-Verfahren |
| | | Delta-P-Verfahren |
| | | Kerasan-Verfahren |
| | | Kompressen-Verfahren |
| | | Injektions-Kompressenverfahren |
| | | Elektrochemisches Kompressen-Verfahren |
| | | Saugdocht-Verfahren |
| | | Vakuum-Fluid-Verfahren |
| | | Wasserbad-Verfahren |
| Opfer-Kompressenputz-Verfahren | | |
| Kategorie III | Umwandlungsverfahren | Chemische oder biologische Umwandlung |
| Kategorie VI | Beschichtungsverfahren | Calciumsilikatplatten |
| | | Sanierputzsysteme |

- Anlegen einer Gleichspannung (<60V) an das Mauerwerk
- Transport der Ionen zu den Elektroden (Anode, Kathode)
(strenggenommen keine Elektroosmose!)

Beispiel: **Kerasan-Verfahren** (anerkannt nach ÖNorm 3355 2017)
5-60 V Gleichspannung, Sammlung und Entfernung der Salze an Anode
möglich korrosionsbeständige Elektroden, längere Lebensdauer



Prinzipskizze der Anlagen zur Salzreduzierung



Prinzipskizze der mit einer Membran umhüllten Anode

Kerasan-Mauerwerkssanierung, Wien

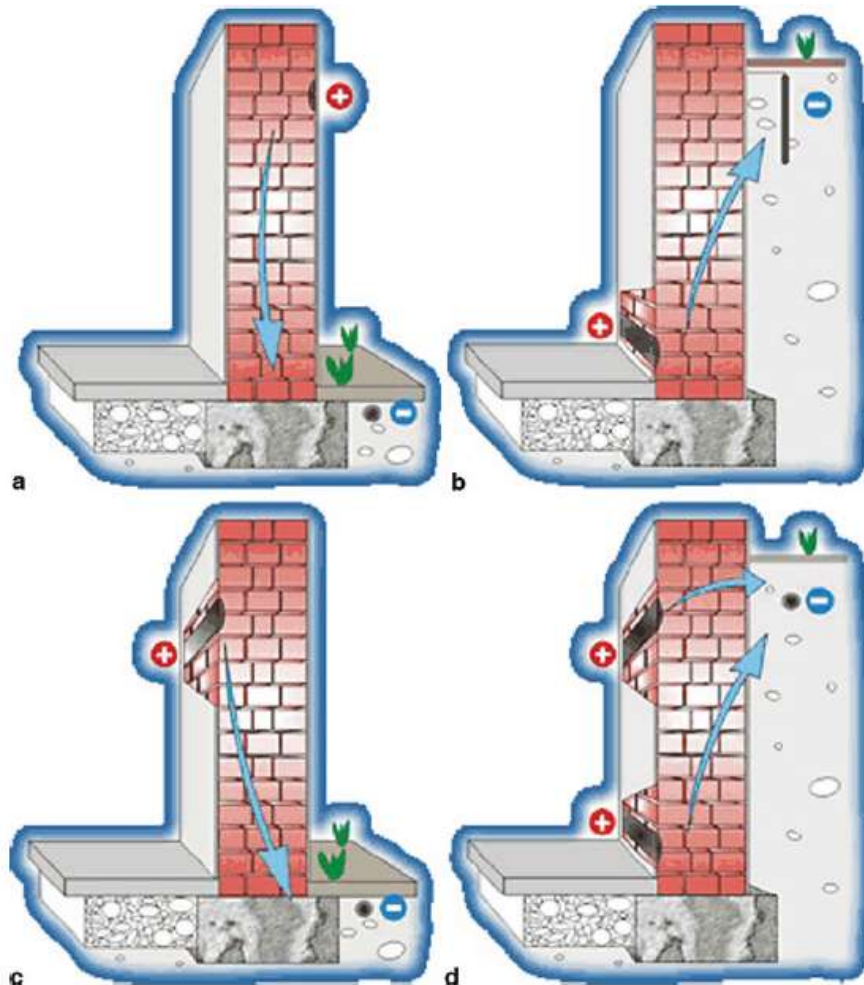


Abb. 18.39 a–d Beispiele der Elektrodenverlegung im Mauerwerk bei der aktiven Elektroosmose und die gewollte Wasserbewegung (Elkinet-Systeme)

- Elektroosmot. Wassertransport setzt voraus, dass elektroosmot. Kraft > Kapillarkräfte
- bestimmte Spannungen und Feldstärken (20-50 V/m) notwendig



Weitere Ansätze bestehen darin:

- **Anlagen in Anlehnung an Elektroosmose mit gering angelegter Gleichspannung (5-15 V)** → eher neutralisieren von Kapillarkräfte für aufsteigende Feuchtigkeit als Elektroosmose
- Anlagen zur Ausstrahlung anerkannter Wellen
- Anlagen auf Basis nichtanerkannter Wellen, Erdstrahlen und Wirbel



Inhalt des Vortrages:

- I. Physikalische Grundlagen
- II. Elektrophysikalische Mauertrockenlegung mit Drymat**

Wir begrüßen Sie
zur heutigen
Präsentation.



Drymat® Systeme



**Drymat - Systeme GmbH
Dresdner Straße 24
09577 Niederwiesa**

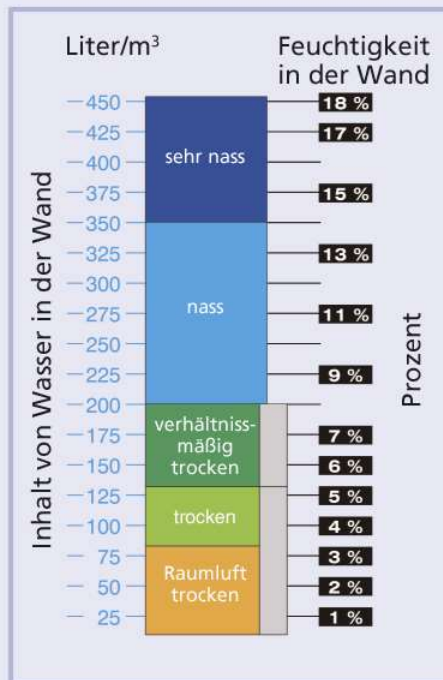
**Entwicklung, Forschung, Produktion
elektrophysikalischer Anlagen zur
Trockenlegung sowie langfristiger
Trockenhaltung von Bauwerken wie
Wohngebäuden, historischer Bausubstanz**

Geschäftsführer: Frank Lindner

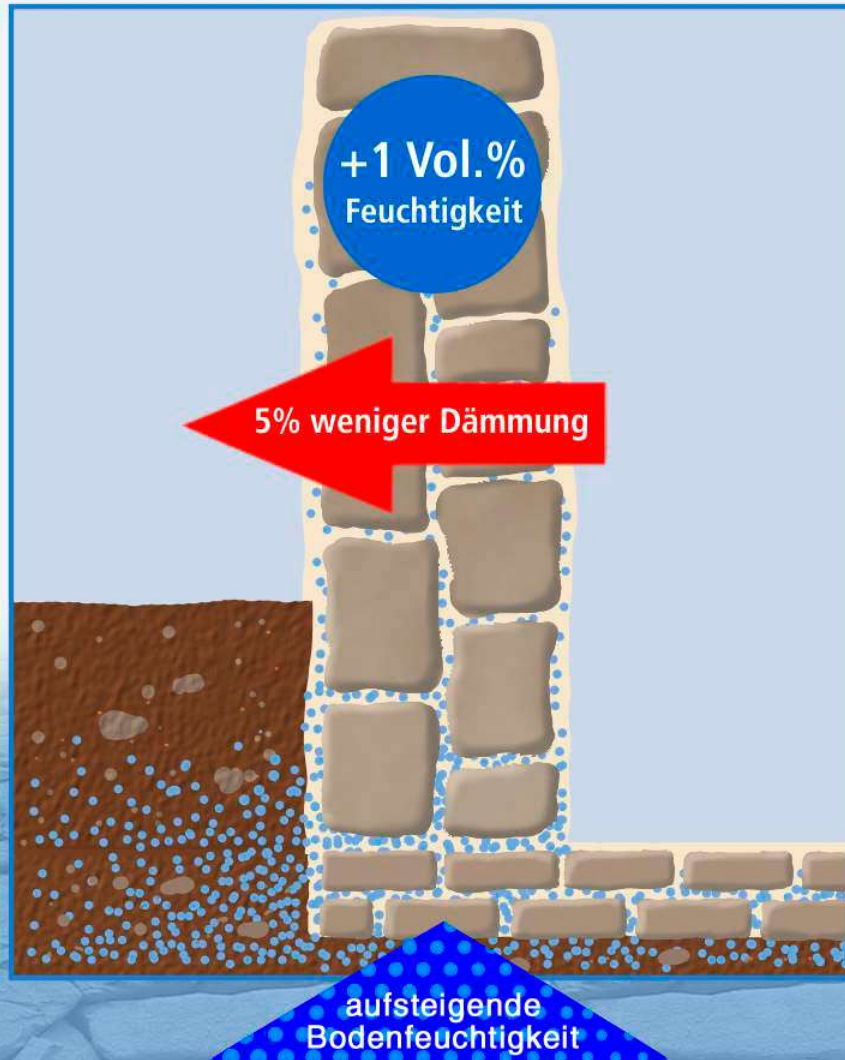
Durch Feuchtigkeit bedingte Schäden.



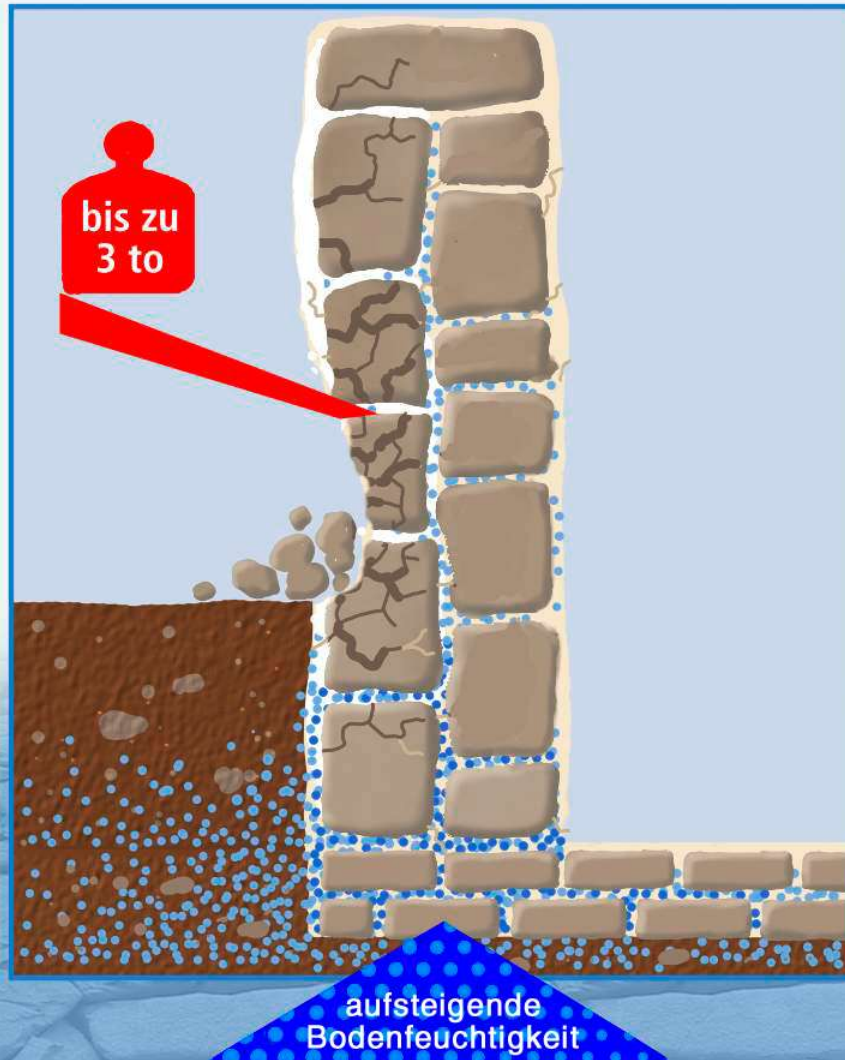
Feuchte Wände können bis zu 450 Liter Wasser pro 1 m³ enthalten.



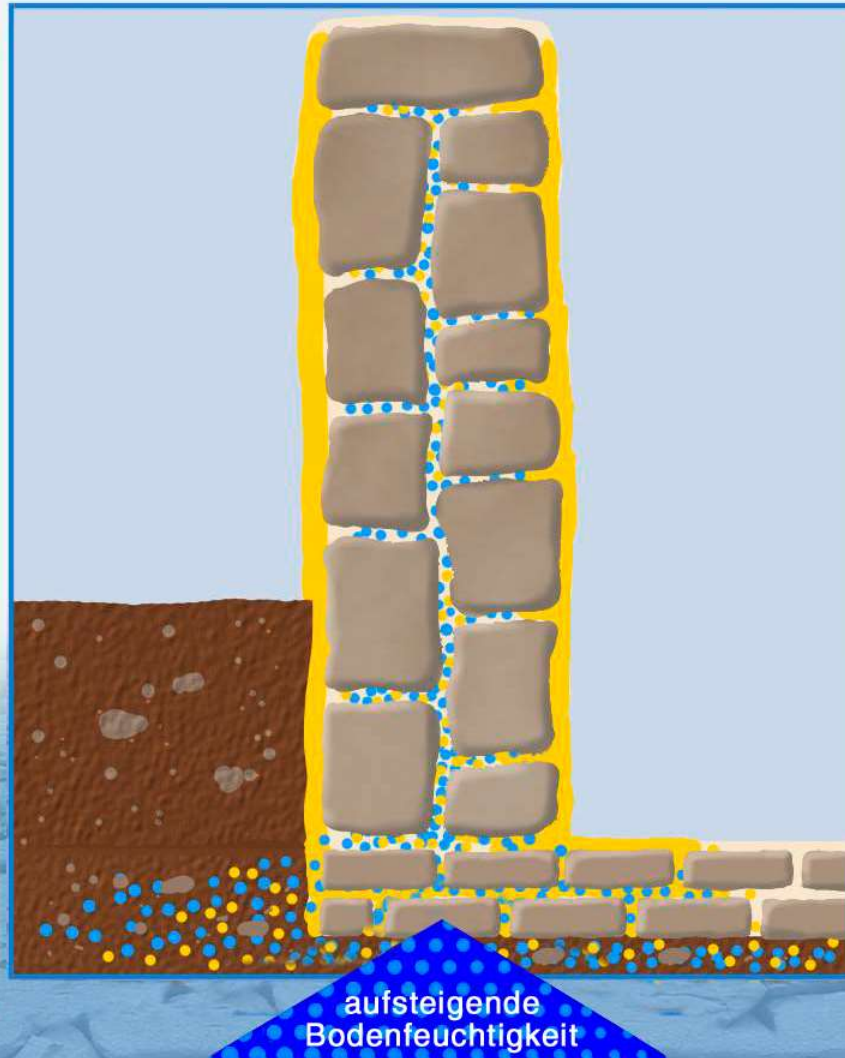
Beispiel für einen trocken-gelegten Keller



Reduktion von
Wärmedämm-
eigenschaft
des Mauer-
werks.



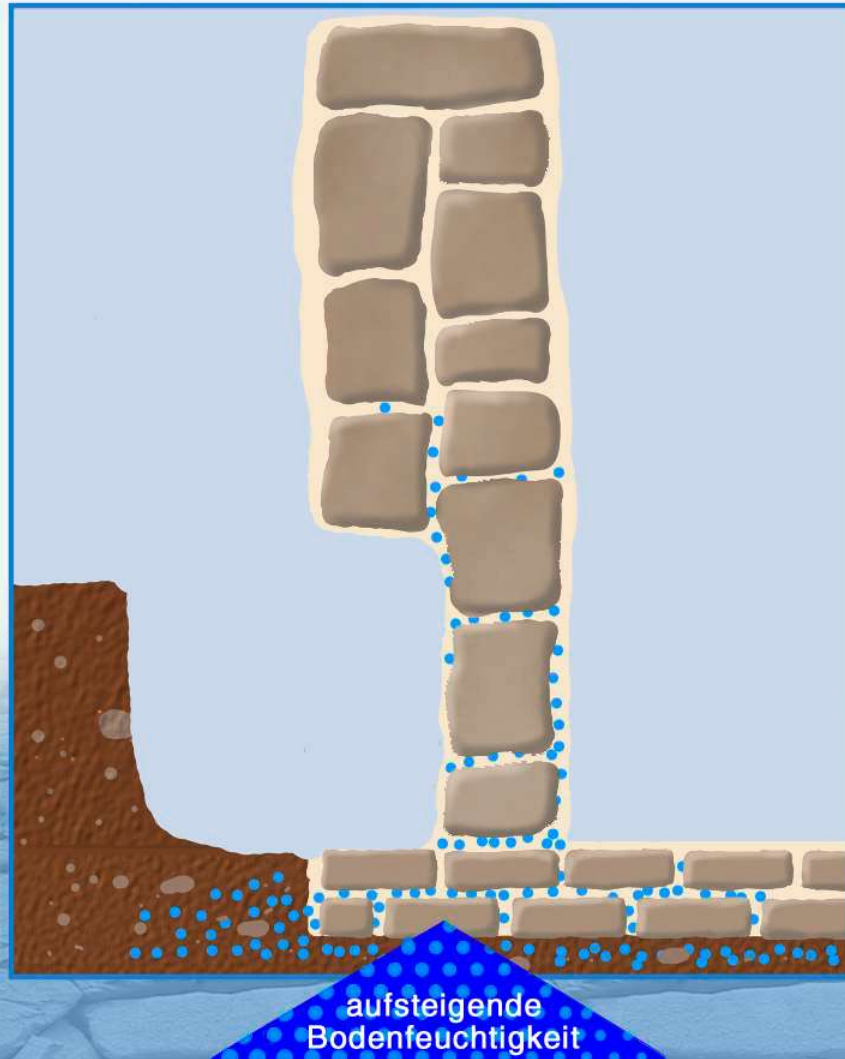
Wenn Wasser
zu Eis gefriert.



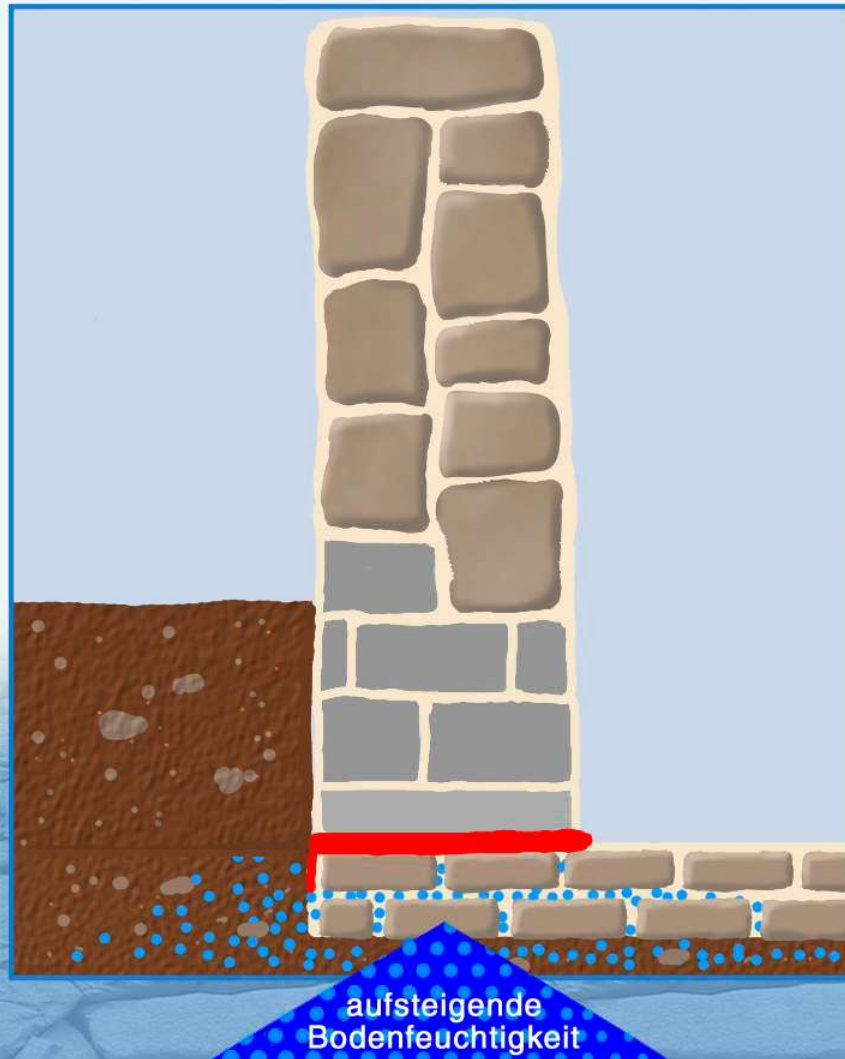
Einwanderung
von im Wasser
gelösten
bauschädlichen
Salzen.

Konventionelle Sanierungsverfahren

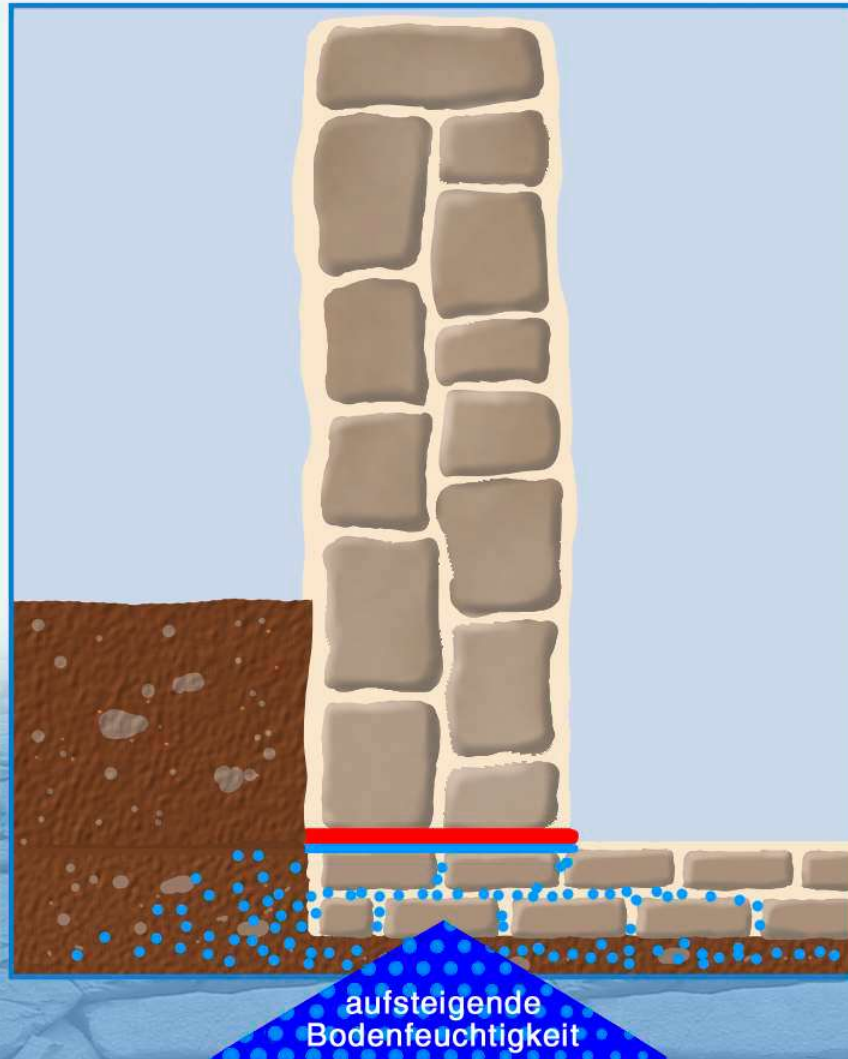




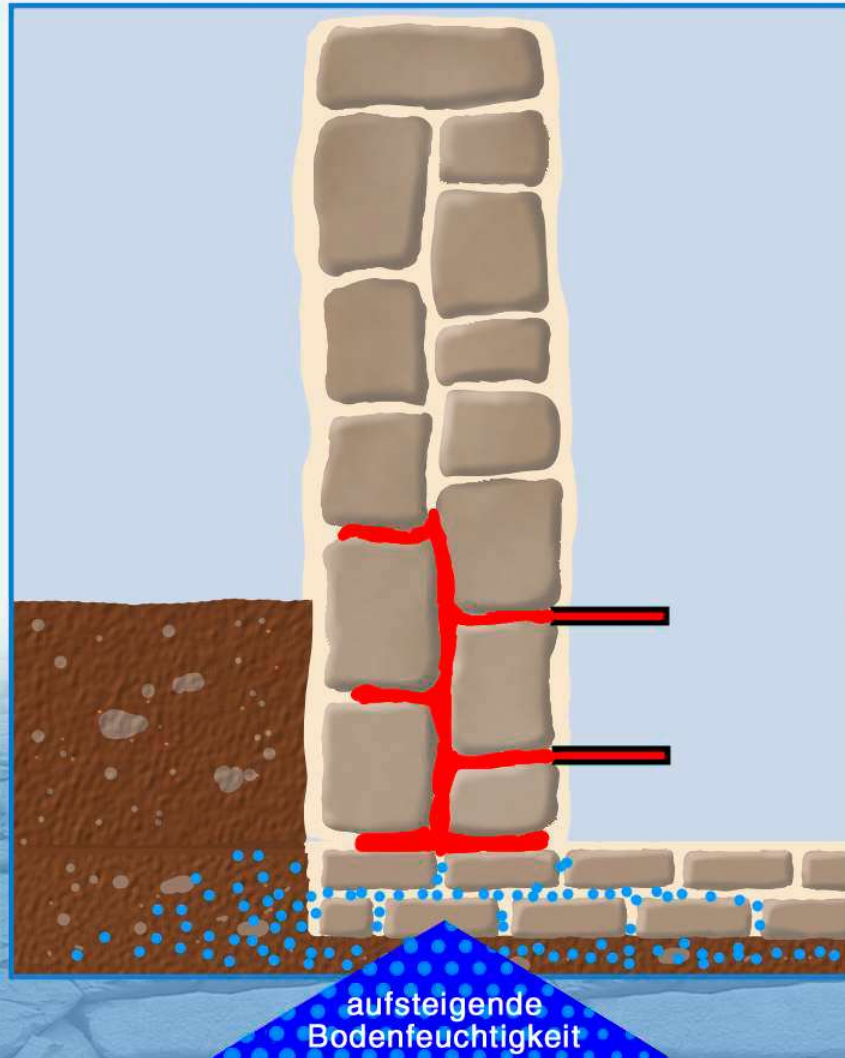
Sanierungs-
verfahren:
Mauer-
austausch
Schritt 1.



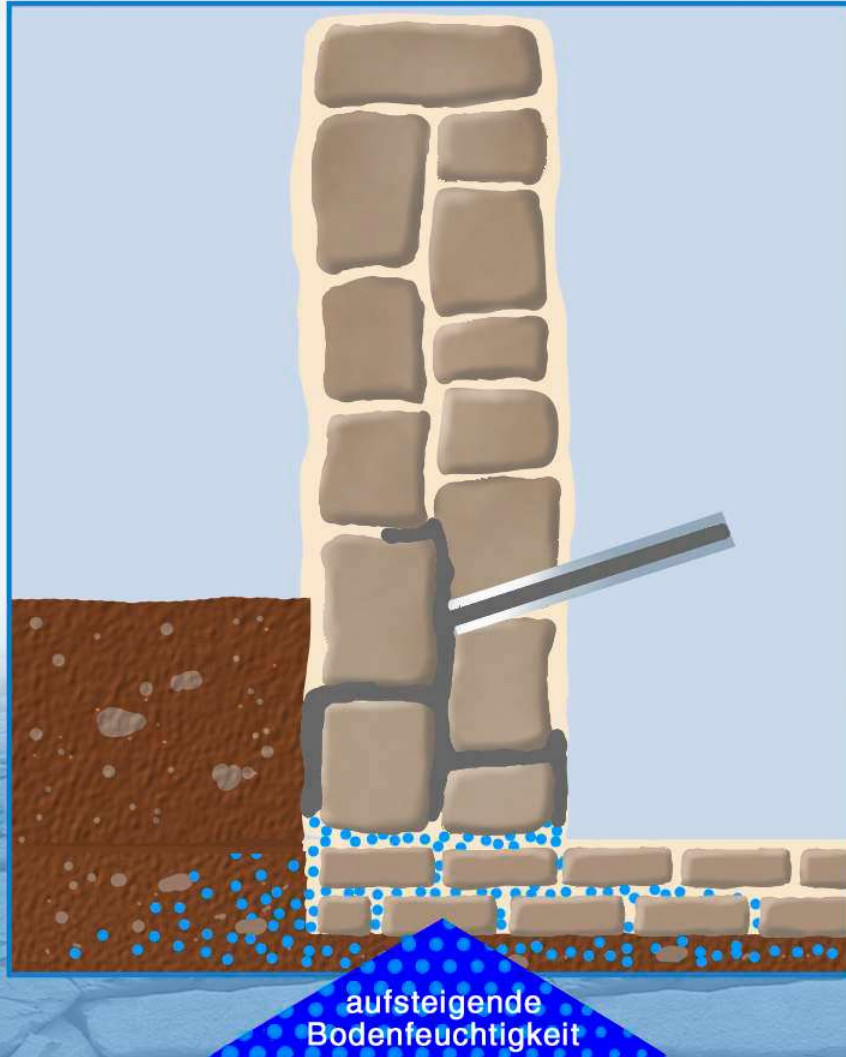
Sanierungs-
verfahren:
Mauer-
austausch
Schritt 2.



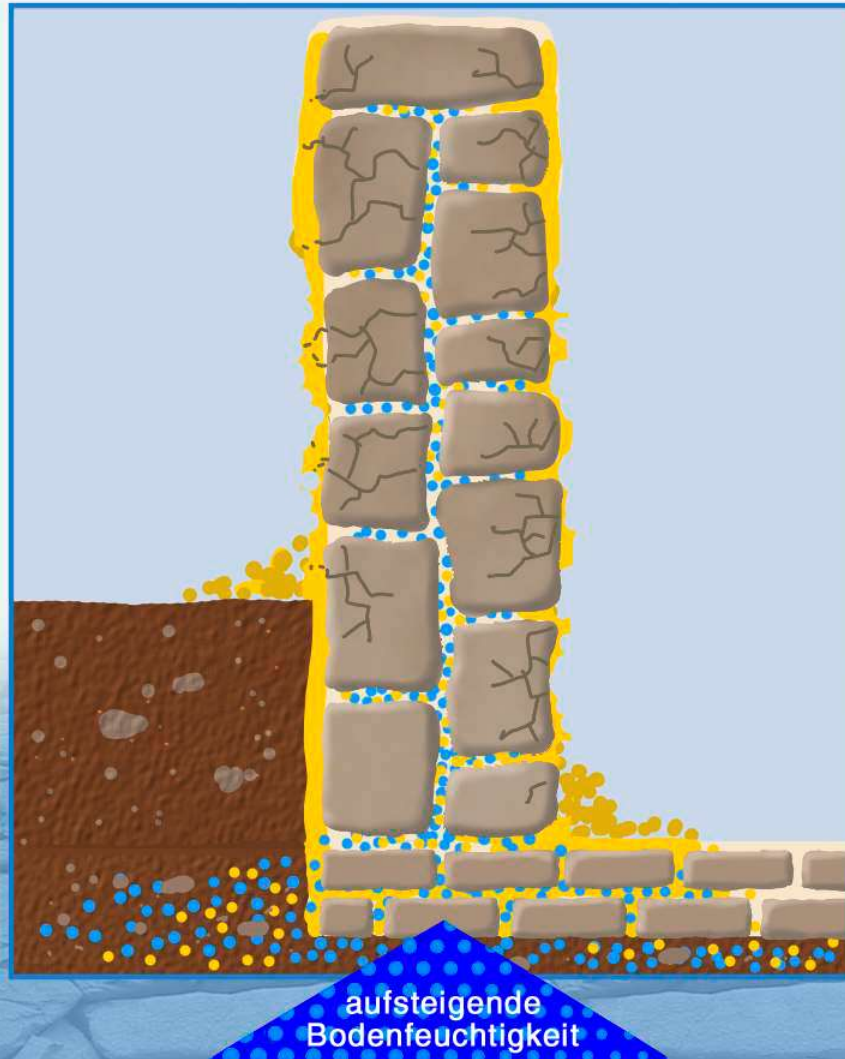
**Sanierungs-
verfahren:
Stahlblech-
verfahren.**



Sanierung
durch
Injektions-
verfahren.



Sanierung
durch
Bohrkern-
sperre.



**Beschädigung
durch Volumen-
vergrößerung
der einge-
lagerten Salze.**

Drymat® Systeme



Das elektrophysikalische Verfahren mittels eingebrachter Elektroden

**Bestandteil verschiedener europäischer
Sanierungsnormen, z.B. ÖNORM 3355**

**-geführt dort als allgemein wissenschaftlich
anerkanntes Verfahren mit praktischer Tauglichkeit**

**-durch gegenseitige Anerkennung von Normen ist die
Anwendung zugelassen in der gesamten EU**

**Feststellung von Ausfallkriterien
sogenannter elektroosmotischer,
korrekterweise bezeichnet als
elektrophoretische Anlagen, um diese für
den Sanierungsmarkt praxistauglich
einsetzen zu können**

Frühere Fehler derartiger Anlagen

Elektrische Fehler

- Verbau von Anodenmaterial geringer
Standzeit wie Eisen, Kupfer, Graphit oder Edelstahl
- Kontaktkorrosion an der Anlage durch
Verbau unterschiedlicher Metalle
- Lötverbindungen mit beschränkter
Lebensdauer

Frühere Fehler derartiger Anlagen

Physikalische Ursachen

-Verschiedene Leitfähigkeiten im und am Mauerwerk durch unterschiedliche Feuchte- und Salzbelastungen innerhalb des Bauwerkes führten zu unterschiedlicher und ungleichmäßiger Stromabgabe und somit ungleichen Abtrocknungsergebnissen

Frühere Fehler derartiger Anlagen

Elektrochemische Ursachen

-Versauerung des Mauerwerkes um die Anode herum

-Lt. FRIESE keine Kolloidwanderung wenn PH-Wert unter 4 sinkt

-Hierdurch Minimierung des Kolloidtransportes und somit der Anlagenleistung

Unser Anspruch - und nachfolgende Entwicklung

**Beseitigung aller Ausfallkriterien und Herstellung
einer wartungsfreien Anlage als langfristige Sperre
gegen aufsteigende Feuchtigkeit**



The electrophysical dehydration of walls.

Var.1

The permanent solution against rising dampness.



Alle Leiter, Schrauben, Klemmstellen, Anoden, Kathoden bestehen aus einem Material --- ausschließlich gleichem Edelmetall

-ausschließlich Schraubverbindungen

-somit keine Lötverbindungen mehr notwendig

-Herstellung jeder Schraubverbingung mit definierter NM-Stärke mittels Drehmomentschlüssel







-gleichmäßige Stromverteilung ermöglicht durch definierte Varistoren / Vorwiderstände an jeder Anode

-an jeder Anode ist somit nunmehr ein Elektronenfluss / Stromeintrag in gleicher Höhe möglich

-Energieeintrag in Watt wird zusätzlich gesteuert in Abhängigkeit vom vorhandenen Mauerwerkswiderstand des Gesamtmauerwerks durch sogenannte Konstantstromquelle im Steuergerät



Varistor-Anode

Steuergerät der Anlage

- überwacht sich permanent selbst**
- ist feuchtegeschützt nach IP 65**
- in Anlehnung an die DIN alterungsgetestet**
- prolongierte Lebensdauer somit 30 Jahre**
- Verbrauch lediglich 6-8 Watt pro Stunde
(vergleichbar mit dem Trafo einer Hausklingel) für
Trockenlegung / Trockenhaltung**

Einsatz einer Mörtelbrücke, welche

-langfristig wartungsfrei ist und somit den Betrieb der Anlage ausfallfrei sichert

-den PH-Wert puffert und somit einen permanent gleichmäßigen Elektronenfluss, auch nach vielen Jahren, nachweist



Anwendungsvorteile
der elektrophysikalischen
Mauerentfeuchtung durch

Drymat® Systeme



**Keine irreversiblen Eingriffe
in die Bausubstanz
(denkmalschutzgerecht).**

Drymat® Systeme



**Extrem dickes Mauerwerk
ist trockenlegbar.**

Drymat® Systeme



Schonende Trockenlegung ohne Eingriffe in die Gebäudestatik.

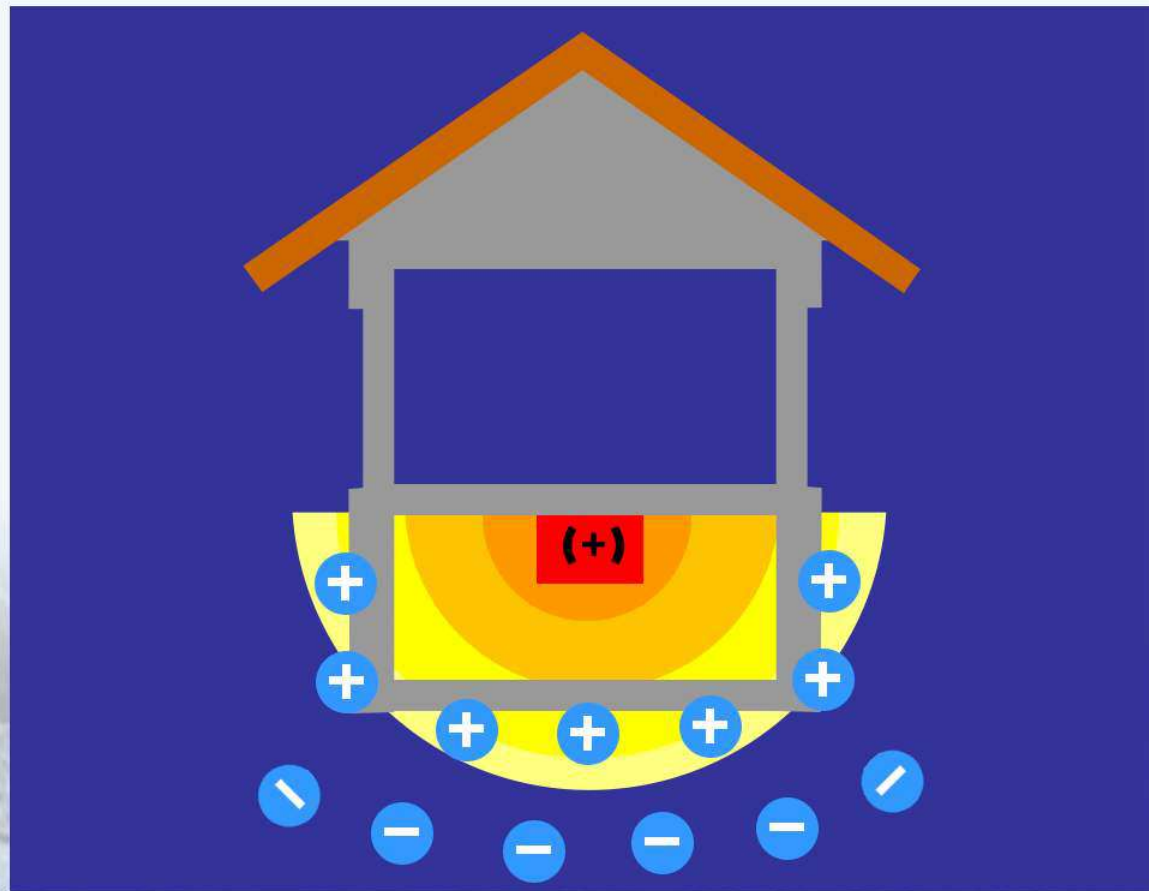
Drymat® Systeme



**Auch unzugängliche Bereiche
wie das Fundament sind mit
diesem Verfahren trockenlegbar.**

Drymat® Systeme







Feuchtigkeits- analyse.

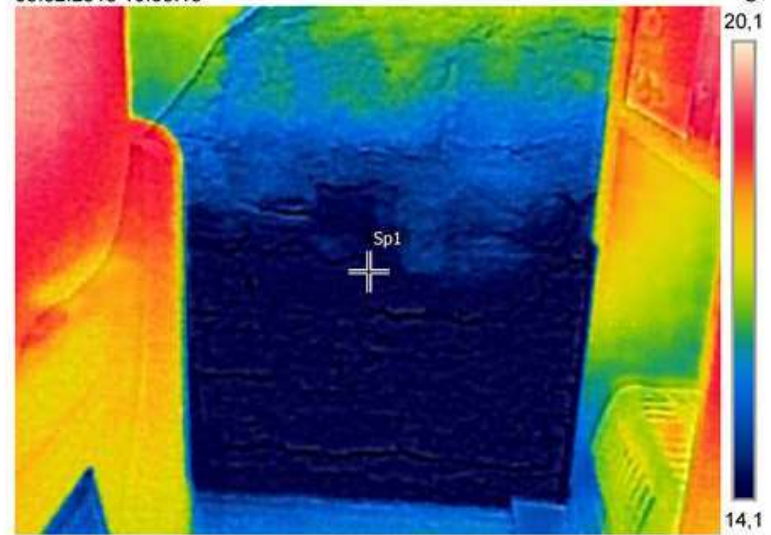




Schlafzimmer - Aussenwand frontal Vergleich Feb/Dez'15

| Messungen | | ° C |
|---------------|--------|-----|
| Sp1 | 13,8 | |
| Parameter | | |
| Emissionsgrad | 0.95 | |
| Ref. Temp. | 20 ° C | |

09.02.2015 19:55:15



FLIR0260.jpg

FLIR E8

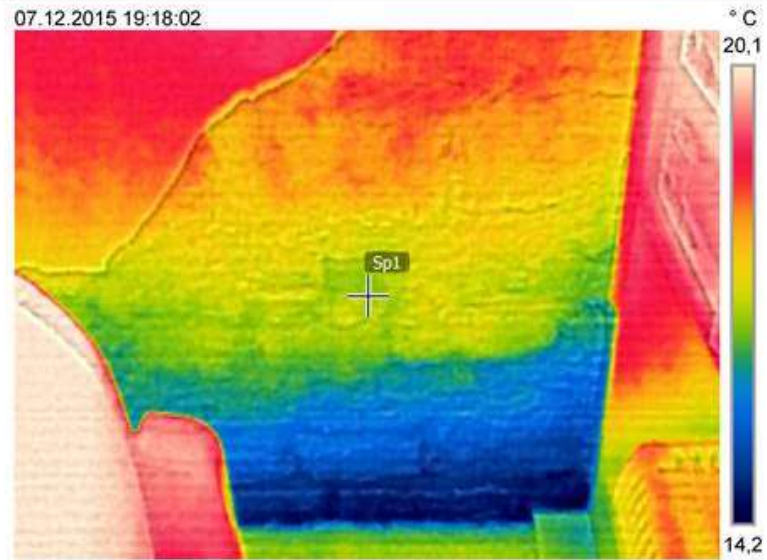
63941589



Schlafzimmer - Aussenwand frontal Vergleich Feb/Dez'15

| Messungen | | ° C |
|---------------|--------|-----|
| Sp1 | 17,4 | |
| Parameter | | |
| Emissionsgrad | 0.95 | |
| Refl. Temp. | 24 ° C | |

07.12.2015 19:18:02



FLIR0719.jpg

FLIR E8

63941589

ERDC/CERL TR-02-21

Construction Engineering
Research Laboratory



US Army Corps
of Engineers®
Engineer Research and
Development Center

Electro-Osmotic Pulse (EOP) Technology for Control of Water Seepage in Concrete Structures

Michael K. McInerney, Sean Morefield, Sondra Cooper, Philip
Malone, Charles Weiss, Matthew Brady, James P. Bushman,
Jonathan Taylor, and Vincent F. Hock

August 2002



Wet
basement
before
EOP
application



Dry
basement
after
EOP
application

Approved for public release; distribution is unlimited.

ERDC TR-06-9

Engineer Research and
Development Center



US Army Corps
of Engineers®
Engineer Research and
Development Center

Electro-Osmotic Pulse Technology for Control of Water Seepage in Various Civil Works Structures

Vincent F. Hock, Orange S. Marshall, Michael K. McInerney,
Sean Morefield, Philip Malone, Charles Weiss,
Justin Kleinschmidt, Ann Harrer, Kristi Holtz,
Daniel Goran, Kalin Richardson, and Robert Condon

October 2006



UPPER MISS. RIVER LOCK NO. 7
P. W. A. CONT. NO. 1952 ENG. 10 81
CENTRAL CONTROL STATION
NO. 1 ENGINEER OFFICE, ST. PAUL, MINN.
NOV. 19 - 1934 NO. 120

Approved for public release; distribution is unlimited.

Eremitage St. Petersburg



Die Eremitage, St.Petersburg



Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit





Fragen?