



# **Tauwasser und Feuchtigkeit im Mauerwerk**

**Peter Rauch PhD**

**ISBN 978-3-00-036810-3**

Tauwasser und Feuchtigkeit im Mauerwerk  
ISBN 978-3-00-036810-3

### **Auszüge und Leseprobe**

Die vollständige Ausgabe des eBuches als Download erhalten Sie über  
[www.ib-rauch.de/literatur.html](http://www.ib-rauch.de/literatur.html) oder über Amazon  
[http://www.amazon.de/Tauwasser-Feuchtigkeit-Mauerwerk-Peter-Rauch-ebook/dp/B006F29J0Y/ref=sr\\_1\\_1?ie=UTF8&qid=1431188019&sr=8-1&keywords=Tauwasser+und+Feuchtigkeit+im+Mauerwerk](http://www.amazon.de/Tauwasser-Feuchtigkeit-Mauerwerk-Peter-Rauch-ebook/dp/B006F29J0Y/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1431188019&sr=8-1&keywords=Tauwasser+und+Feuchtigkeit+im+Mauerwerk)

### **Herausgeber:**

Dipl.-Ing.oec. Dipl.-Betw.(FH), Ing. Peter Rauch Ph.D.

© Ingenieurbüro Peter Rauch,  
Bucksdorffstr.28, D- 04159 Leipzig,  
Tel./Fax. 0341/9015382  
[www.ib-rauch.de](http://www.ib-rauch.de) , Email: [info@ib-rauch.de](mailto:info@ib-rauch.de)  
ISBN 978-3-00-036810-3 11/2011

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet, dieses Buch zu kopieren. Teile daraus dürfen entsprechend den üblichen Zitatregeln ohne Zustimmung kopiert werden.

## **Inhaltsverzeichnis**

1. Einleitung und Grundlagen
  - 1.1. Einleitung
  - 1.2. Wie funktioniert die Diffusion und was versteht man darunter?
  - 1.3. Die Sorption oder Wasserdampfaufnahme (Adsorption und Kapillarkondensation)
  - 1.4. Die Beschreibung des  $s_d$ -Wertes (diffusionsäquivalente Luftschichtdicke)
  - 1.5. Der Feuchtetransport durch Kapillare
2. Das Feuchteverhalten poröser Baukonstruktionen
  - 2.1. Die Feuchtebelastung mineralischer Baustoffe
  - 2.2. Der Einfluss der Feuchte auf die Wärmeleitung
  - 2.3. Der Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur und einer möglichen Durchfeuchtung der Bauteiloberfläche
    - 2.3.1 Die Oberflächentemperatur
    - 2.3.2. Der Einfluss der Feuchte auf das Wärmespeichervermögen eines porösen Baustoffs
  - 2.4. Die Tauwasserbildung im Wandwinkel der Außenwand
  - 2.5. Die Wärmekonvektion und die Einflussnahme auf die den Feuchtetransport
  - 2.6. Der Einfluss der Wärmestrahlung auf die Temperatur der Bauteiloberfläche und das Trocknungsverhalten von porösen Baustoffen
3. Der Feuchtigkeitstransport an den Bauteiloberflächen und in der Baukonstruktion
  - 3.1. Feuchtigkeitseigenschaften und -austausch der Baustoffe mit der Umgebung
  - 3.2. Die Tauwasserbildung und die Durchfeuchtung massiver Bauteile
  - 3.3. Feuchteschäden im Erdgeschoss und in Kellerräumen
  - 3.4. Tauwasserbildung hinter einer Innendämmung
4. Trocknung von feuchten Bauteilen
  - 4.1. Probleme beim feuchten Mauerwerk

- 4.2. Vertikale Verfahren zur Unterbrechung des kapillaren Wassertransportes
- 4.3. Übersicht zu horizontalen Verfahren zur Unterbrechung des kapillaren Wassertransportes
  - 4.3.1. Übersicht zu mechanischen Verfahren
    - 4.3.1.1. Abschnittsweises Aufstemmen per Hand
    - 4.3.1.2. Abschnittsweises Aufsägen
    - 4.3.1.3. Mauertrennung durch schrägen Trennschnitt, maschinell
    - 4.3.1.4. Das maschinelle Einschlagen von Edelstahlblech
    - 4.3.1.5. Die Unterfangungsverfahren
  - 4.3.2. Querschnittsabdichtung durch drucklose und druckbehaftete Injektionsverfahren
  - 4.3.3. Elektrophysikalische bzw. elektrokinetische Verfahren zur Mauertrocknung und Entsalzung
    - 4.3.3.1. Prinzip der elektrochemischen Entsalzung und Reduzierung des kapillaren Wassertransportes (aktive Verfahren)
    - 4.3.3.2. Beschreibung der Funktion der passiven Verfahren
    - 4.3.3.3. Beschreibung der Funktion der aktiven Verfahren
    - 4.3.3.4. Beschreibung der elektrodenlosen Elektroosmose
- 4.4. Übersicht von Verfahren zur Vermeidung von Kondenswasser an der Wandoberfläche
- 4.5. Trocknungsverfahren
  - 4.5.1. Trocknungsgeräte
  - 4.5.2. Infrarotstrahlung
  - 4.5.3. Mikrowellentrocknungsverfahren
  - 4.5.4. Temperaturgeregelte Heizstabtechnologie
- 4.6. Die Mauerfeuchtigkeit und die Funktionsweise ausgewählter Putzsysteme
  - 4.6.1. Der Einfluss der Mauersalze auf den Feuchtetransport an Bauteiloberflächen
  - 4.6.2. Wirkungsweise des Opferputzes oder Kompressenputzes
  - 4.6.3. Zementgebundene Putze (sogenannter Sperrputz)
  - 4.6.4. Funktionsweise eines Sanierputzes
- 5. Mauersalze
  - 5.1. Mauersalze und die Durchfeuchtung des Mauerwerkes
  - 5.2. Die Karbonatisierung

- 5.3. Die Entsalzung von Mauerwerk
- 5.3.1. Salzarten im Mauerwerk
- 5.3.2. Die Wirkungsmechanismen von Mauersalzen
- 5.3.3. Die Verfahren zur Entsalzung von Mauerwerk

## **1. Einleitung und Grundlagen**

### **1.1. Einleitung**

Das thermische Verhalten eines Gebäudes ist immer mit den Feuchtetransportprozessen in der Konstruktion gekoppelt. Die Wärme- und Feuchteflüsse beeinflussen sich gegenseitig. Bei historisch qualitativ guten Gebäuden wurde ein optimales Verhältnis erreicht. Werden nachträglich bewährte Konstruktion nur aus energetischen Gesichtspunkten verändert, so können diese feuchtetechnisch bereits nach kurzer Zeit versagen. Eine nachträgliche Veränderung erfordert in der Regel einen hohen Planungsaufwand für den Einsatz geeigneter Baustoffe und eventuell ergänzende bzw. neuer Baukonstruktionen.

Ein trockenes Mauerwerk ist eine Voraussetzung für ein Wohngebäude bzw. Arbeits- und Lagerstätte, welche lange ihre Funktion erfüllen sollen. Vom Gebäude dürfen keine Einflüsse auf die Gesundheit der Menschen oder Tiere ausgehen. Feuchtigkeit ist nicht nur eindringendes Wasser, sondern auch eine dauerhaft höhere Luftfeuchte, die im Extremfall zur Tauwasserbildung führt.

Die Feuchtigkeit in porösen Konstruktionen entsteht durch verschiedene Ursachen, wie Bodenfeuchtigkeit, Regenwasser, bei Havarien von Wasser führende Leitungen aber auch durch eine Tauwasserbildung. Die dabei auftretenden Feuchtigkeitstransportprozesse, wie die Wasserdampfdiffusion oder kapillare Wasserleitung wird durch den Feuchtegrad, die Feuchteverteilung, der jeweiligen Baustoffstruktur sowie vom Schichtaufbau der massiven Konstruktion bestimmt.

Hohe Feuchtigkeitsbelastungen führen zu einer lang- und mittelfristigen chemischen und physikalischen Zerstörung der Baustoffe. Die von außen durch die Feuchtigkeit eingetragene

oder die sich aus dem Baustoff herausgelösten Salze reduzieren den Bindemittelanteil, sodass sich die physikalischen und chemischen Eigenschaften verändern oder die Gefügestruktur lockern. Die Folgen können Einschränkungen der Nutzung oder der Standsicherheit sein.

Die Feuchtigkeit bietet aber auch günstige Lebensbedingungen für die Entstehung biologischer Bauschäden<sup>1</sup> aber auch für eine dauerhafte hohe Belastung der Räume durch Schimmelpilze und Bakterien. Die dadurch auftretenden Schäden führen zur Nutzungseinschränkung wegen gesundheitlicher Gefährdung der Bewohner oder im ungünstigen Fall zu einem Standsicherheitsverlust, was gerade bei Gebäuden mit Holzkonstruktionen ein hoher Sanierungsaufwand bedeutet. Gegenwärtig konzentriert man sich bei den Ergründungen der Feuchtigkeitsursachen auf die Feuchteübertragung aus angrenzenden Bodenschichten und Bauteilen, auf die Tauwasserbildung und auf die nutzungsbedingt hervorgerufene Feuchteerhöhung. Dauerhafte Feuchteerhöhungen im Querschnitt der Konstruktionen als Folge ungünstiger konstruktiver Ausführungen und Baustoffeigenschaften werden dagegen nur ungenügend berücksichtigt. Die überzogenen gesetzlichen Wärmeschutzvorschriften vor allem in Deutschland verursachen nach der Sanierung im Altbaubereich zum Teil erhebliche Feuchteschäden. Ursachen sind fehlende oder mangelhafte Planung. In vielen Fällen sind sowohl die Planer aber auch die Handwerker mit der detaillierten Ausführung überfordert. Ein Teil der historischen Konstruktionen funktioniert feuchtetechnisch nur in der vorhandenen Ausführung. Die Forderungen aus der Energiewende und den damit verbundenen neuen Energiespargesetzen und Verordnungen (Hilfswerkzeuge sind die EnEV 2009, EnEG 2009, EEWärmeG, BImSchV 2010 und Heizkostenverordnung) führen zur Vernichtung eines Großteils der historischen Bausubstanz. Dies äußert sich in Standzeitverkürzung und gesundheitliche Probleme für die Bewohner durch Raumklimaveränderung.

Für die Beurteilung der Feuchteprozesse gibt es mathematische Modelle für die Berechnung gekoppelter Wärme- und Feuchtetransportprozessen im Mauerwerk sowie Untersuchungen der Feuchteverteilung in mineralischen Baustoffproben.<sup>2 3</sup> Im Mittelpunkt stehen hierbei die

---

<sup>1</sup> Mehlhorn, Gerhard; *Der Ingenieurbau, Grundwissen, Bauphysik Brandschutz* 1996, Berlin Ernst & Sohn, S. 53

<sup>2</sup> Krus, Martin; Künzel, Hartwig M.; Kießl, Kurt; *Feuchtetransportvorgänge in Stein und Mauerwerk –Messung und Berechnung*, 1996, IRB Verlag

<sup>3</sup> Krus, Martin; *Feuchtetransport- und Speicherkoeffizienten poröser mineralischer Baustoffe, theoretische Grundlagen und neue Messtechnik* 1995, Diss., Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen Universität Stuttgart

Wasserdampfdiffusion, die Flüssigtransporte durch Kapillarkräfte sowie die Wärmeleitung und Enthalpieströme durch Feuchtebewegung mit Phasenänderung.<sup>4</sup> In der Praxis wirken unterschiedlichste Einflussfaktoren, sodass mithilfe dieser statischen Rechenverfahren nicht alle Situationen hinreichend geklärt werden können. Künftig wird daher der Einsatz von dynamischen Rechenverfahren für die Diffusion in den massiven Konstruktionen an Bedeutung gewinnen. Thermische und hygrische Simulationsrechnungen zur Ermittlung der Feuchteverteilung in Bauteilen unter natürlichen Randbedingungen auf der Grundlage des Glaserverfahrens sind kritisch zu bewerten. In einem Untersuchungsbericht warnt HAUSER mit folgendem Hinweis *„Der in Ansatz gebrachte Wassertransport in den Bauteilen berücksichtigt allein die Wasserbewegung infolge von Diffusion. Andere Transportphänomene, die wie die Kapillarleitung den Feuchtetransport dominieren können, bleiben unberücksichtigt. Auch die von den Materialeigenschaften abhängige Wasserspeicherfähigkeit wird nicht in Ansatz gebracht. Deshalb ist es mit dem Nachweisverfahren nicht möglich, Rückschlüsse auf die sich in Bauteilen ansammelnde Wassermenge zu ziehen und realistische Wassergehalte zu ermitteln.“*<sup>5</sup>

## **1.2. Wie funktioniert die Diffusion und was versteht man darunter?**

In Gasen und Flüssigkeiten sind die Moleküle beziehungsweise Ionen in ständiger, statistisch nicht gerichteter Wärmebewegung. Besteht in einem Gasgemisch oder in einer Lösung für eine Substanz ein Konzentrationsgefälle, so wird es durch diese Bewegung ausgeglichen, die dabei zu einer statistisch gerichteten Bewegung, zur Diffusion wird. Ein gelöster Stoff diffundiert entlang seinem eigenen Gefälle.

Gasaustausch durch Bauteile findet in der Regel nur durch Diffusion statt. "Diffusion" nennt man die allmähliche Durchmischung verschiedener Gase (aber auch Flüssigkeiten und sogar Festkörper) ohne äußere Einwirkung, allein durch Molekularbewegung, bis die Verteilung der verschiedenen Moleküle überall gleich ist.

---

<sup>4</sup> Künzel, Hartwig M.; Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransportes in Bauteilen mit einfachen Kennwerten, Diss. 1994, Universität Stuttgart, Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen, S. 8, 21

<sup>5</sup> Hauser, Gerd: Forschungsvorhaben „Auswirkungen der neuen europäischen Norm EN ISO 13788 „Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren“ auf Konstruktion und Holzschutz von Außenbauteilen in Holzbauart“, Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH, Wärme, Energie, Feuchte, Schall, Tageslicht, Baunatal, Zusammenfassung, Aktenz.: IBH 457/02, 31.01.2003

Die Diffusion ist ein Ausgleichsprozess, der unter Entropiezunahme zu einem weniger geordneten, also wahrscheinlicheren Zustand führt; sie findet zwangsläufig nach dem II. Hauptsatz der Thermodynamik statt.

Der Widerstand, den ein Material der Diffusion von Wasserdampf oder anderen Gasen entgegenwirkt, hängt hauptsächlich von seinem Porengefüge ab; je mehr offene Poren, desto geringer der Widerstand. Der Porendurchmesser spielt für Wasserdampfmoleküle so gut wie keine Rolle, sie sind kleiner und leichter als fast alle anderen Luftmoleküle; Sauerstoffmoleküle haben zum Beispiel 60 % mehr Masse und Kohlendioxidmoleküle fast dreimal so viel. Die Diffusionsgeschwindigkeit einer Substanz ist etwa umgekehrt proportional der Wurzel aus ihrer Molmasse  $M$  (Diffusionskoeffizient  $D \sim 1/\sqrt{W}$ ); größere Moleküle diffundieren also langsamer. Daher ist die Diffusionsgeschwindigkeit von Kohlendioxidmolekülen auch bereits in der Luft viel geringer als die von Wasserdampf, und so gibt es Bauteilschichten, die zwar die Diffusion von Kohlendioxid fast völlig absperren, der Wasserdampfdiffusion aber keinen allzu großen Widerstand entgegensetzen. Dieser physikalische Unterschied kann zum Beispiel bei der richtigen Auswahl der Beschichtung beim Schutz von Betonoberflächen genutzt werden, um einerseits eine gute Abtrocknung zu ermöglichen und andererseits den Karbonatisierungsprozess zu verzögern.

Die im Vergleich mit Wasserdampf, Sauerstoff oder Kohlendioxid meist riesige Moleküle von "Wohngiften" können durch Diffusion erst recht nicht aus der Raumluft entfernt werden, wie das in einigen baubiologischen Schriften immer wieder zu lesen ist. Für sie bildet auch die diffusionsfähigste Wand ein praktisch unüberwindliches Hindernis. Eine Reduzierung der Konzentration an Wohngiften lässt sich nur über ausreichendes Lüften erreichen.

Diffusionswiderstandswerte sind die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen und die daraus errechneten "diffusionsäquivalenten Luftschichtdicken" ( $s_d$ -Wert). In Analogie zu diesen Werten, die nur die Diffusion von Wasserdampf durch ein Material beziehungsweise ein Bauteil betreffen, geben manche Baustoffkataloge vor allem bei Anstrichen und anderen Beschichtungen auch Widerstandswerte zur Kohlendioxiddiffusion an. Ergänzung: Die durch Diffusion zurückgelegte Wegstrecke ist proportional zur Wurzel der Zeit; Verdopplung der



Wegstrecke bedeutet bereits vierfachen Zeitbedarf.<sup>6, 7, 8</sup>

Der Nachweis der inneren Kondensatbildung zum Beispiel erfolgt immer noch nach dem Glaserschen Diffusionsschema (Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von Bauteilen gemäß DIN 4108-3:2001-07), das aber weder die hygroskopische Auf- und Entladung noch die kapillare Entspannung des Kondenswassers berücksichtigt. Probleme bei der diffusionstechnischen Berechnung ergeben sich dann, wenn es sich bei praktischen Gegebenheiten nicht ausschließlich um Diffusionsprozesse handelt. Kapillare Wassertransporte, die bei mehrschichtigem Wandaufbau an bestimmten Baustoffen auftreten, entziehen sich einer Berechnung.

### **1.3. Die Sorption oder Wasserdampfaufnahme (Adsorption und Kapillarkondensation)**

Für das rasche Ausgleichen von Feuchtigkeitsschwankungen, zum Beispiel in einer Wohnung, sorgt die Sorptionsfähigkeit von Oberflächenmaterialien der Raumbegrenzungsflächen und der Einrichtungsgegenstände. Darunter versteht man die physikalischen und chemischen Materialeigenschaften, Wasserdampf oder andere dampfförmige Stoffe (Geruchsstoffe, Dämpfe von Löse- und Desinfektionsmitteln, Kunststoffmonomere) durch "Adsorption" an die Wände der Zellen, Poren und Kapillaren zu binden und beim Abnehmen der relativen Luftfeuchte (Sättigungsgrad der Luft mit Dämpfen aller Art) in der Umgebung durch "Desorption" wieder freizugeben.

Bei der Adsorption werden die Wassermoleküle ein- oder mehrschichtig angelagert. Handelt es sich bei den Wandbaustoffen um kapillar-poröse Stoffe, so erfolgt die Feuchtigkeitsregulierung auch an der inneren Oberfläche.

Man unterscheidet zwischen Stoffen, die eine hohe Ausgleichsfeuchte haben, wie zum Beispiel Holz und Naturfasern. Metalle, Glas, Schaumkunststoffe und andere anorganische Stoffe sind so gut wie nicht sorptionsfähig. Die Grenze wird bei einer Sorptionsfeuchte von 0,5 Masse-% bei einer relativen Luftfeuchte von 80 % gesetzt. Für eine gute Feuchtigkeitsregulierung sind die Wandflächen daher nicht mit geschlossenen Strukturen, wie Metalltapeten oder Kunststoffplatten oder -folien zu beschichten. Die Räume müssen aber

---

<sup>6</sup> Kur, Friedrich; *Wohngifte, Handbuch für gesundes Bauen und Einrichtungen*, 3. Aufl., Verlag Eichborn, 1993, S. 536

<sup>7</sup> Libbert, Eike; *Allgemeine Biologie*, VEB Gustav Fischer Verlag Jena 1986, S. 153

<sup>8</sup> Haupt, P.; *Bauphysik* 5/94, *Stand Deutsche Bücherei* (ZB 75 909) 24-5

auch ein bestimmtes Raumvolumen haben. Die Praxis zeigt, dass oft die für die Sorption zur Verfügung stehenden Flächen im Schlafzimmer zu klein sind. Die Folge ist ein höher Anstieg der Raumluftheuchte mit lokaler Feuchteanlagerung. Diese führt oft zu einer Schimmelpilzbildung an den kalten Wandoberflächen.

## S.106 ff

### 3.2. Die Tauwasserbildung und die Durchfeuchtung massiver Bauteile

Der Feuchteschutz nach DIN 4108-07 ist darauf gerichtet, Schäden an Bauteilen zu vermeiden sowie einer Beeinträchtigung des Wärmeschutzes entgegenzuwirken. Dazu sind

- die Tauwassermenge im Bauteilinneren zu begrenzt,
- eine kritische Oberflächenfeuchte und
- das Eindringen von Schlagregen zu vermeiden.

Wenn ein Wasser-Dampf-Gemisch (Luft) auf eine weniger warme Bauteiloberfläche auftrifft und die Taupunkttemperatur der Luft unterschritten wird, erfolgt eine Tauwasserbildung. Da sich während der Standzeit der Gebäude die Nutzung ändert, sollten die Innenscheiben der Fenster als kühlsste Fläche erhalten werden.<sup>9</sup> Hier kann sich sichtbar Kondenswasser ansammeln, ohne größere Schäden zu verursachen. Gerade dieser wichtige Gesichtspunkt wird bei der Sanierung der älteren Gebäude nicht beachtet. Durch den Austausch der Kastenfenster durch Isolierverglasung mit einem U-Wert 1,3 W/m<sup>2</sup>K und besser verlagert sich die kühlsste Oberfläche in die Innenecken und über den Fußboden der Außenwände aber auch an Innenwände, wenn die Nachbarräume eine sehr niedrige Raumtemperatur haben.

Die Tauwasserfreiheit auf der Innenoberfläche einer Außenwand wird erfüllt, wenn der Wärmedurchlasswiderstand als Mindestwert erfüllt wird. Hier gilt die Berechnung nach:

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{\alpha_i} \frac{\vartheta_{Li} - \vartheta_{Le}}{\vartheta_{Li} - \vartheta_S} - \left( \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_e} \right) \quad \text{m}^2 \text{ K/W} \quad (3.2)$$

$$R_{\text{eff}} = R_i \frac{\vartheta_{Li} - \vartheta_{Le}}{\vartheta_{Li} - \vartheta_S} - (R_i + R_e) \quad \text{m}^2 \text{ K/W} \quad (3.3)$$

<sup>9</sup> Mehlhorn, Gerhard; *Der Ingenieurbau, Grundwissen, Bauphysik Brandschutz*, 1996 Berlin Ernst & Sohn, S. 85

$\vartheta_s$  = Taupunkttemperatur der Raumlufte in [°C]

$\vartheta_{Li}$  = Innentemperatur in [°C]

$\vartheta_{Le}$  = Außentemperatur mit -15°C

$R_i$  = Wärmedurchlasswiderstand mit 0,17 m<sup>2</sup> K/W

Die zulässige innere Oberflächentemperatur  $\vartheta_{Oi}$  muss größer als die Taupunkttemperatur  $\vartheta_s$ <sup>10</sup> (Werte in der DIN 4108) der Raumlufte sein.<sup>11, 12</sup> Praktische Messungen zeigen, dass die Oberflächentemperaturen an der Außenwand über dem Fußboden circa 3 K niedriger als 1 m über dem Fußboden sind. Für eine Vermeidung von Tauwasser muss die Temperatur im Wandwinkel und an der Außenwand über den Fußboden bestimmt werden, da dies die kritischsten Bereiche sind.

Gerade im Erdgeschoss im unteren Außenwandabschnitt können länger anhaltende Tauwasserniederschläge auftreten. Diese treten aber auch im Sommer im Bereich Fußboden/Außenwand auf, da die Temperatur der Luft im Keller zum Teil weit unter der Außenluft liegt. Diese ständigen Feuchtebelastungen können zu Feuchteschäden führen, die einmal zur Herauslösung gebundener Salze (siehe Punkt 5) in den Baustoffen führen, aber auch eine Schimmelpilzbildung verursachen<sup>13</sup> und günstige Wachstumsbedingungen für Holz zerstörende Pilze und Insekten bieten. Besonders betroffen sind hier Lagerhölzer und die Dielen über einer gemauerten Kappe im Erdgeschoss, die Balkenköpfe im Außenmauerwerk und Fachwerkkonstruktionen. Wobei für eine biologische Schädigung langfristig bereits niedrige Feuchten im Mauerwerk ausreichen.

Es tritt aber auch Tauwasser an Baustoffen mit außerordentlich großem Wärmespeichervermögen auf, wie zum Beispiel bei Schwerbeton. Das liegt in diesem Fall nicht an der fehlenden Eigenschaft der Wärmedämmung, sondern an einem großen Wärmeeindringkoeffizienten  $b$  und die geglättete Betonoberfläche nimmt keine Feuchtigkeit auf. In diesem Fall ist eine diffusionsoffene Beschichtung anzubringen, zum Beispiel eine Raufasertapete oder Korkbeschichtung. Diffusionsdichte Beschichtungen eignen sich nicht, wie zum Beispiel Styroporplatten als Deckenelemente, da zwischen den Fugen der Platten an der Betonoberfläche ein Feuchtefilm entsteht.

---

<sup>10</sup> Werte in Tab. C2: Künzel, Helmut; Teil C Feuchteschutz in: Gösel, Karl; Schüle, Walter; Künzel, Helmut; Schall, Wärme, Feuchte Grundlagen, neue Erkenntnisse und Ausführungshinweise für den Hochbau, 10. Aufl., 1997, Bauverlag Wiesbaden/Berlin, S. 213 oder in DIN 4108

<sup>11</sup> Arndt, Horst; Wärme- und Feuchteschutz in der Praxis, 1996, Verlag für das Bauwesen Berlin, S. 133f

<sup>12</sup> Arndt, Horst; Wärme- und Feuchteschutz in der Praxis, 2. Aufl. 2002, Verlag für das Bauwesen Berlin, S. 138f

<sup>13</sup> Wendehorst, Reinhard; Bautechnische Zahlentafeln, 26. Aufl. 1994, BG. Teubner Stuttgart Beuth Verlag Berlin und Köln, S. 147

Die Wasserdampfdiffusion ist der gasförmige Transport von Wasser durch ein poröses Bauteil,<sup>14</sup> der Speichermechanismus ist die Adsorption. Ist die mittlere Länge eines Wassermoleküls kleiner als der Porendurchmesser, so wird dies als Diffusion und im umgekehrten Fall als Effusion bezeichnet.<sup>15</sup> Die Richtung der Diffusion wird von dem Konzentrationsgefälle der absoluten Luftfeuchte bestimmt. Sie ist nicht abhängig von der Richtung des Wärmestroms, sie kann dieser entgegengesetzt gerichtet sein. Der Wärmestrom folgt dem Temperaturgefälle und der Dampfdruck dem Dampfdruckgefälle. Im Winter ist die absolute Feuchtigkeit der kalten Außenluft geringer, daher sind der Wärme- und der Dampfstrom nach außen gerichtet.<sup>16, 17</sup> *„In Baustoffen mit freiem Wasser in den Poren kann dabei der Wasserdampfdiffusionsstrom ins Freie erheblich größer sein als die pro Zeiteinheit an der Innenwandoberfläche absorbierten Wassermengen.“* Der Wasserdampfdiffusionsprozess entzieht so den Schimmelpilzen das für das Wachstum erforderliche freie Wasser. *„Die publizierten Ergebnisse der Laboruntersuchungen widerlegen nicht die Annahme, dass Schimmelpilzbildung auf der raumseitigen Oberfläche der Außenbauteile von Wohnungen in erster Linie von Tauwasserniederschäden herrührt. Ob Wasser aus einem Sorptionsvorgang für das Wachstum von Schimmelpilzen auf Bauteiloberflächen verantwortlich sein kann, ist ungeklärt.“* Es gibt bisher keine Angaben, ob sich die Laborergebnisse auf die realen Verhältnisse in Wohnungen übertragen lassen.<sup>18</sup> Auch wenn der Hersteller dies verneint, so behindern Dispersionsfarbe auf der Tapete den Wassertransport. Dies liegt unter Umständen auch daran, dass die Farbe mit einer zu großen Schichtdicke aufgetragen wird. Ebenso werden diesen Farben Fungizide zugegeben, damit sie nicht im feuchten Zustand schimmeln. Weiterhin bietet die Raufasertapete mit dem Zelleim eine hervorragende Nahrungsgrundlage für Schimmelpilze.

Durch das Glaserverfahren<sup>19</sup> (Diffusionsdiagramm) werden die Verläufe des Dampfdruckes und des Sättigungsdampfdruckes sowie die rechnerische Prüfung der möglichen

---

<sup>14</sup> Zimmermann, Günter; Sander, Martin, Schloenbach, Renate; Schäden an Außenmauerwerk aus Naturstein 1995, IRB-Verlag, S. 55

<sup>15</sup> Völkner, Stefan; Zum Einfluss räumlich begrenzter Diskontinuitäten auf die zeitabhängige Feuchteverteilung in Außenwänden, Dissertation 2004, Universität Bochum, S. 2-15

<sup>16</sup> Eichler, Friedrich ; Arndt, Horst; Bautechnischer Wärme- und Feuchtigkeitsschutz, 1989, Bauverlag Berlin, S. 92-102

<sup>17</sup> Arendt, Claus; Seele, Jörg; Feuchte und Salze in Gebäude, Verlagsanstalt Alexander Koch; 2000, S. 12-16, 51

<sup>18</sup> Jenisch, Richard; Stohrer, Martin; Tauwasserschäden 2. Aufl. 2001, Fraunhofer IRB-Verlag, S. 26-27

<sup>19</sup> Künzel, Helmut; Teil C Feuchteschutz in: Gösel, Karl; Schüle, Walter; Künzel, Helmut; Schall, Wärme, Feuchte Grundlagen, neue Erkenntnisse und Ausführungshinweise für den Hochbau, 10. Aufl. 1997, Bauverlag Wiesbaden/Berlin, S. 221

Tauwassergefährdung der Konstruktionen beschrieben. Der Wasserdampfdurchgang erfolgt nach der Transportgleichung:<sup>20</sup>

$$g = \Delta \cdot (p_{Li} - p_{Le}) \quad (3.4)$$

$g$  = Wasserdampfdiffusionsstromdichte in [kg/m<sup>2</sup>h]

$\Delta$  = Wasserdampfdurchlasskoeffizient in [kg/m<sup>2</sup> h Pa]

$p_{Li}/p_{Le}$  = Wasserdampfteildrücke Innen- und Außenluft in [Pa]

Der Wasserdampfdurchgang hängt von der Größe des Wasserdampfdurchlasskoeffizienten und der Druckdifferenz ab. Das Glaserverfahren dient zur Beurteilung, ob sich in der Konstruktion Tauwasser bildet. Es wird der Temperaturverlauf, der Wasserdampfteildruck und der Wasserdampfsättigungsdruck bestimmt und in einem Diagramm aufgetragen. Überschneiden sich die beiden Drücke nicht, so gilt die Konstruktion als tauwasserfrei.<sup>21, 22</sup>

Die DIN 4108-5 (1981) lies im Punkt 11.2.4. als Alternative zum Glaserverfahren das Berechnungsverfahren mit Monatsmittelwerten nach JEHNISCH zu. Dieses Verfahren wurde weiterentwickelt und ist in der DIN EN ISO 13788 (2001) aufgenommen und gilt als teilweiser Ersatz für die DIN 4108-3 (2001). Es gelten die gleichen Gesetzmäßigkeiten der Dampfdiffusion. In diesem Verfahren wird mit Monatsmittelwerten gerechnet und eine Feuchtebilanz für einen Jahreszyklus aufgestellt. Mit dieser Berechnung treten innerhalb mehrschichtiger Außenwandkonstruktionen beheizter Gebäude geringere Tauwassermengen auf.<sup>23</sup> Diese günstigeren bauphysikalischen Werte in Bezug der rechnerischen Tauwasserbildung und der Verdunstungsmenge resultieren aus dem gegenwärtig veröffentlichten etwas höheren Jahrestemperaturverlauf. Es ist jedoch zu beachten, dass ein Gebäude nicht nur 20 Jahre steht, sondern mehrere Jahrhunderte alt werden kann. Vergleicht man nur die letzten 150 Jahre, so werden größere Differenzen der durchschnittlichen Jahrestemperatur deutlich.<sup>24</sup> Nach Abklingen der höheren Sonnenaktivitäten<sup>25, 26, 27, 28, 29</sup>

<sup>20</sup> Künzel, Helmut; In Gösel, Karl; Schüle, Walter; Künzel, Helmut; Schall, Wärme, Feuchte Grundlagen, neue Erkenntnisse und Ausführungshinweise für den Hochbau, 10. Aufl. 1997, Bauverlag Wiesbaden/Berlin, S. 220

<sup>21</sup> Wetzell, Otto W.; Wendehorst Bautechnische Zahlentafeln, 26. Aufl. 1994, BG. Teubner Stuttgart Beuth Verlag Berlin und Köln, S. 148-149

<sup>22</sup> Schneider, Klaus-Jürgen; Bautabellen, 9. Aufl. 1990, Werner Verlag, S. 10.24

<sup>23</sup> Weise, Manfred; „Bauphysik und Klimawandel;“ Änderungen im Holzschutz, S. 6-9, Vortrag auf der 14. Quedlinburger Holzbautagung 27.-28.3.2008

<sup>24</sup> Artur B. Robinson; Noha E. Robinson, Willie, Soon; Environmental Effects of Increased Atmospheric Carbon Dioxide, Journal of American Physicians and Surgeons (2007)12, 79-90

<sup>25</sup> Heiss, Klaus. P.; Kein Grund zur Hysterie, Zahlreiche Fakten und Überlegungen sprechen gegen die weit verbreitete Theorie von der globalen Erwärmung, Wiener Zeitung 7. 9.2007

<sup>26</sup> Geb, M. & K. Labitzke (1995) Klimatrends in der Atmosphäre.- Forschung an der Freien Universität Berlin. <http://strat-www.met.fu-berlin.de/labitzke/klimatrend/klimatrend.html>

können durchaus in den nächsten Jahren wieder niedrigere Jahrestemperaturen vorliegen. Konstruktionen, die auf Basis der durchschnittlichen Jahrestemperaturen tauwasserfrei berechnet werden, können in Zukunft versagen. Eine Berechnung und bauseitige Umsetzung auf der Grundlage der in den letzten Jahren ermittelten höheren Jahresdurchschnittstemperaturen ist als sehr bedenklich zu werten. Theoretisch berechnete wasserfreie Konstruktionen müssen daher nicht über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes gelten.

Im nachfolgenden Objekt in Erfurt wurden neue Konvektionsheizkörper und eine Isolierverglasung eingebaut. Eine Außendämmung erfolgte nicht. Diese Schimmelpilzbildung (Abb. 3.3.11) erfolgt an einer Innenwand zum Treppenhaus im Erdgeschoss. Die Haustüren blieben auch im Winter längere Zeit offen, sodass es zu einer verstärkten Abkühlung der gesamten Innenwand kam. Die gemessene Temperatur im Treppenflur betrug 6 °C und die der Außenluft 3 °C. Aufgrund der schmalen Wandstärke der Innenwand gegenüber der Außenwand hatte die Innenwand zum Treppenhaus eine niedrigere Oberflächentemperatur als die Außenwand.

**Abb. 3.3.11.:** Starke Schimmelbildung an der Innenwand zum kalten Treppenhaus rechts in der Zimmerecke zur Außenwand

---

<sup>27</sup> Chabibullo Abdussamatow; Mars gibt Hinweise auf künftige Kaltzeit auf der Erde, Russische Informations- und Nachrichtenagentur RIA NOVOSTI 10. Oktober 2007 <http://de.rian.ru/science/20071010/83356266.html>

<sup>28</sup> Usoskin, Ilya G. , S. K. Solanki, M. Schüssler, K. Mursula, K. Alanko (2003) A Millenium Scale Sunspot Reconstruction: Evidence For an Unusually Active Sun Since the 1940's.- *Phys.Rev.Lett.* 91 (2003) 211101

<sup>29</sup> Lassen, K. Solar Activity and Climate - Long-term Variations in Solar Activity and their Apparent Effect on the Earth's Climate.- Danish Meteorological Institute, Solar-Terrestrial Physics Division, Lyngbyvej,100, DK-2100 Copenhagen (2), Denmark.



Werden bei der Sanierung lediglich die Fenster mit Isolierverglasung ausgetauscht, ohne dass eine äußere Wärmedämmung angebracht wird, ist die Durchfeuchtung der Außenwandflächen vorprogrammiert. Aber auch heute werden ähnliche missglückte Raumgeometrien entworfen. So bestehen zum Beispiel bei den Einraumwohnungen in einem neuen Mehrfamilienhaus in Leipzig-Leutzsch die Wände aus 50 % Außenwände. Das Wohn- und Schlafzimmer wurde als übergroßer Erker ausgebildet. Es fehlen somit ausreichen Innenwandflächen, wo die Möbel aufgestellt werden können. Trotz der Außendämmung traten bei verschiedenen Wohnungen in der Zimmerecke Durchfeuchtungen mit Schimmel auf.

#### **S.140 ff**

Bei der Montage einer nachträglichen Wärmedämmung können Wärmebrücken entstehen und auf der Innenseite oberhalb des Fußbodens Feuchteschäden mit einer Schimmelpilzbildung auftreten. Nachfolgend in der Abb. 3.3.12 bis 3.3.14 werden ausgewählte Beispiele gezeigt.

**Abb. 3.3.12:** Wärmebrücken durch eine nachträglich fehlerhaft angebrachte Außendämmung in Leipzig-Ost



Bei dieser Ausführung in der Abb. 3.3.12 lag eine hohe Feuchtebelastung an der Außenwand über dem Fußboden vor.

Die Temperaturmessung ergab:

Raumtemperatur 13,0 °C	rel. Luftfeuchte 57 %
Wandoberflächentemperatur oberhalb des Fußbodens	6,7 °C
Wandoberflächentemperatur circa 60 cm höher	10,9 °C.

Eine Messung der Höhe des Sockelmauerwerkes ergab, dass das Wärmeverbundsystem kurz über bzw. unmittelbar in Höhe der Fußbodenoberfläche beginnt. Hier liegt an der Außenwand an der Grenze zwischen Wärmeverbundsystem und Klinkersockel eine Wärmebrücke vor. Das nachträgliche Anbinden einer Wärmedämmung von wenigstens 20 bis 30 cm von unten ist



erforderlich. Die praktische Ausführung ist nicht sehr einfach, da eine korrekte Fugendichtheit hergestellt werden muss.

Diese Ausführungsfehler entstehen aber auch in anderen Ländern, wie in der Ukraine in Хыст (Abb. 3.3.13). Hier endet die Wärmedämmung in Höhe des Fußbodens des Wohnbereiches.

In der Abb. 3.3.14 entstand erst nach dem Anbringen der Außendämmung eine Feuchtebildung über dem Fußboden an der Außenwand mit einer Schimmelbildung. Hier liegt ein Wärmedurchlasswiderstand von  $R = 0,37 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  gegenüber der Wandfläche mit  $R = 1,87 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  vor.

**Abb. 3.3.13:** Die falsche Ausführung der Wärmedämmung führt zu einer Wärmebrücke an der Außenwand über dem Fußboden in der Wohnung. Die Wärmedämmung muss mindestens noch 20 cm weiter nach unten reichen.

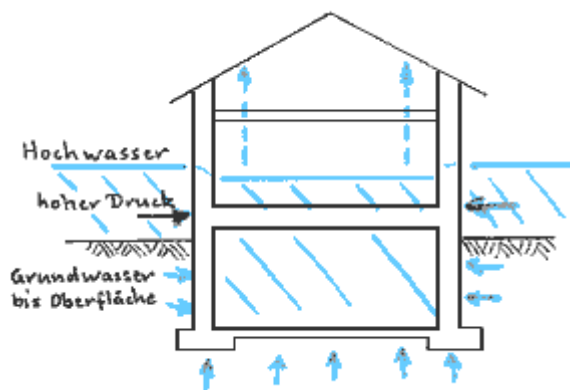


**Abb. 3.3.14:** Falsche Ausführung der Wärmedämmung bei diesem Wohngebäude in Великий Бичков in der Ukraine. Hier muss noch eine Dämmung unterhalb der Bodenplatte (bis zum Erdboden) angebracht werden.



Es gibt aber auch eine Feuchtebelastung des Mauerwerkes und der übrigen Konstruktion durch Löschwasser nach einer Brandbekämpfung, durch eine Überschwemmung oder bei einem Leitungswasserschaden, siehe Abb. 3.3.15. Bei einer Überschwemmung kommen zusätzlich eine Reihe nicht kalkulierbare Ereignisse hinzu, die zu einer Schadenserweiterung führen. Dies sind zum Beispiel Ölteppiche, kontaminierter Schlamm und anderes. Ein Ölbelag an der Kellerwand oder ein organisch belasteter Schlamm bietet mit der Feuchtigkeit eine gute Nahrungsgrundlage für Mikroorganismen und Holz zerstörende Pilze. Eine möglichst schnelle Abtrocknung und Säuberung ist hier dringend erforderlich. Weniger kritisch ist eindringendes Regenwasser oder ein Leitungswasserschaden. Aber auch hier ist eine schnelle Trocknung erforderlich. Bei organischen Baustoffen, wie Holz ist sogar sehr schnell zu handeln.

**Abb. 3.3.15:** Schema einer Wassereinwirkung bei einem Hochwasser



Dringt Wasser in das Gebäude ein, so füllen sich innerhalb einer kurzen Zeit alle Hohl- und Zwischenräume in der Konstruktion mit Wasser. Das betrifft nicht nur die vorgesetzte Gipskartonwand mit Dämmung, sondern auch das massive Mauerwerk aus Mauersteinen mit Hohlkammern oder der Hohlraum unter der Estrichplatte mit der Fußbodendämmung. Fließt das Wasser wieder ab bzw. es wird abgepumpt, so befindet sich in diesen Hohlkammern der Steine oder in der Dämmung immer noch über eine lange Zeit flüssiges Wasser. Durch geeignete Maßnahmen muss das Wasser aus dem Baukörper abgeführt werden.

Massive Baustoffe, wie Vollziegel oder Beton, werden ebenso durchfeuchtet, aber die Poren nehmen wesentlich weniger Wasser auf, welches dann über die technische oder natürliche Trocknung entzogen werden muss. An Standorten, wo Stauwasser anliegt oder eine mögliche Gefährdung durch hohes Grundwasser oder Überschwemmung besteht, sollten im Gründungsbereich Baustoffe zu Anwendung kommen, die keine Hohlkammern und möglichst auch günstige Sorptionsisotherme haben. Die Baustoffe Bimsstein und Gasbeton können eine

hohe Gleichgewichtsfeuchte annehmen und sind daher im feuchtegefährdeten Bereich nicht zu empfehlen. Dies betrifft nicht nur die Außenwände der Keller. So wurde in einem Musterhaus in Leipzig Glesin im Keller an der Außenwand Vorsatzwände mit Mineralwolle und Gipskartonbauplatten erstellt. Nach einem starken Regen stand im Keller das Regenwasser 1 m hoch. Statt einer Trocknung war ein kompletter Rückbau aller Leichtbauwände erforderlich.

An dieser Stelle soll noch einmal betont werden, wenn Wasser in ein Gebäude eindringt, ist sofort eine professionelle Trocknung erforderlich. Es muss auch das Wasser aus den Hohlräumen entfernt werden. Je länger eine Feuchte vorliegt, so schneller können neben Schimmelpilze auch Holz zerstörende Pilze entstehen. Holz zerstörende Pilze, wie z. B. der Brauner Kellerschwamm (*Coniophora puteana* [Schum.: Fr.]) wächst auch am Holzregal und anderen Möbeln aus Holz. Das Myzel breitet sich auch über den Betonestrich aus.

#### **S. 172 ff**

Alkalisilikate wirken kapillar verengend. Das Wasserglas benötigt CO<sub>2</sub> zur Erhärtung. Dabei entsteht Pottasche beziehungsweise Soda, was durch Ausblühungen auf dem Mauerwerk gekennzeichnet wird. Dabei können eine Kristallisation und eine hygroskopische Feuchte auftreten. Alkalisilikat wird im feuchten Mauerwerk verdünnt.

Das Verfüllen mit Alkalisilikat (Natrium- oder Kaliumsilikat) ohne weitere Zusätze hat den Nachteil, dass nach dem Verdunsten des überschüssigen Wassers in den verfüllten Kapillaren und der vollständigen Austrocknung des gebildeten Kieselgels sogenannte Sekundärkapillaren mit geringerem Durchmesser entstehen und das Mauerwerk erneut durchfeuchtet wird.<sup>30</sup>

Alkalisilikat-Silikonat-Kombination wirken wie das Alkalimethylsilikonat hydrophobierend. Diese Eigenschaften kommen erst durch CO<sub>2</sub> zum Tragen und es entsteht Pottasche mit dem negativen Effekt der Salzablagerung. Die Anwendung ist für eine Durchfeuchtung von < 50 % und Mauerwerk < 50 cm (wegen CO<sub>2</sub>) vorgesehen. Kaliumpropylsilikonat benötigt kein CO<sub>2</sub> und kann für stärkere Mauerwerksdicken verwendet werden. Ausschlaggebend für die Wirksamkeit ist der Wasseranteil und die gelösten Salzionen. Auf diese Kombination basiert ein Großteil der auf dem Markt angebotenen Bohrlochinjektionsmittel.

---

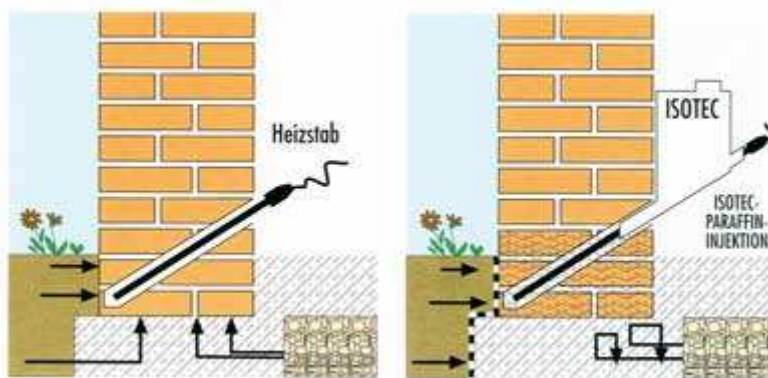
<sup>30</sup>Horst, Reul; *Handbuch Bautenschutz und Bausanierung*, 4. Aufl. 2001, Rudolf Müller Verlag, S. 182-188

Silicomikroemulsionskonzentrate erreichen auch bei hoher Durchfeuchtung eine gute Verteilung im Mauerwerk.

Silikonharze funktionieren bei wassergesättigtem Mauerwerk nicht, da die Wasser abweisenden Substanzen nicht in die betreffenden Kapillaren gelangen.

Paraffine wirken kapillar verengend. Zunächst werden Löcher für Heizstäbe im Abstand von 10 cm gebohrt. Sie trocknen bei einer Temperatur von mehr als 100 Grad Celsius das Mauerwerk vollständig aus. Anschließend wird in die Löcher heißes Paraffin gefüllt. So entsteht eine circa 30 cm hohe, kapillar dichte Horizontalsperrung über die gesamte Wanddicke.

**Abb. 4.3.3:** Horizontalabdichtung mit Paraffin <sup>31</sup>



Kunstharzlösungen auf Basis von Epoxidharz, Polyurethan- und Polyesterharzen funktionieren basiert auf Kapillarverengung. Sie werden mit Druck eingepresst. Feuchteempfindliche Harze verteilen sich nicht sehr gut im Mauerwerk, es kann zu Reaktionsstörungen beziehungsweise Abbindestörungen kommen. Einzelne Harze können aufgrund ihrer Molekülgröße selten in die Kapillaren eindringen. <sup>32, 33</sup>

#### Vertikaldichtung durch Injektion

Zum Beispiel das 3-Komponenten-Polyacrylat-Gel von WEBAC lässt sich zur nachträglichen rückwärtigen Flächenabdichtung (Schleierinjektion) einsetzen, siehe Abb. 4.3.4. Da das Material auch in Fugen eindringt, wird so zusätzlich eine Horizontalsperre im Mauerwerk

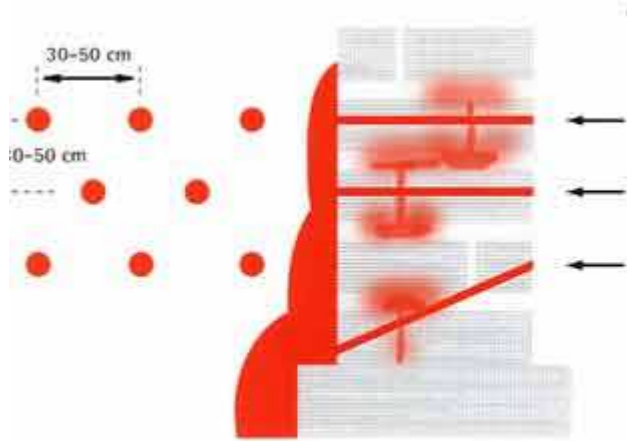
<sup>31</sup> Firmenschrift ISOTEC, PaffraTher Str. 80, 51465 Bergisch Glatbach, NWFK. 7/97, [www.isotec.de](http://www.isotec.de)

<sup>32</sup> Ettel, Wolf-Peter u. a.; Bautenschutzaschenbuch, 1992, Verlag für Bauwesen Berlin München, S. 85-91

<sup>33</sup> Horst, Reul; Handbuch Bautenschutz und Bausanierung, Rudolf Müller Verlag, 4. Aufl. 2001, Rudolf Müller Verlag, S. 182-188

gebildet. Es haftet gut auf trockenen und nassen mineralischen Untergründen. Bei wechselnder Feuchtigkeit schrumpft (Trockenheit) und quillt (Feuchtigkeit) das Gel.<sup>34</sup>

**Abb. 4.3.4:** Schematische Darstellung einer Schleierinjektion, das Gel wird durch die Bohrlöcher zur Rückseite des Mauerwerkes gepresst und bildet dort einen abdichtenden Gelschleier aus. Zusätzlich dringt es in Fugen ein und bildet so zusätzlich eine Horizontalsperre.



Weitere spezielle Injektionsharze dienen zum Verpressen von Rissen, Hohlräume nach Setzungen oder Undichtigkeiten im Bereich der Arbeitsfugen. Hier finden Injektionsschläuche oder Injektionspacker ihre Anwendung.

In einer Wirksamkeitsuntersuchung von RAUPACH und WOLFF wird in den nachfolgenden Abb. 4.3.5 die Verteilung eines Injektionsstoffes auf Epoxidharzbasis über die Ziegelquerschnittsfläche dargestellt. Der Bereich der injizierten Fläche umfasst etwa nur 50 % der gesamten Querschnittsfläche. Eine wirksame Horizontalabdichtung kann in diesem Fall nicht erreicht werden. Im Ergebnis dieser Untersuchung soll hier die Zusammenfassung genannt werden. *"Chemische Bohrlochinjektionsmaßnahmen sind geeignet, unter bestimmten Randbedingungen wirksame Horizontalabdichtungen zu erzeugen. Dabei sind vor allem Injektionsstoffe mit einem hohen Wirkstoffgehalt vorteilhaft, um auch nach einer Vermischung des Injektionsgutes mit dem in den Kapillarporen enthaltenen Wasser eine effektive Abdichtung zu gewährleisten. Weiterhin sind auf einen maximalen Bohrlochabstand von je nach Randbedingungen etwa 10 bis 12 cm sowie auf ausreichende Injektionsmengen zu achten. Eine Injektionsmenge in der Größenordnung des Kapillarporenvolumens des Substrates ist in der Regel nicht ausreichend, da durch seitlich austretendes Injektionsgut sowie Hohlräume und die bereits angesprochene Vermischung ein Teil des Injektionsgutes keine Wirksamkeit entfalten kann. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass etwa die*

<sup>34</sup>Technische Information WEBAC Chemie GmbH, Fahrenberg 22, 22885 Barsbüttel, WEBAC 240, Polyacrylat-Gel

*zwei- bis vierfache Injektionsmenge bezogen auf das Kapillarporenvolumen anzustreben ist."*<sup>35</sup>

---

<sup>35</sup> *Raupach, Michael und Wolff, Lars; Chemische Bohrlochinjektionsverfahren für die nachträgliche Abdichtung von Mauerwerk, bauzeitung 5/02 S. 67-70*