

B+B 2000 – Heft 04 – Seite 15-19

Dipl.-Ing. Dirk Fischer, Dr. Uwe Wirringa

## Wirkung mit Winkel

*Aufsteigende Feuchtigkeit: Überlegungen und Bedingungen für den Einsatz druckloser Injektionen*

*Im Vordergrund des Beitrages steht die Untersuchung zur Verteilung von nicht wassermischbaren Harzlösungen in hochdurchfeuchteten mineralischen Substraten. Ebenso wird ein optimiertes Verfahren zur drucklosen Injektion gegen aufsteigende Feuchtigkeit erläutert.*



Injektion nach dem Kartuschenwinkel-Verfahren

Alle Abb.: Köster Bauchemie

Aus chemischer Sicht stellt durch aufsteigende Feuchtigkeit geschädigtes Mauerwerk ein komplexes Zweiphasensystem dar – aus dem eigentlichen mineralischen Baustoff (Ziegel, Mörtel etc.) sowie der im Kapillarraum enthaltenen Elektrolytlösung.

Bereits die Analyse und Beurteilung des Schädigungsgrades durch aufsteigende Feuchtigkeit ist oftmals mit einfachen baustellentauglichen Mitteln nicht mehr möglich und muss daher in entsprechend ausgerüsteten Laboratorien durchgeführt werden.

Erst auf Grundlage dieser Kenntnisse kann die Wahl des geeigneten Injektionsstoffs aus der Vielzahl der am Markt angebotenen Produkte erfolgen.

Der weit verbreiteten Meinung, dass lediglich wässrige Stoffe für die Injektion in hochdurchfeuchtetes Mauerwerk (Porenfüllgrad > 50%) geeignet sind, stehen physikalisch-chemische Tatsachen entgegen.

So werden wasserlösliche Injektionsstoffe durch vorhandenes Porenwasser verdünnt (Wirkstoffdiffusion) – ausschließlich physikalisch trocknende Systeme bedürfen flankierender Trocknungsmaßnahmen, ohne die keine Abreaktion des Materials stattfindet – bei salzhaltigen Porenlösungen können chemische Nebenreaktionen (z.B. Aussalzung von Silikaten) stattfinden.

### Chemische Horizontalsperren – Funktion und Wirkung

**Kurz gefasst:** Die Wirkungsentfaltung und Funktionsfähigkeit von chemischer Horizontalsperren hängt ab von

- ausreichender Penetration in den mineralischen Untergrund
- Abreaktion des Injektionsstoffs, unabhängig von Feuchte- und Salzgehalt des Baukörpers

### Horizontalsperre: Die 4 Grundlagen ihrer Funktion

Die Funktionsfähigkeit einer Horizontalsperre auf Basis organischer Harzlösungen von folgenden Parametern bestimmt:

1. Oberflächenspannung der Lösung: Die Grenzflächenspannung zwischen Lösung und mineralischem Baustoff muss niedriger als die zwischen Wasser und dem mineralischen Substrat sein. In diesem Fall findet eine bessere Benetzung der Kapillarwand durch das Injektionsharz als durch bereits vorhandenes Porenwasser statt.
2. Viskosität Allgemein sollte die Viskosität des Injektionsstoffs so gering wie möglich sein. Grundsätzlich gilt bei laminaren Strömungen das Hagen-Poiseulle-Gesetz:

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi(p_1 - p_2)}{8\eta l} R^4$$

R = Radius des durchströmten Rohrs (Kapillare)

$\eta$  = Viskosität der Flüssigkeit

$p_1 - p_2$  = Druckdifferenz

Durch den Einfluss der Viskosität im Nenner der Formel erhöht sich mit sinkender Viskosität der Volumenstrom pro Zeiteinheit bei sonst konstanten Variablen.

3. Dichte: Eine geringere Dichte des Injektionsstoffs im Vergleich zu Wasser unterstützt den Penetrationsprozess durch Aufrahmung, es gilt das Stoke-Gesetz:

$$u_r = \frac{2gr^2(\rho_1 - \rho_2)}{9\eta}$$

Aus dem Stokes-Gesetz folgt, dass die Aufrahmggeschwindigkeit  $u_r$  proportional der Dichtedifferenz  $\rho_1 - \rho_2$  der beiden Flüssigphasen Wasser und Kohlenwasserstoff ist.

4. Chemischer Vernetzungsmechanismus Der Vernetzungsmechanismus (z.B. Polymerisation) muss unabhängig von der Verdunstung des Lösungsmittels bzw. des Porenwassers erfolgen.

### Nachweis der Funktions-Grundlagen

Diese grundsätzlichen Überlegungen stellen bereits eine Reihe von Dogmen in der Instandsetzung aufsteigender Feuchtigkeit in Frage!

Daher sind zur labor- und anwendungstechnischen Bewährtheit eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt worden. Ihr Zweck: Penetration und Wirkungsaufbau von Harzlösungen bei hohen Durchfeuchtungsgraden zu ermitteln.

Zunächst erfolgte eine Vergleichsuntersuchung der absoluten Aufnahmemengen bei unterschiedlichen Durchfeuchtungsgraden zwischen einem Injektionsstoff mit diesen chemisch-physikalischen Eigenschaften

Produktbasis: in Isoparaffinen gelöstes Harz

Vernetzungsmechanismus: Polymerisation bei Kontakt mit atmosphärischem bzw. in Wasser gelöstem Sauerstoff

Viskosität: 1,20 mPa.s

Dichte: 0,76 g/cm<sup>3</sup>

Oberflächenspannung: 24,2 mN/m und einem Injektionsstoff auf Basis Alkalisilikat/Silikonat in Wasser angestellt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigt Diagramm 1.

Bei dem verwendeten Ziegel handelte es sich um einen historischen Ausbauziegel mit folgenden Materialkennwerten:

Art: Vollziegel, sogenanntes Klosterformat

Alter: mind. 150 Jahre Format: 280 x 130 x 85 mm

Wasseraufnahmekoeffizient: 14,04 kg/(m<sup>2</sup> x h<sup>0.5</sup>)

Porengehalt: 24,66%

Die Injektion erfolgte drucklos innerhalb 24 Stunden an einzelnen Ziegeln, die entsprechend Diagramm 1 ([Abb.2](#)) auf unterschiedliche Feuchtegehalte eingestellt wurden. Um auszuschließen, dass Verdunstungsprozesse während der Injektion zu einer Verfälschung der Aufnahmemengen führen, wurden die Probekörper während der Injektion in Kunststoffbeutel verpackt.

Es bleibt festzuhalten, dass diese Untersuchungsmethode sicherlich nur einen ersten Anhaltspunkt zur Penetration unterschiedlicher Injektionsstoffe geben kann.

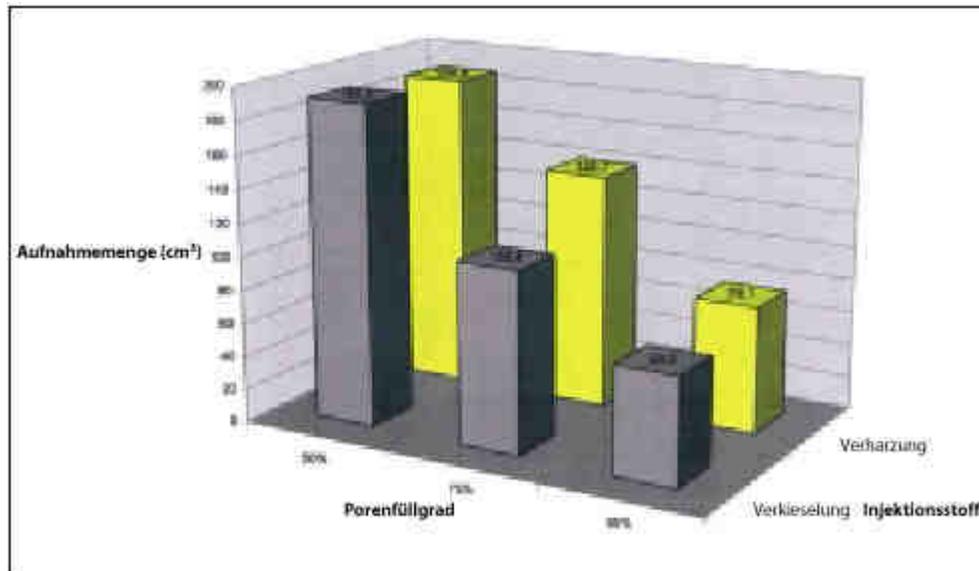
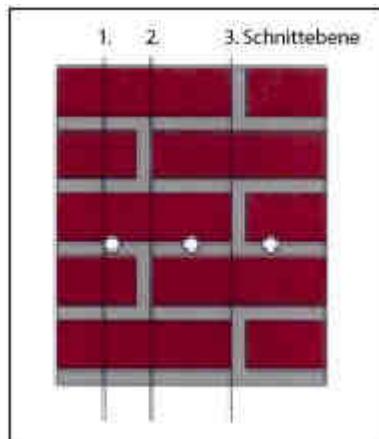


Abb. 2: Diagramm: Aufnahmemengen unterschiedlicher Injektionsstoffe in Abhängigkeit vom Porenfüllgrad



### Abb. 3: Schnittschema des Probefüblers

Um das Penetrationsverhalten unter praxisnäheren Bedingungen zu untersuchen, wurden dieselben Ziegel zu einem Pfeiler vermauert und mit Hilfe eines Kartuschenwinkel-Verfahrens (Beschreibung folgt im gleichnamigen Absatz) innerhalb 48 Stunden drucklos injiziert. Der Pfeiler besaß die Abmessungen (B • T • H) 410 • 410 • 500 mm. Als Mörtel wurde ein Kalkzementmörtel verwendet.

Drei Wochen vor, während und nach der Injektion verblieb der Pfeiler in einem Wasserbad, wobei dem Wasser nach Abschluss der Abdichtungsmaßnahme ein wasserlöslicher Farbstoff zugesetzt wurde.

Zwei Wochen nach Abschluss der Injektion wurde der Pfeiler entsprechend dem in [Abbildung 3](#) wiedergegebenen Schema zerschnitten und die einzelnen Scheiben erneut in ein gefärbtes Wasserbad gestellt.

#### **Höhere Porenfüllgrade – höhere Materialaufnahme**

Die Laboruntersuchungen an isolierten Ziegeln belegen eindeutig eine im Vergleich zum wässrigen Injektionsstoff deutlich höhere Materialaufnahme von ca. 20 bis 30% bei höheren Porenfüllgraden. Auf Grundlage dieser Daten kann sicher ausgeschlossen werden, dass bei wässrigen Injektionsstoffen eine Verteilung durch Wirkstoffdiffusion im Mauerwerk stattfindet. Ebenso kann ausgeschlossen werden, dass nicht-wässrige Injektionsstoffe eine schlechtere Penetration in Baustoffen besitzen, vielmehr ist das Gegenteil der Fall.

#### **Die Belege der experimentellen Befunde**

Die Untersuchung des zerschnittenen Pfeilers zeigte zunächst, dass der verwendete Mörtel wasserdurchlässig war. Weiterhin zeigte die Schnittflächen eine deutliche Einpenetration des wasserlöslichen Farbstoffs bis an die Grenze des Bereichs in dem durch die Tropfenaufsetzmethode die hydrophobierende Harzlösung nachgewiesen werden konnte.

Nach unserer Auffassung zeigen all diese experimentellen Befunde deutlich, dass durch die drucklose Injektion von Harzlösungen innerhalb kurzer Zeit wirksame Horizontalsperren in Mauerwerk aufgebaut werden.

#### **Verfahrenstechnische Aspekte**

Die Bekämpfung aufsteigender Feuchtigkeit in porösen Baustoffen stellt an den Bautenschützer nicht nur die Anforderung nach der korrekten Wahl des

Injektionsstoffs. Vor Ort steht vielmehr die Frage nach der korrekten Anordnung und Ausführung der Injektionsmaßnahme im Vordergrund.

Bei der Entwicklung des nachfolgend beschriebenen Verfahrens standen daher die Vereinfachung von Bohrwegberechnungen, die Verkürzung von Bohrzeiten sowie Durchführung druckloser Injektionen in starkwandigen Bauteilen im Vordergrund.

Im Folgenden soll ein neues Verfahren zur drucklosen Injektion vorgestellt werden, mit dem es ermöglicht wird, Injektionsstoffe horizontal in das Mauerwerk einzubringen.

### Praxisbedingungen: Probleme und Lösungen

Bei dem hier vorgestellten Verfahren handelt es sich um eine Alternativlösung zum bekannten Schrägbohrverfahren ([Abb. 4](#))

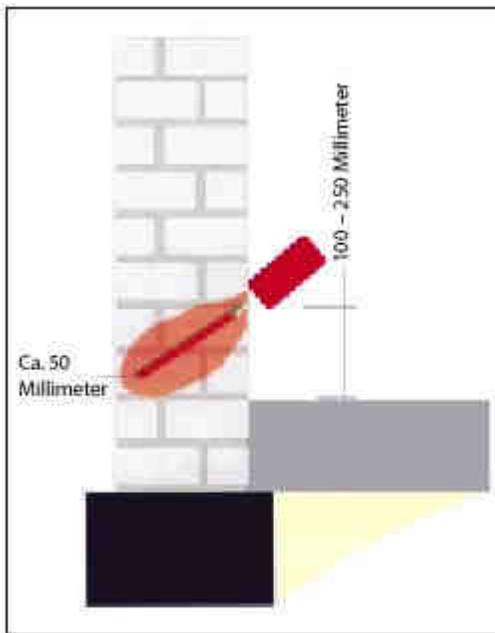


Abb. 4: Konventionelles Schrägbohrverfahren

Unter Praxisbedingungen stellt sich für den Verarbeiter bei Anwendung des Schrägbohrverfahrens das Problem:

- Eine exakte Einhaltung von Bohrwinkel und zu erreichender Bohrtiefe ist nur schwer zu erreichen. Unter der Maßgabe, dass die Bohrung 5 cm vor der Außenfläche des Mauerwerks zu enden hat, können bereits geringe Winkelabweichungen entweder zu einem Durchbohren der gesamten Wand oder andererseits zu einer zu geringen Bohrtiefe führen ([Abb. 5](#)). Exemplarisch seien nachfolgend zwei Berechnungen für zwei unterschiedliche Winkel ausgeführt.

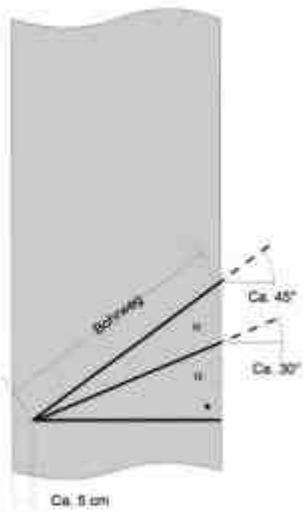


Abb. 5: Erläuternde Skizze zur Bohrwegberechnung

Bei 45°: Bohrweg = (Wanddicke – 5 cm)/sin  $\alpha$ ;

$\alpha = 45^\circ$ ,

Wanddicke = 40 cm

-> einzuhaltender Bohrweg = 49,5 cm

Bei 30°: Bohrweg = (Wanddicke – 5 cm)/sin  $\alpha$ ;

$\alpha = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$ ,

Wanddicke = 40 cm

-> einzuhaltender Bohrweg = 40,4 cm

Als näherungsweise Faustformel gilt: Bohrweg = 1,33 · (Wanddicke – 5 cm)

Bereits hier wird deutlich, dass der unter Praxisbedingungen schwer einzuhaltende Bohrwinkel erhebliche Auswirkungen auf die tatsächliche Bohrtiefe und damit auf den Erfolg der Abdichtungsmaßnahme hat.

In den obengenannten exemplarischen Fällen folgt aus einer Winkelabweichung von lediglich 15° eine Differenz bei der zu erreichenden Bohrtiefe von ca. 9 cm. D. h. entweder wird das Bauteil durchbohrt oder die Bohrtiefe ist nicht ausreichend, um eine Penetration des Injektionsmaterials über den gesamten Wandquerschnitt zu ermöglichen.

- Aus der oben ausgeführten Berechnung folgt außerdem, dass ein erheblicher Arbeitsmehraufwand aus dem schrägen Bohransatz folgt, da es nicht ausreicht die Bauteildicke abzüglich 5 cm als Maß anzusetzen, sondern die Bohrtiefe mindestens der Wanddicke entsprechen muss.

- Insbesondere bei starkwandigen Bauteilen ergibt sich die Frage der korrekten Ansatzhöhe der Bohrungen ([Abb. 6](#)). Dieses Problem taucht insbesondere dann auf, wenn die Bohrungen aus objektspezifischen Gründen nur einseitig erfolgen können.

Aus den oben beschriebenen Problemen bei der korrekten Ausführung von Bohrungen für die drucklose Injektion gegen aufsteigende Feuchtigkeit ergab sich die Entwicklung eines neuen Injektionsverfahrens, das es ermöglicht, Stoffe horizontal in einen Baukörper drucklos einzubringen.

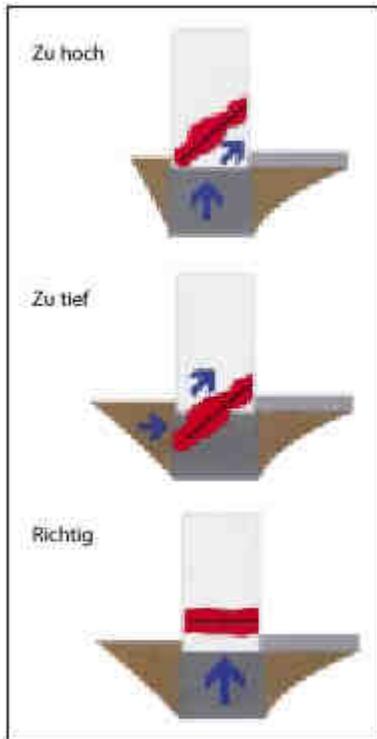


Abb. 6: Mögliche Fehlerquellen bei falscher Bohransatzhöhe

### Das Kartuschenwinkel-Verfahren und seine Komponenten

Im Mittelpunkt dieses Verfahrens stehen sogenannte Kapillarstäbchen. Zweck dieser dochtartigen Injektionshilfen ist es, den Injektionsstoff bereits an der Bohrlochmündung aufzunehmen und kapillar zu transportieren.

Auf diese Weise werden die Bohrungen nicht wie sonst üblich mit dem Injektionsstoff gefüllt, sondern das Injektionsgut über die Grenzfläche Kapillarstäbchen/Bohrwandung kapillar in den Baustoff transportiert.

Der Einsatz des Kapillarstäbchens ermöglicht es, unkontrollierte Materialabflüsse in Risse und Hohlräume sowie den Rücklauf des Injektionsstoffs aus der

Bohrlochmündung (bei horizontaler Bohrung) auszuschließen ([Abb. 7](#)).

Der dazu erforderliche innige Kontakt zwischen Stäbchen und Bohrlochwandung wird durch kurzzeitige Tränkung und damit Quellung des Stäbchens hergestellt.

Ein weiteres Hilfsmittel zur Durchführung dieses Verfahrens sind sogenannte Kartuschenwinkel, deren Zweck es ist, die mit dem Injektionsmittel gefüllten Flaschen aufzunehmen und so zu fixieren, dass der Injektionsstoff herausfließen kann.

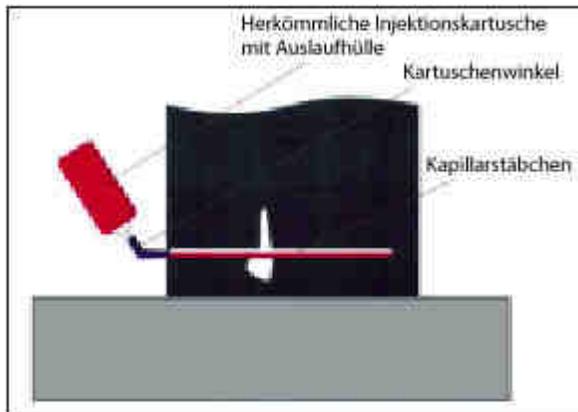


Abb. 7: Schematische Darstellung des Kartuschenwinkel-Verfahrens

### Darstellung der 4 Verfahrensschritte

1. Setzen der Bohrungen: Die Bohrungen im Durchmesser von 14 mm werden in der ersten Lagerfuge gesetzt bis ca. 5 cm vor Mauerwerkende (Wanddicke – 5 cm) gesetzt

Im Anschluss daran werden die Bohrungen z.B. mit Druckluft gereinigt



Abb 8: Setzen der horizontalen Bohrungen

2. Zuschneiden der Kapillarstäbchen: Die Kapillarstäbchen werden in die Bohrungen eingeführt und so abgemessen, dass sie ca. 5 cm aus der Bohrung herausragen



Abb. 9: Zuschnitt der Kapillarstäbchen

3. Setzen der Kartuschenwinkel und Vornässen der Kapillarstäbchen Die Kartuschenwinkel werden auf das Kapillarstäbchen geschoben und durch leichtes Andrücken in der Bohrlochmündung verkeilt. Anschließend werden die Kapillarstäbchen gewässert und auf diese Weise zur Quellung gebracht



Abb. 10: Wässern der Kapillarstäbchen über die Kartuschenwinkel

4. Ansetzen der Kartuschen und Injektion: Die Kartuschen werden in die Kartuschenwinkel eingesetzt und verbleiben dort bis zur vollständigen Entleerung.



Abb. 11: Injektion

Abschließend werden die Bohrungen verschlossen, wobei die Kapillarstäbchen im Mauerwerk verbleiben.

### Leistung des Kartuschenwinkel-Verfahrens

Die wesentlichen Merkmale dieses Verfahrens sind:

- Exakte Einhaltung der erforderlichen Bohrtiefe aufgrund vereinfachter Berechnung
- Schnellere Erstellung der Bohrungen und geringerer Verschleiß am Bohrgerät, aufgrund eines deutlich kürzeren Bohrweges und Ausführung der Bohrung in vergleichsweise weichem Mörtel

- Einbau der Horizontalsperre in Bodennähe, daher kein Über- oder Unterlaufen der Horizontalsperre.

## Fazit

Die Herstellung einer funktionsfähigen, dauerhaften Horizontalsperre gegen aufsteigende Feuchtigkeit hängt nicht nur von einer korrekten Diagnose der tatsächlichen Schadenssituation und damit der Wahl des geeigneten Injektionsstoffs ab. Sie ist ebenso ein verfahrenstechnisches Problem.

Für den Entwickler neuer Anwendungstechniken muss daher das Ausschalten von Fehlerquellen bei der Erstellung von Abdichtungen im Vordergrund stehen. Es ist daher zwingend notwendig, solche Verfahren, die sich bereits seit geraumer Zeit etabliert haben, zu optimieren. Dazu soll das dargestellte Verfahren dienen.