

DGZfP-Berichtsband BB 69-CD
Vortrag A3

Thermische und konvektive Trocknung von Mauerwerk mit hohen Durchfeuchtungsgraden

P. Friese, A. Protz, FEAD GmbH, Berlin

Kurzfassung

Ziegelmauerwerk besitzt oft einen erhöhten Feuchtegehalt, verursacht durch aufsteigendes Wasser oder Bauschäden. Zur Vorbereitung von Sanierungsmaßnahmen (Injektage) oder einer kurzfristigen Nutzung soll das Mauerwerk oft schnell getrocknet werden.

Bei den bisher eingesetzten Verfahren (Bautrockner, Heizpacker, Mikrowelle) besteht besonders bei dickem Mauerwerk das Problem der Ableitung des verdunsteten Wassers aus tieferen Schichten.

Die im folgenden Beitrag vorgestellten neu entwickelten Packer besitzen neben einer temperaturgeregelten Heizung einen Druckluftanschluß. Das thermisch verdampfte Wasser wird mit einem Luftstrom nach außen abgeführt, so daß im Gegensatz zu anderen Methoden auch dickes Mauerwerk in kurzer Zeit getrocknet werden kann.

In der Arbeit wird die Funktionsweise der Packer am Beispiel der Trocknung von Ziegelmauerwerk und nachfolgender Injektage dargestellt.

1. Einführung und Problemstellung

Zur nachträglichen Abdichtung von Mauerwerk gegen aufsteigende Feuchtigkeit werden häufig Injektionsverfahren eingesetzt, bei denen porenverschließende und/oder hydrophobierende Agenzien in der gewünschten Abdichtungsebene in das Mauerwerk eingebracht werden. Die dafür eingesetzten Mittel und Verfahren sind vielfältig (siehe dazu Marktübersicht "Injektionsverfahren" in der Bautenschutz + Bausanierung , 1996 (19) Heft 6, S. 29 - 39) und sollen hier nicht im einzelnen besprochen werden. Obwohl es aus naturwissenschaftlicher Sicht keinen Zweifel an den Mechanismen gibt, die bei der Anwendung von Injektionsverfahren zu einer nachträglichen Abdichtung führen, sind in den vergangenen Jahren Praxisberichte veröffentlicht worden [1, 2], in denen über eine nur unzureichende Wirksamkeit von Injektionsverfahren berichtet wird. Als Hauptursache wird eine ungenügende Verteilung der Injektionsmittel in der Abdichtungsebene angesehen.

Die Anwendbarkeit von Injektionsverfahren wird dadurch begrenzt, daß zur Aufnahme des Injektionsmittels ein bestimmter freier Porenraum im Mauerwerk zur Verfügung stehen muß. In Fachkreisen wird deshalb empfohlen, Injektionen nur dann durchzuführen, wenn der Durchfeuchtungsgrad $< 60\%$ ist. Dieser Wert sollte jedoch nur als Richtwert angesehen werden, da auch dann, wenn 40% der Poren frei von Wasser sind, nicht zwangsläufig auch eine ausreichende Verteilung des Injektionsmittels gewährleistet ist. Das bedeutet, daß gründliche Voruntersuchungen durchgeführt werden müssen, um die entsprechenden Bedingungen einhalten zu können. Neben der Bestimmung des Durchfeuchtungsgrades und der Porosität sollte dabei das Eindringvermögen des Injektionsmittels in dem betreffenden Mauerwerk ermittelt werden. Aus diesem Wert läßt sich dann der notwendige Bohrlochabstand ermitteln.

Folgendes Vorgehen hat sich für die Ermittlung der Bohrlochabstände bewährt: Es wird an einzelnen Punkten des zu sanierenden Mauerwerkes eine Probeinjektion durchgeführt und nach angemessener Zeit (die zur Verteilung des Injektionsmittels notwendig ist) werden Bohrkerne mit einem Durchmesser > 6 cm unmittelbar neben den Bohrlöchern für die Probeinjektion gezogen. Diese Bohrkerne werden dann in Scheiben zerschnitten und einzeln auf die Verteilung des Injektionsmittels untersucht. Werden hydrophobierende Mittel eingesetzt, so läßt sich die Eindringtiefe durch einfaches Aufsetzen von Wassertropfen ermitteln (siehe unten). Bei Verwendung von Alkalisilikaten und/oder Silikonaten kann der Nachweis der Eindringtiefe auch mit Indikatoren wie Phenolphthalein durchgeführt werden, analog zur Bestimmung der Karbonatisierungstiefe bei Betonen. Kunstharze sind unter dem Mikroskop gut erkennbar. Der Abstand der Bohrlöcher bei einer Injektion muß so gewählt werden, daß sich die Fronten des eindringenden Injektionsmittels sicher überlappen.

Einige Fachfirmen, die diese Voruntersuchungen durchführen ließen, waren stark verwundert, daß die Eindringtiefe statt der erhofften $6 - 8$ cm nur einige Millimeter betrug. Ursache war in allen Fällen ein zu hoher Wassergehalt in dem porösen Mauerwerk.

Ein anderes Problem bei der praktischen Anwendung von Injektionsverfahren ist, daß der Wassergehalt des Mauerwerkes bei einem Objekt in Abhängigkeit vom Ort stark schwanken kann. Dies kann z.B. durch ein unterschiedliches Angebot an Wasser aus dem Baugrund verursacht werden. Selbst wenn an den mehr oder weniger willkürlich festgelegten Meßstellen (zur Überprüfung der Anwendbarkeit von Injektionsverfahren) der Durchfeuchtungsgrad $< 60\%$ ist, kann dieser Wert an anderen Stellen so groß sein, daß hier mit Injektionsverfahren keine sichere Abdichtung erreicht werden kann.

Um die Anwendbarkeit von Injektionsverfahren zu größeren Durchfeuchtungsgraden hin zu erweitern, ist es notwendig, einen Teil des Wassers aus der Injektionsebene zu entfernen. Dies ist z.B. möglich über eine lokale Erhitzung des Mauerwerkes mit Mikrowellen und das Einsetzen von Heizstäben [3]. Beide Techniken sind sehr energieintensiv, da das Mauerwerk auf Temperaturen $> 100^\circ\text{C}$ aufgeheizt werden muß, um das Wasser auch im Inneren verdampfen zu können. Dabei kann das in unmittelbarer Nähe des Heizstabes verdampfte Wasser an kälteren Stellen im Mauerwerk kondensieren und dort den Durchfeuchtungsgrad erhöhen. Kühlt sich das Mauerwerk ab, so entsteht in den wasserdampfgesättigten Poren bei der Kondensation des Wassers ein Unterdruck, der möglicherweise dazu führt, daß aus der Umgebung erneut Wasser in die Poren gesaugt wird. Es ist zu vermuten, daß dies die Gründe dafür sind, daß eine rein thermische Vortrocknung von stark

durchfeuchtetem Mauerwerk zur Vorbereitung einer Injektion bisher keine nennenswerte Anwendung gefunden hat.

2. Trocknung von Ziegelmauerwerk mit Kondensationstrocknern

Oft wird versucht mit Kondensationstrocknern den Feuchtegehalt auch von dickem Mauerwerk zu verringern. Wie die nachfolgenden Messungen an einem historischen Gebäude im Land Brandenburg zeigen, ist dies sehr problematisch.

Das Kellermauerwerk hat eine Stärke von 1m und besteht aus Ziegeln mit einem Durchfeuchtungsgrad von ca. 80%. Nach erfolgter Abdichtung (Vertikal und Drainage) sollte die weitere Trocknung beschleunigt werden. Hierzu wurden in Abhängigkeit von der Raumgröße Kondensationstrockner aufgestellt. Nach 3- 4 Wochen fiel nur noch eine geringe Menge an Kondensat an, d.h. die Luftfeuchte der Räume war stark gesunken. Die Anlage wurde abgeschaltet und der Feuchtegehalt des Mauerwerks gemessen. Die Kontrollmessungen zeigten, daß das Mauerwerk nur bis in eine Tiefe von ca. 20 cm abgetrocknete war. Im Mauerwerkskern waren keine signifikanten Änderungen festzustellen. Im Laufe der Zeit wird sich ein Konzentrationsausgleich einstellen, so daß auch die tieferen Bereiche abtrocknen. Dieser Vorgang wird aber durch die Kondensationstrockner nur in geringem Umfang beschleunigt und rechtfertigt nicht die hohen Kosten, die durch den Dauerbetrieb entstehen würden.

Schicht [cm]	Wassergehalt [Masse%] vor der Trocknung	Wassergehalt [Masse%] nach der Trocknung
0-3	10,0	3,9
3-10	12,5	5,3
10-20	12,9	7,2
20-30	13,0	11,1

Tabelle 1: Wassergehalt von Ziegelmauerwerk vor und nach einem 4 wöchigen Einsatz von Kondensationstrocknern

Wesentlich schneller und effektiver erfolgt die Trocknung mit den hier vorgestellten Heizpackern.

3. Thermische und konvektive Trocknung von Mauerwerk

Es gibt zahlreiche Anwendungsfälle - z.B. Mischmauerwerk mit harten Bestandteilen, Ziegelmauerwerk, dessen Statik ein Aufschneiden und Einbringen neuer Horizontalabdichtungen nicht mehr gestattet - bei denen eine Abdichtung gegen aufsteigende Feuchtigkeit mit vertretbarem Aufwand nur mit Injektionsverfahren durchgeführt werden kann. Ist eine Vortrocknung notwendig, so kann diese dadurch realisiert werden, daß im Injektionsbereich auf Temperaturen um 100°C erwärmte Luft durch das Porengefüge des Mauerwerkes gedrückt wird [4].

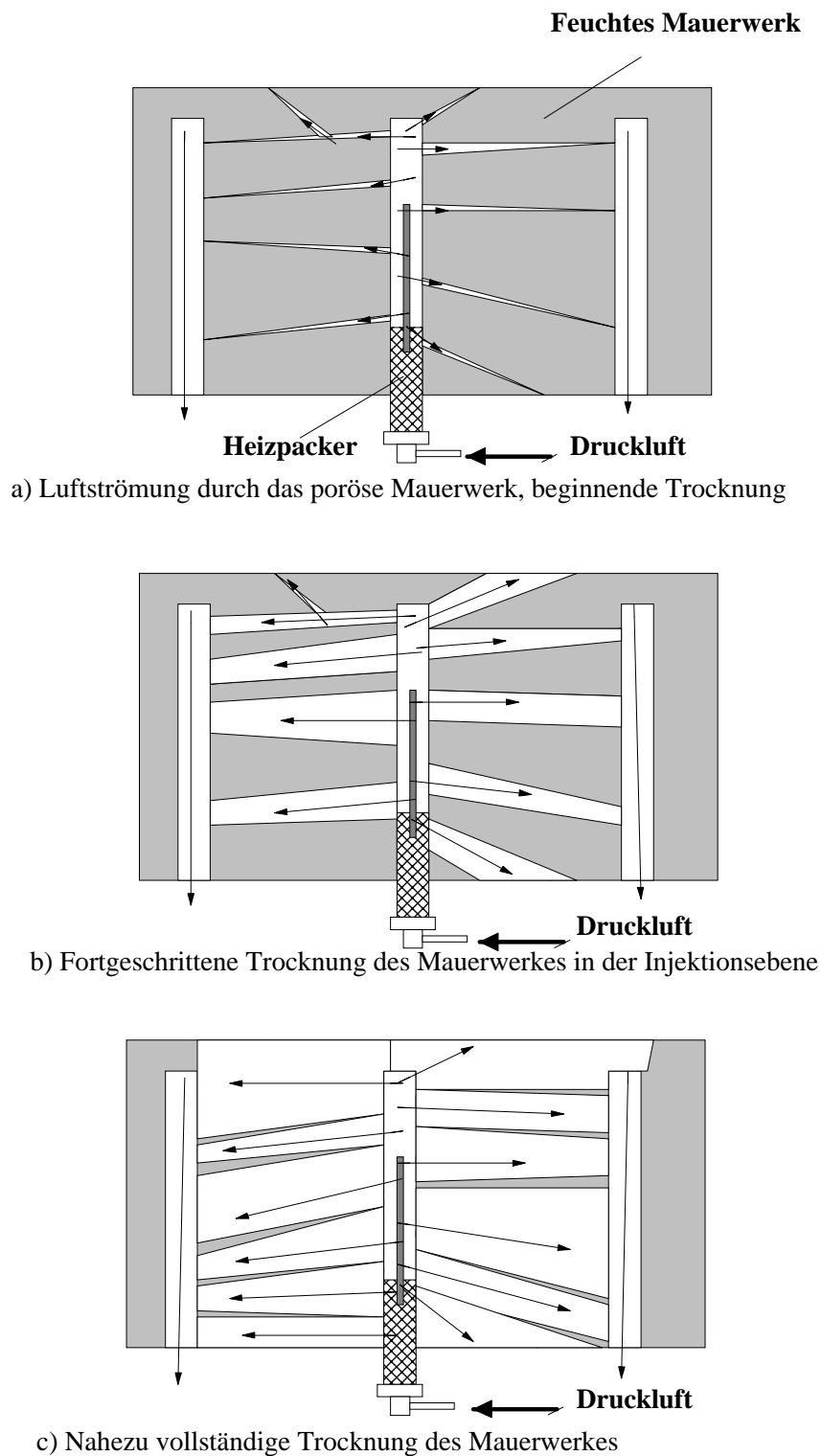


Abb.1: Trocknung von Mauerwerk in der Injektionsebene durch den Einsatz von Heizpackern und Druckluft (Schematische Darstellung).

Für diesen Zweck wurde ein spezieller Packer entwickelt, der neben einem Druckluftanschluß eine elektrische Heizeinheit hat, die mit Niederspannung betrieben wird. Diese Packer lassen sich in die Bohrlöcher einsetzen, die für eine Injektion ohnehin in das Mauerwerk eingebracht werden müssen. In Abb. 1 ist schematisch die Vortrocknung der Injektionsebene mit diesen Packern dargestellt.

Eingesetzt werden die Heizpacker in jedes zweite Bohrloch und der Druck wird zunächst soweit erhöht, daß eine Luftströmung durch das poröse Mauerwerk in die beiden benachbarten Bohrlöcher einsetzt. Ist das Mauerwerk sehr stark mit Wasser gesättigt, so kann dabei oft beobachtet werden, daß Wasser in flüssiger Form an den Wandungen der freien Bohrlöcher austritt. Nach dem Einschalten der Heizung wird die durch das Mauerwerk hindurchströmende Luft erwärmt, das Wasser verdampft oder verdunstet und wird mit der Luftströmung über die freien Bohrlöcher nach außen abgeführt. Auf diese Weise läßt sich das Mauerwerk in verhältnismäßig kurzer Zeit trocknen, ohne daß zu starke lokale Überhitzungen auftreten. Die Trocknungsgeschwindigkeit ist dabei abhängig von der Heizleistung, die über die angelegte Spannung variiert und dem jeweiligen Mauerwerk angepaßt werden kann. Unter normalen Bedingungen hat sich eine Heizleistung von 0,2 kW/Packer bewährt, mit der ca. 6 Liter Wasser pro Tag aus dem Mauerwerk entfernt werden können. Der Luftdurchsatz durch das Mauerwerk kann über den angelegten Druck ebenfalls variiert werden und damit besteht die Möglichkeit, Temperatur und Trocknungsdauer der jeweiligen Aufgabenstellung anzupassen.

Doch auch bei hohem Luftdurchsatz erwärmt sich das Mauerwerk bei der Vortrocknung auf Temperaturen zwischen 40 und 100 °C, muß aber vor Durchführung der Injektion auf Werte zwischen 20 und 30 °C abgekühlt werden. Die Abkühlphase sollte jedoch möglichst kurz sein, um ein Wiedereindringen von Wasser in den getrockneten Bereich weitgehend auszuschließen. Nach dem Abschalten der Heizung wird daher der Luftdurchsatz aufrechterhalten (möglicherweise sogar verstärkt) bis im Mauerwerk die für den Einsatz des jeweiligen Injektionsmittels notwendigen Temperaturen erreicht sind. Dies hat den Vorteil, daß die im Mauerwerk gespeicherte Wärme zur weiteren Verdunstung von Wasser genutzt wird.

4. Beispiel für eine Horizontalabdichtung mit Injektion nach thermisch-konvektiver Vortrocknung des Mauerwerkes

Im Rahmen der Instandsetzung eines historischen Wohn- und Geschäftshauses in Potsdam war ein extrem stark durchfeuchteter Keller für gewerbliche Zwecke nutzbar zu machen.

Bei Probeschachtungen unterhalb des Kellerfußbodens, der etwa 1 m unter Terrain lag, wurde nach 40 cm bereits Grundwasser angetroffen. Horizontal- und Vertikalabdichtungen waren nicht vorhanden und das aufgehende Ziegelmauerwerk (im unteren Teil Mischmauerwerk mit Granitanteilen) war erwartungsgemäß extrem stark durchfeuchtet. Der Durchfeuchtungsgrad der 50 cm dicken Innenwände lag im unteren Bereich zwischen 50 und 80 %. Durch aufsteigende und seitlich eindringende Feuchtigkeit waren die 70 cm dicken Außenwände des Kellers fast vollständig mit Wasser gesättigt.

Als Horizontalabdichtung war eine Injektion mit AIDA-Kiesel nach thermisch-konvektiver Vortrocknung der Injektionsebene vorgesehen. Zeitgleich mit der Injektion wurde eine Vertikalabdichtung angebracht, d.h. zum Zeitpunkt der Vortrocknung war das Außenmauerwerk freigelegt. Dies hat die Vortrocknung der Außenwände stark begünstigt, da aus dem Erdreich kein Wasser seitlich in das Mauerwerk nachgeliefert werden konnte.

Der Abstand der Bohrlöcher für die Injektion betrug 10 cm und zur Vortrocknung wurde in jedes zweite Bohrloch ein Heizpacker mit Druckluftanschluß eingesetzt. Bei einer Spannung von 24 V betrug die Leistungsaufnahme jedes Packers 0,2 kW. Abb. 2 zeigt die Anordnung der Heizpacker mit den entsprechenden Anschlüssen an einer Außen- und einer Innenwand des Kellers. Trotz guter Querlüftung des gesamten Kellers kam es an kalten Außenwänden (die Arbeiten wurden im Februar durchgeführt) durch den austretenden Wasserdampf zu einer sichtbaren Kondensation.

Bereits nach 24 h war der Durchfeuchtungsgrad an allen Kontrollmeßpunkten deutlich kleiner als 60% und lag damit unterhalb des empfohlenen Grenzwertes für die Anwendung von Injektionsverfahren. Zur Sicherheit wurde die Vortrocknung jedoch noch 1 - 2 Tage fortgesetzt bis in der Injektionsebene Durchfeuchtungsgrade zwischen 10 und 30 % erreicht waren. Nach einer etwa 12 stündigen Abkühlphase unter Aufrechterhaltung des Luftstromes durch das Mauerwerk wurde das Injektionsmittel nach den Angaben des Herstellers in das Mauerwerk eingebracht.

5. Kontrolluntersuchungen zur Verteilung des Injektionsmittels im Mauerwerk

4 Wochen nach der Injektion wurden an 3 ausgewählten Stellen Bohrkerns mit einem Durchmesser von 60 mm zwischen 2 Bohrlöchern und parallel zu diesen entnommen. Da das applizierte Injektionsmittel - AIDA-Kiesel - sowohl porenverengende als auch hydrophobierende Eigenschaften hat, läßt es sich an den Proben sehr einfach über das Verhalten aufgesetzter Wassertropfen nachweisen. Dort, wo ausreichend Injektionsmittel vorhanden ist, dringen die Wassertropfen nicht in den Baustoff ein. Abb. 3 zeigt an einigen Beispielen, daß sich das Injektionsmittel tatsächlich gut im Mauerwerk verteilt hatte, doch soll hier nicht verschwiegen werden, daß bei den Nachuntersuchungen auch einige "Inseln" mit einer Ausdehnung von 1 - 3 cm gefunden wurden, an denen kein Injektionsmittel nachgewiesen werden konnte. Möglicherweise waren dies Bereiche, die noch nicht ausreichend vorgetrocknet waren. Es ist aber auch denkbar, daß das von verschiedenen Seiten heranströmende Injektionsmittel diese Bereiche wie eine Luftblase eingeschlossen hatte.



Abbildung 2: Thermisch-konvektive Vortrocknung der vorgesehenen Injektionsebene mit Heizpackern.

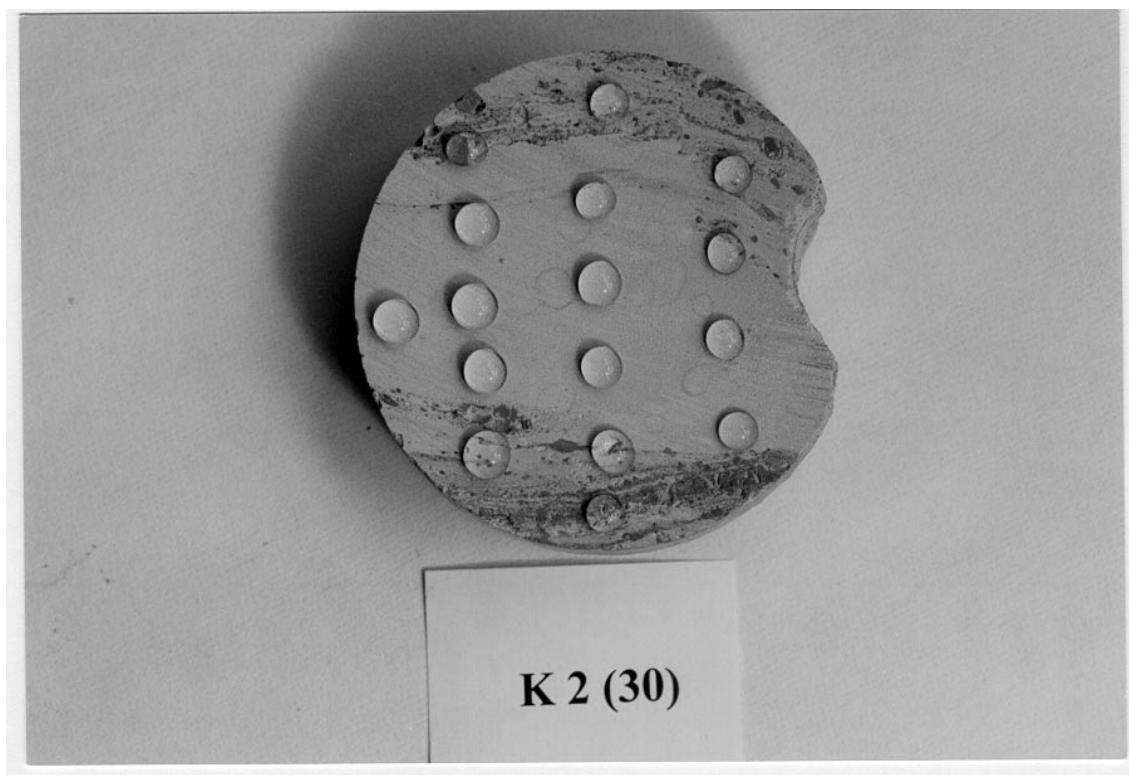


Abbildung 3: Überprüfung der Verteilung des Injektionsmittels durch Aufsetzen von Wassertropfen auf Bohrkerne und herausgeschnittene Steinscheiben.

6. Nachuntersuchungen zur Abtrocknung des Mauerwerkes

5 Monate nach der Injektion wurde der Wassergehalt in verschiedenen Schichten des Mauerwerkes über Entnahme von Bohrproben und thermogravimetrische Analyse bestimmt und mit den Ausgangswerten verglichen. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 1 dargestellt und zeigen, daß der Wassergehalt im Mauerwerk in der verhältnismäßig kurzen Zeit auf etwa 50% des ursprünglichen Wertes abgesunken ist. Dabei ist zu berücksichtigen, daß bei der Injektion der Wassergehalt des vorgetrockneten Mauerwerkes durch das Einbringen des wasserhaltigen Injektionsmittels wieder stark erhöht wurde. Unmittelbar nach der Injektion wurde das Mauerwerk mit Sanierputz verputzt um die Kellerräume schnell nutzbar zu machen. Da hier kein durchgehender kapillarer Transport des Wassers bis an die Oberfläche stattfindet, wird die Austrocknung im Vergleich zum unverputzten Mauerwerk deutlich behindert.

Weitere Nachuntersuchungen sollen in ein bis zwei Jahren folgen. Es ist zu erwarten, daß der Wassergehalt im Mauerwerk weiter abnimmt und sich ein Gleichgewichtswert von etwa 1 - 3 Masse% Wasser im Mauerwerk einstellt.

Außenwand

Höhe über Kellerfußboden [cm]	Schicht [cm]	Wassergehalt im Mauerwerk vor der Injektion [Masse%]	Wassergehalt im Mauerwerk 5 Monate nach der Injektion [Masse%]
50	0 - 3	23,4	7,2
	3 - 10	24,9	12,8
	10 - 20	23,0	10,3
	20 - 30	20,5	13,1
	30 - 40	18,1	11,9

Innenwand

Höhe über Kellerfußboden [cm]	Schicht [cm]	Wassergehalt im Mauerwerk vor der Injektion [Masse%]	Wassergehalt im Mauerwerk 5 Monate nach der Injektion [Masse%]
10	0 - 3	19,5	4,5
	3 - 10	12,3	8,2
	10 - 20	13,4	7,1
	20 - 30	13,7	6,9
	30 - 40	17,6	7,6

Tabelle 2

Abtrocknung des Mauerwerkes nach thermisch-konvektiver Vortrocknung und Injektion mit AIDA-Kiesol der Firma REMMERS Bauchemie GmbH Lönigen

7. Schlußfolgerungen und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, daß bei entsprechender Vortrocknung sichere Abdichtungen gegen aufsteigende Feuchtigkeit mit Injektionsverfahren auch dann durchgeführt werden können, wenn der Durchfeuchtungsgrad weit über dem von Fachleuten empfohlenen Wert von 60 % liegt. Die bisherigen Erfahrungen bei der Anwendung der beschriebenen thermischen und konvektiven Trocknung des Mauerwerkes sind noch nicht ausreichend, um die Anwendungsgrenzen des Verfahrens festzulegen. Es ist aber zu erwarten, daß fast jedes Mauerwerk - unabhängig von der Struktur und vom Durchfeuchtungsgrad - auf diese Weise abgedichtet werden kann, zumal über die Heizleistung, den Luftdurchsatz und die Dauer der Trocknung das Verfahren den jeweiligen Aufgaben angepaßt werden kann. Nach dem Einbringen des Injektionsmittels besteht darüber hinaus die Möglichkeit, das Mauerwerk auch oberhalb der Injektionsebene mit der gleichen Methode schnell abzutrocknen. Dadurch können Verzögerungen bei Bauablauf vermieden werden, die häufig dadurch entstehen, daß mit einem Neuperputz gewartet werden muß, bis das Mauerwerk bis auf geringe Restfeuchten abgetrocknet ist. Beispielsweise wurde mit den Heizpackern an einem Objekt Mauerwerk mit einem DFG von 80- 90% innerhalb von 3 Tagen bis auf ca. 10- 15% abgetrocknet.

Bei einer Abtrocknung des Mauerwerkes über kapillaren Transport des Wassers in oberflächennahe Bereiche mit nachfolgender Verdunstung in die Außenluft werden bauschädliche Salze an der Oberfläche angereichert, die zu Putz- oder Steinschäden führen können. Grundsätzlich kristallisieren in Wasser gelöste Salze nur dort aus, wo das Wasser verdunstet. Wird wie bei der beschriebenen thermisch-konvektiven Trocknung das Wasser im Inneren des Mauerwerkes verdunstet, so verbleiben auch die Salze dort und können an der Oberfläche keine Schäden verursachen.

Literatur

[1] Aufsteigende Feuchte - eine Bewertung chemischer Mittel im Praxistest, Rob P. J. van Hees und Jaap A. G. Koek in FAS - Schriftenreihe Heft 8, Verlag für Bauwesen Berlin 1997

[2] Neue Erkenntnisse in der Mauerwerkstrockenlegung, C. Arendt, Bautenschutz + Bausanierung 1994, 69-74

[3] Nach dem Trockenlegen das Verdunsten nicht vergessen - Möglichkeiten zur Beschleunigung der Mauerwerksentfeuchtung, M. Balak, Bautenschutz + Bausanierung 1998, Heft 3, S. 21-26

[4] Verfahren und Vorrichtung zur thermischen und/oder konvektiven Trocknung von stark durchfeuchtetem Mauerwerk, Friese, P. und Hilbert, G., Patentanmeldung Nr. 19817928.6, Anmelder: REMMERS Bauchemie GmbH, Lönigen