



Projektbericht

Entwicklung eines selbstinjizierenden Abdichtungssystems für Wände und Fugen

Kooperationspartner

Polymertechnik Hegemann

Nierenhofer Straße 68
45257 Essen
Ansprechpartner: Felix Hegemann
Tel. +49 (0) 201 / 894570

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Osterfelder Straße 3
46047 Oberhausen
Ansprechpartner: Dr. Holger Wack
Tel. +49 (0) 208 / 8598-1121

Inhalt

1	Ziel	1
2	Grundlagenermittlung	3
2.1	Übersicht bestehender Wandtypen und -materialien und deren Alter	3
2.2	Informationen zum Schadenstyp, der Schadenshäufigkeit und des Sanierungsbedarfs sowie kurze Vorstellung der am Markt befindlichen Systeme	10
2.3	Vorhandene Technologien und Verfahren zur Instandsetzung feuchter Mauerwerke	12
2.4	Ermittlung technischer Daten	15
3	Konzeption und Bau von Versuchsmodellen	17
3.1	Recherche vorhandener Technologien	17
3.2	Konzeption und Bau von Versuchsmodellen	17
3.3	Praxisobjekte	20
4	Herstellung des Abdichtungsmaterials und Charakterisierung	22
4.1	Materialanalyse im Modellversuch	26
4.2	Modellbildung	28
5	Versuchsbetrieb Technikum und Entwicklung der Applikationstechnik	31
	Literaturverzeichnis	34

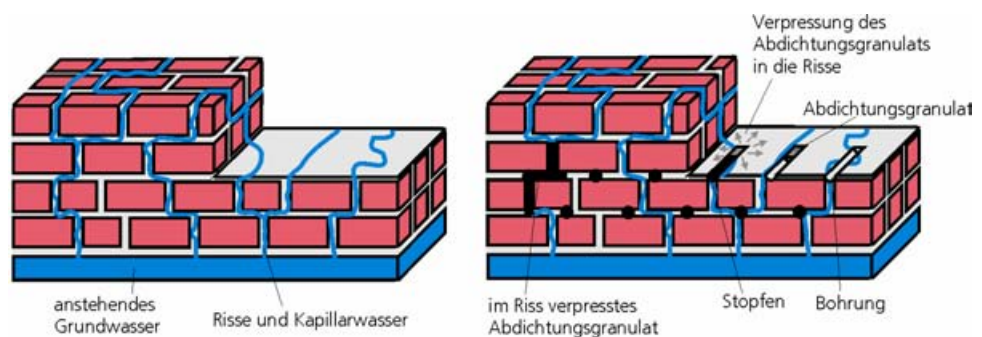
1 Ziel

Ziel des Forschungsprojektes war die Entwicklung eines selbstinjizierenden und eigensicheren Abdichtungssystems, das Undichtigkeiten in Wänden und Anschlussbereichen (entstanden z. B. durch Setzung des Gebäudes oder steigendes Grundwasser) selbsttätig repariert (Selbstreparaturmechanismus) und so einen Bauschaden verhindert bzw. diesen behebt.

Die Basis des Systems sollte ein quellfähiges Abdichtungsmaterial bilden, das im Rahmen des Vorhabens entwickelt und charakterisiert werden sollte. Beim Entstehen einer Leckage sollte das Material in der Lage sein, sich selbsttätig in Risse und Kapillaren zu verpressen.

Der Entwicklungsschwerpunkt lag in der Herstellung einer Horizontalsperre, d. h. dem Stoppen von kapillar aufsteigendem Wasser. Der Wirkmechanismus ist in Bild 1 skizziert.

Bild 1
Anwendungsfall
Mauerwerks-
sanierung



Funktionsweise des Systems:

Das in einer Bohrung applizierte Abdichtungsmaterial bildet bei Kontakt mit Wasser ein sich selbstinjizierendes Gel, das sich in Richtung der anstehenden Feuchte in den Mauerwerksrissen verteilt. Durch diesen Mechanismus kann eine hohe Abdichtungsgüte erzielt werden, die zu einer deutlichen Vereinfachung im Bereich der Sanierung von Mauerwerken beitragen kann.

Für das prinzipiell in Pulverform applizierbare Material sollte im Rahmen des Vorhabens eine geeignete Applikationstechnik entwickelt werden. Hier wurde insbesondere der Aspekt der Baustelleneignung berücksichtigt. Auf zahlreichen Baustellen liegen räumliche Einschränkungen vor und oftmals herrschen zusätzlich widrige Umgebungsbedingungen (Kälte, Feuchte). Es wurde daher angestrebt, eine möglichst einfache, robuste und energieextensive Applikationstechnik zu entwickeln.

Neben dem Einsatz in der Mauerwerkssanierung sollte das Material auch dazu genutzt werden, die an die Wand angrenzenden Boden- oder Wandanschlussfugen abzudichten. Das System sollte dabei in der Lage sein, Undichtigkeiten im Fugenrund dauerhaft rissüberbrückend abzudichten.

2 Grundlagenermittlung

2.1 Übersicht bestehender Wandtypen und -materialien und deren Alter

Eine Wand wird als vertikales Bauteil angesehen, bei dem die Länge und Höhe in der Ausdehnung größer ist als die in der Tiefe. Mit dem Wandtyp werden die Eigenschaften einer Wand charakterisiert. Folgende Wandtypen werden unterschieden:

- Außen- / Innen- / Trennwand
- tragende / nicht tragende Wand
- einschalige / zweischalige Wand
- Massiv- / Leichtbauwand

Der Wandtyp kann auch durch das verwendete Material einer Wand bestimmt werden. Es wird zwischen einem Aufbau aus Beton, Mauerwerk und einer Fachwerkkonstruktion unterschieden. Das Fachwerk in seiner herkömmlichen Erscheinungsform wird heute nicht mehr verwendet. Bei dem Werkstoff Mauerwerk muss weiter unterschieden werden in künstliche und natürliche Steine.

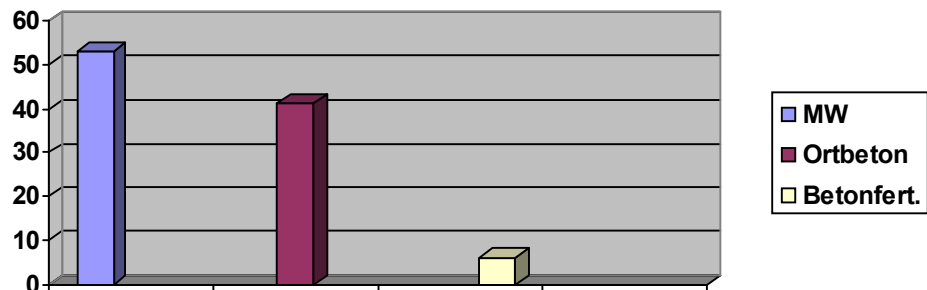
Ein Naturstein ist ein gewachsener Stein, wie er in Steinbrüchen abgebaut wird oder aber als Kieselstein oder Findling in der Landschaft vorzufinden ist. Zu dieser Art von Steinen gehören der Sandstein, Granit, Basalt sowie der Schiefer und Marmor.

Im Gegensatz dazu stehen die künstlichen Steine wie der Ziegel, der Kalksandstein und der Gasbetonstein. Diese Steine werden aus verschiedenen Materialien zusammengestellt und anschließend gebrannt.

Eine Sonderposition nimmt hierbei der Beton ein, der zwar auch zu den künstlichen Steinen gehört, aber nicht gebrannt wird.

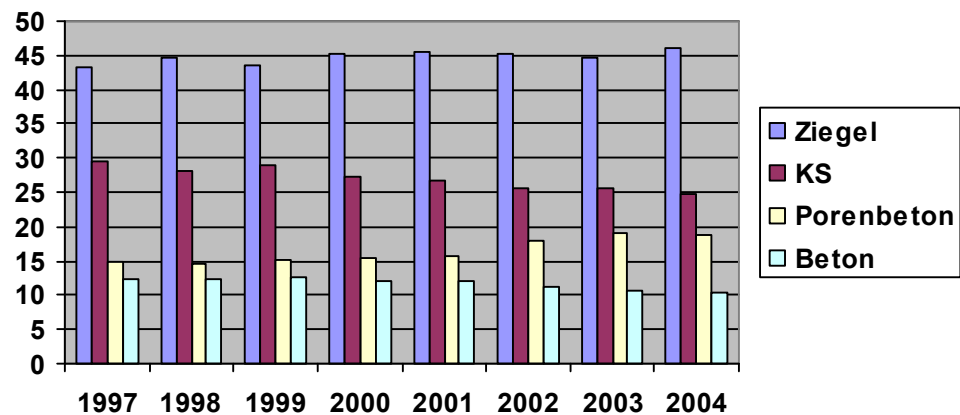
Es wird davon ausgegangen, dass ca. 85 % aller Ein- und Zweifamilienhäuser massiv gebaut werden und der überwiegende Teil hierbei als Mauerwerk erstellt wird (s. Bild 2.1). Einem Ziegelhaus wird eine lange Lebensdauer und nach 40 bis 50 Jahren ein Mehrwert von bis zu 30 % im Vergleich zu Häusern aus anderen Materialien bescheinigt [Kirt99, Wien06].

Bild 2.1
 Anteile (in Prozent)
 der Baustoffe für
 Kellerwände im
 Wohnungsbau
 [Deut02]



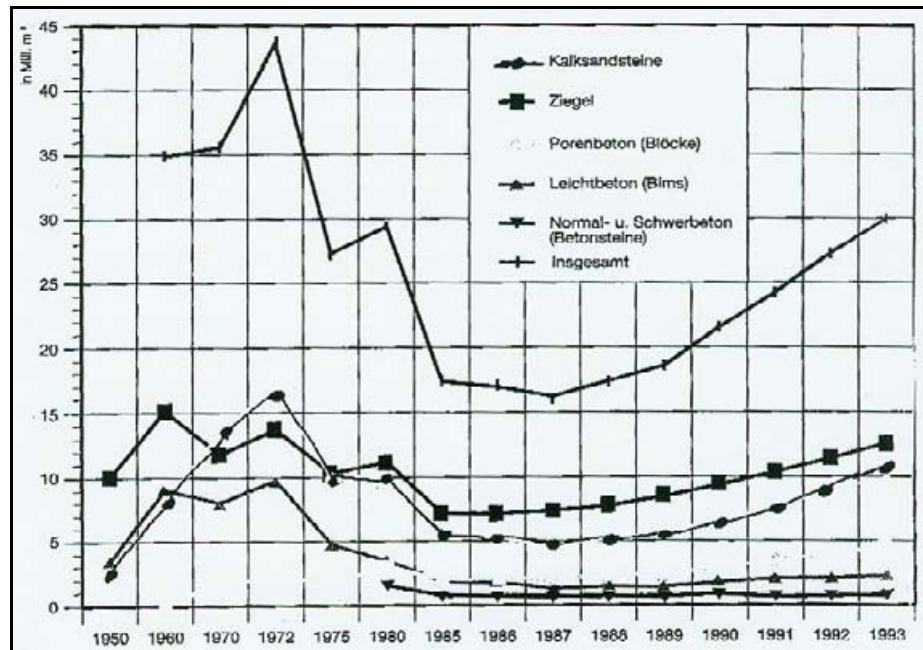
Durch eine Analyse der Marktanteile der verschiedenen Baustoffe, die für verschiedene Zeiträume vorliegen, wird eine deutliche Dominanz des Ziegels vor dem Kalksandstein deutlich (s. Bild 2.2).

Bild 2.2
 Marktanteile (in
 Prozent) der Bau-
 stoffe von 1997-
 2004 [Deut02]



Die Dominanz der Marktanteile von Ziegelbaustoffen ist über einen langen Zeitraum zurückreichend bis ins Jahr 1950 gegeben (s. Bild 2.3).

Bild 2.3
 Marktübersicht der
 Baumaterialien von
 1950 bis 1993
 [Bund94]



Aufgrund dieser Datenbasis und der bekannten frühen Nutzung von Ziegeln und Kalksandsteinen wird der weitere Verlauf des Forschungsvorhabens auf die Untersuchung dieser beiden Materialien fokussiert.

Historie Ziegel

Der Mauerziegel, auch Backstein oder einfach Ziegel genannt, ist der älteste künstliche Mauerstein. Man unterscheidet drei Arten von Ziegeln:

- luftgetrocknete Ziegel (Adoben), die nicht gebrannt werden, sondern nur an der Luft über längere Zeit trocknen,
- weichgebrannte Ziegel, die im Brennofen gebacken werden, aber dennoch nicht sehr witterungsbeständig sind, da sie eine hohe Porosität und Wasseraufnahmefähigkeit besitzen (Hintermauerziegel) und
- hartgebrannte Ziegel, die bei höheren Temperaturen gebrannt werden als weichgebrannte Ziegel und deshalb härter und dichter als diese sind (Klinker, Dachziegel).

Trotz großer verwendeter Ziegelmengen erfolgte die Ziegelproduktion bis ins 19. Jahrhundert im Wesentlichen in Handarbeit.

Erst durch die Industrialisierung wurde auch die Herstellung mechanisiert. Durch die industrielle Fertigung von Ziegeln mittels Strangpressen (1854), die dem Material eine glatte Oberfläche geben und der 1858 als preußisches und

österreichisches Patent gemeldete Ringofen des Baumeister Friedrich Hoffmann war es überhaupt möglich, die imposanten Bauleistungen der Industrialisierung zu leisten. So wurden zum Beispiel für eine typische Berliner Mietkaserne der Gründerzeit (1871 bis 1873) über eine Millionen Ziegel benötigt.

Ein Problem des Ziegels war, dass er, abgesehen vom Fachwerk und für innen liegende Trennwände, in seiner Breite für normale Mauerstärken zu schmal war. Deshalb wurden Ziegel immer im Verbund gemauert. Die gängigsten Verbundarten sind:

- Läuferverband,
- Binderverband,
- Blockverband,
- Kreuzverband,
- Märkischer Verband,
- Holländischer Verband und
- Schlesischer Verband.

Aus den zur Verfügung stehenden Quellen war nicht zu ermitteln, wie die Häufigkeit in der praktischen Anwendung verteilt war und ist.

Historie Kalksandstein

Im Vergleich zum Ziegel ist der künstlich produzierte Kalksandstein ein relativ junges Produkt. Während sein natürlicher Vertreter schon lange Zeit genutzt wurde, existiert als Beleg für die Entwicklung eines künstlichen Kalksandsteines die handbetriebene hölzerne Hebelpresse von Dr. Bernhardl, mit der die ersten luftgehärteten Kalkmörtel-Mauersteine gefertigt wurden [Bund94].

Die Problematik bestand vor allem darin, dass der Abbindeprozess sehr langsam ablief und die luftgetrocknete Mörtelmasse relativ spät ihre Endfestigkeit erlangte. Diese Endfestigkeit lag zudem noch unter der des damals gebräuchlichen Mauerziegels, sodass ein entsprechender Absatz am Markt nicht realisiert werden konnte.

Im Jahre 1894 verließ in Neumünster dann endlich der erste industriell hergestellte Kalksandstein den Autoklaven.

Die Produktion kam jedoch im zweiten Kriegsjahr des Ersten Weltkriegs komplett zum Erliegen, da der Staat alle Kräfte in den Krieg schickte. Nach Ende des Krieges sorgten eine Zwangsbewirtschaftung aller Rohstoffe, behördlich angeordnete Richtpreise und die Inflation für ein wachstumshemmendes Klima.

Ein Motor für die Wiederbelebung war das Inkrafttreten der DIN 106 »Kalksandsteine – Mauersteine«, die erstmalig eine Mindestdruckfestigkeit für Mau-

erwerkssteine vorschrieb. Die 30er Jahre brachten den größten wirtschaftlichen Erfolg, mit einem Rekordergebnis von 2,5 Milliarden Kalksandsteinen im Jahr 1936. Dies war das höchste Absatzergebnis seit dem Produktionsbeginn.

Nach dem Zweiten Weltkrieg lief die Kalksandsteinproduktion in den verbliebenen 136 Werken nur schleppend wieder an. Zwar war ein immenser Bedarf an Baumaterial vorhanden, jedoch gab es die Materialien und Brennstoffe für die Produktion nur über Bezugsscheine oder den Schwarzmarkt. Als Notlösung wurde zu diesem Zeitpunkt der vorhandene Bauschutt gereinigt, selektiert und wieder verwendet. Das hierbei gewonnene Material war jedoch in erster Linie der Ziegel.

Im Jahre 1953 übernimmt das Labor des Hauptverbandes der Kalksandsteinindustrie die laufende Güteüberwachung der Produktion der KS-Werke.

Der Erfolg dieser Einrichtung zeigt sich am Vergleich der Prüfergebnisse, die gemäß der Norm DIN 106 eindeutige Aussagen zur »Maßhaltigkeit, Rohdichte und Druckfestigkeit« enthalten.

Lag die Quote am Anfang bei 43 Prozent, so konnte sie durch gezielte Fehlerbehebung auf durchschnittlich 97 Prozent verbessert werden. Durch die stetigen Verbesserungen gelang es dem Kalksandstein schließlich, im Jahre 1968 Marktführer unter den Baustoffen zu werden. Diese Position konnte er bis 1975 verteidigen, bevor der Ziegel sich wieder als Marktführer bis heute behauptete.

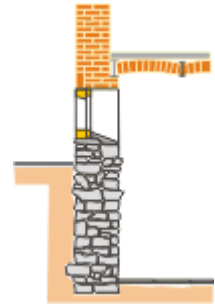
Wandaufbau und Wandanschlussbereiche

Ein großes Problem bei der Entstehung eines Gebäudes sind die Wandanschlüsse im Fundamentbereich. Zwar werden in der heutigen Zeit Systeme wie die schwarze oder weiße Wanne eingesetzt, trotzdem kommt es immer wieder zu Schäden aufgrund von mangelhafter oder unsachgemäßer Durchführung. Oftmals wird auch nicht bedacht, dass zu einem funktionsfähigen Abdichtungssystem weitere Ergänzungsmaterialien wie zum Beispiel Schutzschichten, Fugenbänder oder Dränagen benötigt werden.

Die folgende Auflistung verdeutlicht, wie sich der Fundamentaufbau im Laufe der Zeit entwickelt hat [Desi06].

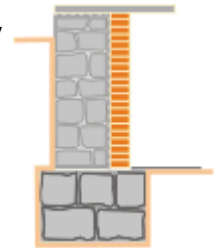
1870 bis 1920

- Gründung:** Streifenfundamente aus Ziegel-, Bruchsteinmauerwerk oder Beton
- Kelleraußenwand:** 51 cm Ziegelmauerwerk oder Bruchsteinmauerwerk
- Geschossaußenwand:** 38 cm Ziegelmauerwerk
- Abdichtung:** Kellerfundamente und Wände ohne ausreichende Abdichtung; mit vertikaler Sperrung; mit Isolierschicht oder Sperrgraben



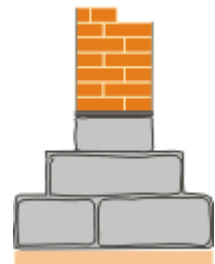
1920 bis 1930

- Gründung:** Streifenfundamente aus Bruchstein, Ziegeln, Beton Stahlbetonroste und -platten
- Kelleraußenwand:** 51 cm Ziegel / Bruchsteinmauerwerk
- Geschossaußenwand:** 38 cm Ziegelmauerwerk
- Abdichtung:** Kellerfundamente und Wände ohne ausreichende Abdichtung mit vertikaler Abdichtung



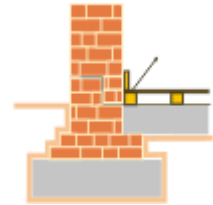
1930 bis 1940

- Gründung:** Streifenfundamente aus Beton, Stahlbetonroste und -platten
- Kelleraußenwand:** 51 cm Ziegelmauerwerk, 38 cm Stampfbeton
- Geschossaußenwand:** 38 cm Ziegelmauerwerk, 30 cm Ziegelmauerwerk
- Abdichtung:** Kellerfundamente und Wände ohne ausreichende Abdichtung mit vertikaler Abdichtung



1950 bis 1960

- Gründung:** Streifenfundamente aus Beton, Stahlbetonroste und -platten
- Kelleraußenwand:** 38 cm Ziegelmauerwerk, 38 cm Stampfbeton
- Geschossaußenwand:** 30 cm Ziegelmauerwerk, 25 cm Ziegelmauerwerk
- Abdichtung:** Kellerfundamente und Wände ohne ausreichende Abdichtung mit vertikaler Sperrung; Beginn horizontale Sperrung nach DIN



1960 bis 1970

- Gründung:** Streifenfundamente aus Beton, Stahlbetonplatten
- Kelleraußenwand:** 38 cm Ziegelmauerwerk, 30 cm Stahlbeton
- Geschossaußenwand:** 30 cm Ziegelmauerwerk, zweischalig
- Abdichtung:** häufig keine; Kellerfundamente und Wände ohne ausreichende Abdichtung; vertikale und horizontale Sperrung nach DIN



1970 bis 1990

- Gründung:** Streifenfundamente aus Beton, Stahlbetonplatten als Last- und Leerfelder
- Kelleraußenwand:** 38 cm Ziegelmauerwerk, 30 cm Stahlbeton
- Geschossaußenwand:** zweischalig oder mehrschalig
- Abdichtung:** mit vertikaler und horizontaler Sperrung nach DIN



Die Zusammenstellung macht deutlich, dass erst in der jüngeren Vergangenheit damit begonnen wurde, eine vollständige Abdichtung einzubauen, um das Gebäude vor Feuchtigkeit zu schützen.

Ein Grund hierfür ist wahrscheinlich der Wandel, den der Keller in den letzten Jahren vollzogen hat. War er früher nur ein Vorratsraum, an den nur geringe Ansprüche gestellt wurden, so wird er heute gerne als Arbeits- oder Partyraum genutzt. Hierdurch sind die Ansprüche gestiegen, und die Feuchtigkeit wird verstärkt als Mangel wahrgenommen.

2.2 Informationen zum Schadenstyp, der Schadenshäufigkeit und des Sanierungsbedarfs sowie kurze Vorstellung der am Markt befindlichen Systeme

Der Schadensfall »Feuchtigkeit an erdberührten Bauteilen« kann viele Ursachen haben [Ans05b, Fix05, Fröss01]. Hier soll nur eine kurze Übersicht gegeben werden, da sich das Projekt primär dem Problem der kapillar durchfeuchteten Wände widmet.

Ursachen für Feuchte in Wänden können sein:

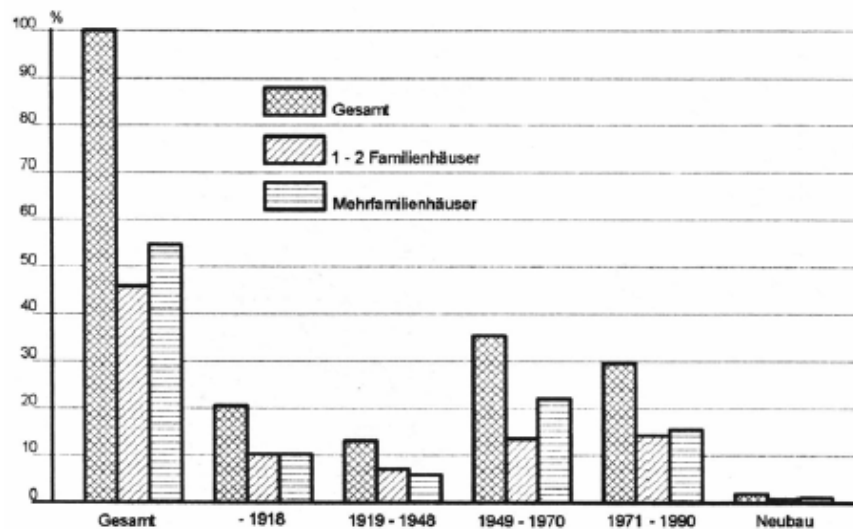
- Wasseraufnahme durch Regen, Sicker- und Hangwasser,
- kapillare Wasseraufnahme,
- hygroskopische Wasseraufnahme,
- Wasseraufnahme durch Kapillarkondensation,
- Wasseraufnahme durch Kondensation und
- Wasseraufnahme durch Leitungsschäden.

Der kapillare Wassertransport ist möglich, da die Moleküle des Wassers mit den Molekülen anderer Stoffe in Verbindung treten können und diese durchdringen. Ebenso verfügt das Wasser über eine hohe Oberflächenspannung, durch die in porösen Materialien der Kapillareffekt entsteht. Je geringer der Kapillardurchmesser ist, desto größer sind der Kapillardruck und die kapillare Steighöhe.

Nach dem vorliegenden dritten Schadensbericht des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau von 1997 betrug der Wohnungsbestand zum damaligen Zeitpunkt im gesamten Bundesgebiet ca. 34 Mio. Einheiten [Bund97a].

Hiervon befinden sich 54,4 % in Mehrfamilienhäusern, von denen wiederum knapp 30 % älter als 50 Jahre sind (s. Bild 2.4).

Bild 2.4
Wohnungsbestand
in Deutschland
nach Baualter-
klassen (Stand
1992) [Bund97a]



Selbst bei Neubauten entstehen allein bei 20 % aller Gebäude innerhalb der ersten fünf Jahre Feuchtigkeitschäden im erdberührten Bereich.

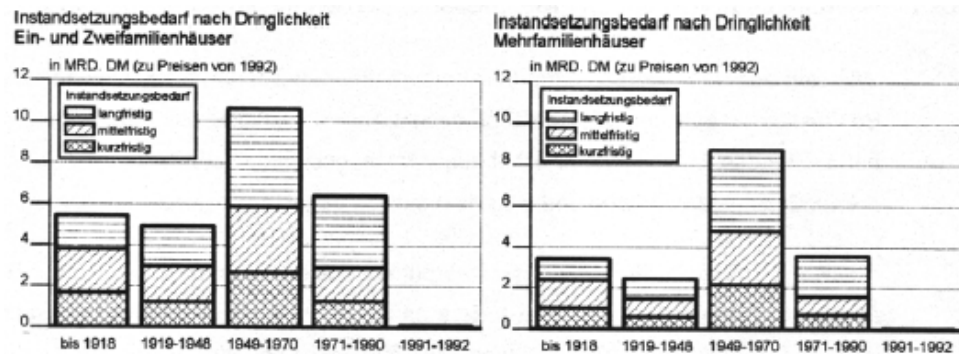
Diese Schadensquote steigt mit zunehmender Altersstruktur der Gebäudesubstanz stark an. Der Bericht macht deutlich, dass es keine verlässlichen Daten über Schäden gibt, die aufgrund kapillarer Durchfeuchtung der Wände entstanden sind.

Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung lag der Instandsetzungsbedarf in Deutschland bei über 81,5 Mrd. €. Die Ursachen für diese Schäden sind vielfältig und beruhen hauptsächlich auf:

- Mängel bei der Planung,
- normale Alterung,
- verstärkte Alterung durch ungünstige Umwelteinflüsse,
- vorhandenes Wissensdefizit,
- mangelhafte Fachkenntnisse,
- fehlerhafte oder ungeeignete Produkte und Verfahren und
- falsche Verarbeitung und Anwendung.

Der Schädigungsgrad des vorhandenen Bestandes lässt sich am besten durch den Instandsetzungsbedarf beschreiben. Das Problem hierbei ist aber, dass bei einer Instandsetzung nicht immer genau geklärt werden kann, ob es sich wirklich um eine Instandsetzung, eine Modernisierung oder eine Beseitigung von vermeidbaren Bauschäden, eine so genannte Nachbesserungsmaßnahme, handelt. In den meisten Fällen kommt es hierbei zu einer Überlagerung einzelner Maßnahmen.

Bild 2.5
 Instandsetzungsbedarf im Wohnungsbestand der alten Bundesländer nach Dringlichkeit, differenziert nach Baualtersklassen [Ditt99]



Wie in Bild 2.5 deutlich wird, entfallen die höchsten Instandsetzungskosten sowohl bei den Ein- und Zweifamilienhäusern als auch bei den Mehrfamilienhäusern auf die Gruppe der Gebäude, die von 1949 bis 1970 errichtet wurden. Die Ursachen hierfür sind, laut Schadensbericht, in der »Größe des Bestandes aus der Zeit und den altersbedingten Verschleißerscheinungen« zu sehen [Bund97a].

Basierend auf den vorliegenden Daten, wird für die praktischen Versuche dieses Projekts versucht, Material aus einem Zeitfenster von 1900 bis 1980 zu akquirieren.

Die Versuchsreihe bei Gebäuden im Bestand soll sich ebenfalls an dem Zeitfenster 1900 bis 1980 orientieren. Aufgrund der vorliegenden Fakten muss jedoch damit gerechnet werden, dass eine Vielzahl der Objekte schwerpunktmäßig aus dem Bereich 1949 bis 1970 stammen wird, da nach dem Schadensbericht in diesem Zeitraum die meisten Objekte entstanden sind.

2.3 Vorhandene Technologien und Verfahren zur Instandsetzung feuchter Mauerwerke

Auf Grund der Vielzahl von Schäden gibt es unterschiedliche Verfahren auf dem Markt, um das Problem Mauerwerksfeuchte zu beherrschen. An dieser Stelle soll eine kurze Beschreibung der Verfahren zur nachträglichen Horizontalabdichtung erfolgen, jedoch ohne eine Bewertung der Methoden abzugeben.

- mechanische Verfahren

Methoden	Prinzip	Abdichtmaterial
Blecheintreibverfahren	Einschlagen	Edelstahlblech
Kettensägeverfahren	Schlitzzen	Platten oder bahnenförmige Abdichtungsstoffe
Seilsägeverfahren	horizontales Sägen	

- chemische Verfahren

Methoden	Prinzip
drucklos verfüllend wirkende Injektion	kapillares Saugen
drucklos hydrophobierend wirkende Injektion	kapillares Saugen
Druckinjektion bis 10 bar (Niederdruck)	äußere Drücke
Druckinjektion bei 10 bis 100 bar (Hochdruck)	äußere Drücke

- elektrische Verfahren

Methoden	Prinzip
aktive Elektro-Osmose	elektrophysikalisch
passive Elektro-Osmose	elektrophysikalisch

Zur Gruppe der mechanischen Verfahren gehören sowohl die eingeschlagenen Sperrschichten wie auch das Aufsägen des Mauerwerks.

Bei den **eingeschlagenen Sperrschichten** handelt es sich um ein Verfahren, bei dem Stahlplatten durch Pressluftschläger mit einer Schlagfrequenz von 1100 bis 1450 Schlägen pro Minute durch die Mauerwerksfuge getrieben werden. Hierdurch soll ein Durchtrennen der Kapillare erreicht werden, wodurch eine neue Sperrschicht entsteht. Zum Abschluss werden beide Seiten der angebrachten Sperre verputzt.

Das **Sägeverfahren** kommt bei den Gebäuden zum Einsatz, die für das Einschlagverfahren ungeeignet sind, sei es wegen ihres Materials (z. B. Bruchstein) oder wegen ihrer Wandstärken. Wenn das Sägeverfahren zur Anwendung kommt, wird das Mauerwerk in Segmenten horizontal in der gewünschten Höhe mit einer Schwert- oder Seilsäge durchtrennt. Hierbei ist zu beachten, dass die Segmentgrößen nur von einem Statiker festgelegt werden, damit die Standsicherheit zu jedem Zeitpunkt gewährleistet ist. Nach der Durchtrennung werden entweder metallische Platten oder Folien und Papplagen eingebaut.

Am Ende wird die Fuge wieder mit Mörtel verschlossen, wobei darauf zu achten ist, dass dies kraftschlüssig geschieht, um ein nachträgliches Absetzen des Mauerwerks zu unterbinden.

Durch die **Injektionsabdichtung** soll eine möglichst durchgehende Schicht des Baukörpers wasserundurchlässig gemacht werden.

Bei der Injektionsabdichtung wird primär zwischen dem drucklosen Verfahren und der Druckinjektion unterschieden.

Das **drucklose Injektionsverfahren** gliedert sich in das Gießverfahren und das Kartuschen-Verfahren. Für beide Verfahren werden Löcher mit definierter Größe und Schräge in das Mauerwerk gebohrt, wobei ein Restabstand von ca. 5 cm zum Mauerende hin belassen wird. Nach der Bohrung sind die Löcher mit Wasser oder Pressluft zu reinigen, damit eine Verstopfung der Poren ausgeschlossen werden kann. Sollte man unerwartet auf Hohlräume treffen, so werden diese mit einem so genannten Bohrlochschlamm verfüllt. Hierzu wird der dünnflüssige Mörtel in das Bohrloch hineingedrückt und nach ca. einer halben Stunde (bevor die Masse erhärtet ist) wird das Loch erneut frei gebohrt.

Beim Gießverfahren wird nun das verwendete Abdichtungsmaterial mit einer Gießkanne bzw. über Trichter eingefüllt, bis eine Sättigung des Mauerwerks erreicht ist.

Im Gegensatz dazu verwendet man bei den Kartuschen-Verfahren, wie es der Name schon sagt, Kartuschen. Hierdurch ergeben sich einige Vorteile, da sich die Kartuschen selbst entleeren und zudem die Bohrlochgröße erheblich geringer ist. Die Verarbeitung des Abdichtmaterials ist sehr viel sauberer und frei von Verlusten. Nach Beendigung der Arbeiten werden die Bohrlöcher mit Bohrlochschlamm verschlossen.

Auch bei dem **Injektionsverfahren unter Druck** werden, genau wie beim drucklosen Verfahren, Bohrlöcher mit bestimmtem Abstand, bestimmter Größe und Schräge gebohrt. Nach der entsprechenden Reinigung werden die Löcher mit Injektionsdübeln versehen, in die dann die Injektionsflüssigkeit mit einem Druck zwischen 0,5 bis 100 bar eingebracht wird. Hierbei ist für die Effektivität die Dauer des Verfahrens in Verbindung mit dem vorhandenen Druck und der Kapillarstruktur des Baustoffes entscheidend.

Das **elektrophysikalische Verfahren**, zu dem die Elektro-Osmose gehört, basiert auf der Erkenntnis, dass sich Wasser in einem elektrischen Feld zum Minuspol hin bewegt.

Durch die entsprechende Technik kann man diesen an die Außenwand legen, wo das Wasser ungehindert verdunsten kann. Bei diesem Verfahren ist jedoch

zu beachten, dass Metallbauteile, Mauerversalzungen und andere Dinge erhebliche Störfaktoren darstellen können.

Die Wirksamkeit von elektrophysikalischen Verfahren, vor allem bei der passiven Methode, ist nicht unumstritten und auch von anerkannten Fachleuten aus dem Bereich der Bausanierung nur mit Zurückhaltung beschrieben [Böhn01, Venz01].

Kostenvergleich

Da auch die wirtschaftlichen Aspekte für oder gegen den Erfolg eines Abdichtungssystems sprechen, wurden die ungefähren Kosten für die unterschiedlichen Verfahren zusammengestellt. In Tabelle 2.1 sind die Kosten für das jeweilige Verfahren je m²-Wandeinheit gegenübergestellt:

Tabelle 2.1
Übersicht der Kosten
unterschiedlicher
Verfahren [Böhn01]

WGF:
Wandgrundfläche

Maßnahme	Einheit	Kosten in Euro (inkl. MwSt.)	
		von	bis
Mauertrennung von Hand	m ² WGF	500,00	690,00
Mauertrennung im Sägeverfahren	m ² WGF	300,00	500,00
Einrammen von Edelstahlblechen	m ² WGF	400,00	450,00
Injektionsverfahren drucklos	m ² WGF	220,00	375,00
Injektionsverfahren mit Druck	m ² WGF	260,00	410,00
Elektrophysikalische Anlage	Stück	6.000,00	15.0000,00

Aus Tabelle 2.1 ist zu erkennen, dass die Injektionsverfahren tendenziell etwas preiswerter sind als die mauertrennenden Verfahren.

Die Mauertrennverfahren liegen im Mittel bei ca. 500,00 Euro je m² Wandgrundfläche. Hingegen sind die Injektionsverfahren mit im Mittel ca. 315,00 Euro je m²-Wandgrundfläche um fast 40 % günstiger.

2.4 Ermittlung technischer Daten

Nach der Fokussierung auf die Wandmaterialien Ziegel und Kalksandstein (s. Kapitel 2.1) wurde die Ermittlung der technischen Daten gestartet.

Neben den technischen Datenblättern der Hersteller wurden hier weiterführende Messungen durchgeführt. Diese betreffen insbesondere die Mate-

rialdichte (Gaspyknometer), die Flüssigkeitsaufnahme (freie Quellung in Wasser) und Porengrößenbestimmung (Quecksilber- porosimetrie).

Die Ergebnisse sind im Rahmen der Entwicklung des Abdichtungsmaterials und der Applikationstechnik (s. Kapitel 4 bis 5) eingeflossen.

3 Konzeption und Bau von Versuchsmodellen

3.1 Recherche vorhandener Technologien

Die vorliegenden Arbeiten zur Hydrophobierung und nachträglichen Abdichtung von Mauerwerk [Meie03, Peus05, Raup02, Sass98, Schm91, Venz05] wurden ausgewertet.

In Richtung der in diesem Vorhaben geplanten Labormodelle (Kleinmodell, Acrylglas – Studium der Polymerausbreitung) fanden sich keine Arbeiten. Mit der Modellkonzeption, -entwicklung und -fertigung wurde somit Neuland betreten.

In Richtung der in diesem Vorhaben geplanten Modelle im Technikumsmaßstab lagen Forschungsarbeiten vor. Die Arbeitsgruppen führten die Untersuchungen an gemauerten Ziegelverbänden durch. Die Detektion der Mauerfeuchtigkeit erfolgte über

- gravimetrische Methoden [Sass98],
- Benetzungswinkelmessungen [Venz05] und
- elektronische Verfahren (Mikrowelle) [Peus05]

Für das vorliegende Projekt ist die Benetzungswinkelmethode nicht geeignet, da keine Hydrophobierung des Mauerwerks erfolgt. Die Analyse der Feuchtigkeit erfolgte daher vornehmlich über gravimetrische und elektronische Methoden erfolgen.

3.2 Konzeption und Bau von Versuchsmodellen

Es wurden drei Labormodelle konzipiert und gefertigt.

Das Modell »Kapillare« (Konstruktionszeichnung s. Anlage) diente zum Studium des Ausbreitungsverhaltens der Polymergranulate bei Vorhandensein von geometrisch definierten Poren bzw. Kanälen.

Das Modell »Schüttung« (s. Bild 3.1) wurde zur Untersuchung des Flüssigkeitssperr- und des Selbstinjektionsverhaltens der Polymergranulate in unterschiedlichen Schüttungen eingesetzt. Dazu kann das Modell (Abmessungen: $H \times B \times T = 45 \times 30 \times 10 \text{ cm}$) mit unterschiedlichen Materialien befüllt und anschließend definiert befeuchtet werden (s. auch Kapitel 4.1).

Bild 3.1
Versuchmodell
»Schüttung«

links:
Gesamtmodell

rechts:
einzelne
Komponenten

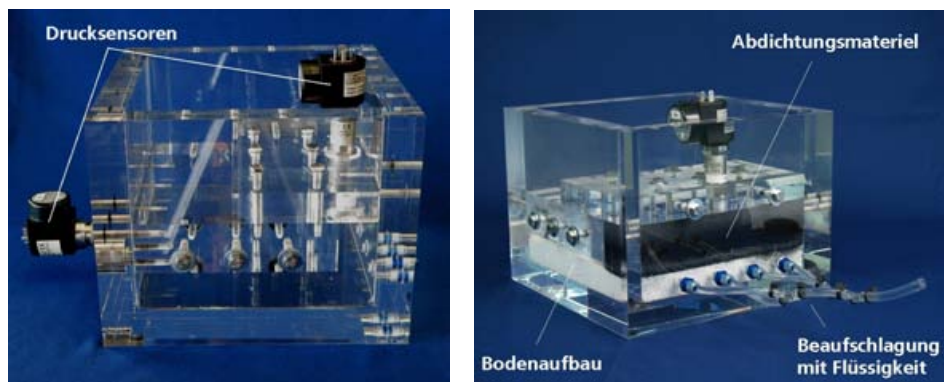


Das Modell »Wand-/Bodenanschluss« (s. Bild 3.2) diente zur Untersuchung des Flüssigkeitssperr- und Selbstinjektionsverhaltens des Abdichtungsmaterials im Bereich des Wand-/Bodenanschlusses. Das Modell (Abmessungen: L x B x H = 30 x 30 x 30 cm) ermöglicht unter Verwendung unterschiedlicher Bodenaufbauten eine Überprüfung der Wirkungsweise des Abdichtungsmaterials (Verpressung) und, über zwei Drucksensoren, die Analyse der bei Quellung und Verpressung des Abdichtungsmaterials induzierten Drücke. Dies ermöglicht letztendlich die Auslegung der für die Abdichtungsmaßnahmen erforderlichen Systemkomponenten (Abdeckung des Fugenbereichs, Materialmengen etc.).

Bild 3.2
Versuchmodell
»Wand-/Boden-
anschluss«

links:
Grundzustand

rechts:
nach Montage des
Bodenaufbaus
und des Abdichtungs-
materials



Beim Bau der Technikumsmodelle wurde zunächst ein in [Venz05] beschriebener Versuchskörperaufbau gewählt (s. Bild 3.3). Das Modell besteht aus 3 Schichten zu je 2 Ziegeln (Ziegel aus Rückbaumaßnahmen, Alter ca. 100 Jahre). Die Fugendicke beträgt ca. 1,2 cm. Das Gesamtvolumen des Versuchskörpers beträgt ca. 0,015 cm³.

An diesem Modell wurden das Wirkungsverhalten des Abdichtungsmaterials untersucht und die Methoden zur Applikationstechnik entwickelt.

Bild 3.3
Versuchmodell
»Mauerblock«



Aus Rückbaumaßnahmen konnten komplett erhaltene Mauersegmente (Ziegel, Kalksandstein, Naturstein) beschafft werden, die zum Teil ein Alter von ca. 100 Jahren aufwiesen. Aus diesen Mauersegmenten (Abmessungen: L x H x B = 100 x 80 x 30-50 cm) wurden Modelle aufgebaut (s. Bild 3.4), an denen die Ausbreitungswirkung des Materials, die Applikationstechnik und die Gesamtfunktionalität des Systems unter unterschiedlichen Belastungssituationen getestet wurden.

Bild 3.4
Versuchmodell
»Original-Mauwerk«



3.3 Praxisobjekte

Mit Start des Vorhabens wurde ein Informationsblatt zum Vorhaben erstellt. Es wurde ein Rundschreiben formuliert und zusammen mit der Kurzfassung an 60 Unternehmen der Bau- und Immobilienbranche (Standort: NRW) versendet.

Auf die Mailing-Aktion erfolgten im Verlauf der Projektlaufzeit entsprechende Rückmeldung. Insgesamt 15 Kontakte führten zu konkreten Gesprächen bzw. zur Verfügungstellung von Materialien.

Die potenziellen Praxisobjekte wurden zunächst begutachtet. Es wurden anschließend insgesamt 8 Projekte ausgewählt:

- 5 Objekte mit Ziegelmauerwerk (Baujahr 1912 bis 1958)
- 2 Objekte mit Kalksandstein (Baujahr 1958 bis 1969)
- 1 Objekt mit Naturstein (Baujahr 1894)

An diesen Projekten wurden mit der entwickelten Technologie (s. Kapitel 4 bis 5) Abdichtungsmaßnahmen durchgeführt.

Es wurden zunächst vor Ort Prüfungen der Bausubstanz, der Lage der Objekte (Hanglage, Grundwasserspiegelhöhe), Funktion der Vertikalsperre der Außenwände (falls möglich) und des Gebäudezustands durchgeführt. Die Feuchtigkeitsgehalte der Wände wurden gemessen und dokumentiert. Die ausgesuchten Objekte wiesen entweder Streifenfundamente aus Beton oder gemauerte 1-Meter-Fundamente auf. Unter dem Kellerestrich befanden sich unterschiedliche Bodenverfestigungen aus:

- Stampfbeton,
- Sand,
- Hochofenschlacke und
- Lehm-/Steingemische.

Zu Beginn der Arbeiten wurden Putz sowie loses Fugenmaterial entfernt. Anschließend wurden entsprechend der entwickelten Technologie Bohrungen gesetzt und das Abdichtungsmaterial eingebracht. Nach 1 bis 2 Stunden Beobachtungszeit wurden die offenen Fugen mit einem Salzspeicherputz-System verschlossen. Der Zeitaufwand zur Realisierung von einem Meter fertig bearbeiteter Wand kann, auf Basis der durchgeführten Projekte, mit ca. 30 bis 60 Minuten angesetzt werden.

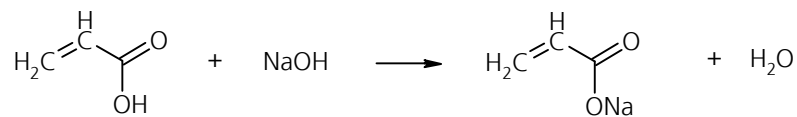
Nach der Fertigstellung der Arbeiten wurde jedes Objekt in einem 14-tägigen Turnus nachgemessen. Dazu wurden 16 Messpunkte pro m² verwendet und pro Objekt ca. 4 Laufmeter Wand vermessen. Das Trocknungsverhalten der Wände entsprach weitgehend dem an den Wandmodellen (s. Kapitel 5)

ermittelten Verhalten. Im Verlauf der jeweils 14-tägigen Messungen war eine Abnahme der Feuchte um jeweils ca. 12 bis 14 % detektierbar. Die Schwankungen lagen, je nach Objekt und Baustoff, im Bereich von 3 bis 5 % pro Messwert. Nach ca. 3 bis 4 Monaten führten die Maßnahmen zu trockenen Gebäudewänden.

4 Herstellung des Abdichtungsmaterials und Charakterisierung

Die Herstellung des Abdichtungsmaterials erfolgte auf Basis von Polyacrylaten. Ausgangsstoff zur Herstellung der Polyacrylate war die Acrylsäure, die vor dem Start der radikalischen Polymerisation mit Natriumhydroxid teilneutralisiert wurde (s. Bild 4.1).

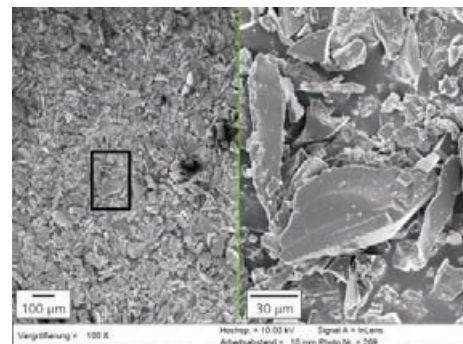
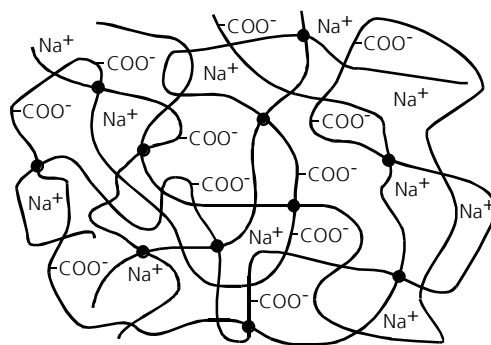
Bild 4.1
Neutralisation der
Acrylsäure



Anschließend erfolgt eine Polymerisation, in der die Monomere mit einem Vernetzermolekül in wässriger Lösung zu einem dreidimensional vernetzten Makromolekül polymerisiert werden (s. Bild 4.2, links). Das durch die Polymerisation erhaltene Polyacrylatgel wurde getrocknet und anschließend feinkörnig aufgemahlen. Das nun vorliegende trockene Polyacrylat-Granulat stellte die Basis des Abdichtungsmaterials dar. Es wurden zunächst Korngrößen von $< 100 \mu\text{m}$ realisiert. Die erhaltenen Polymergranulate zeigen scharfe Bruchkanten und waren porenfrei (s. Bild 4.2, rechts), was flankierend durch Quecksilberporositätsmessungen nachgewiesen wurde.

Bild 4.2
links:
schematische
Darstellung eines
Polyacrylatnetzwerks

rechts:
REM-Aufnahme
eines Polymer-
granulats



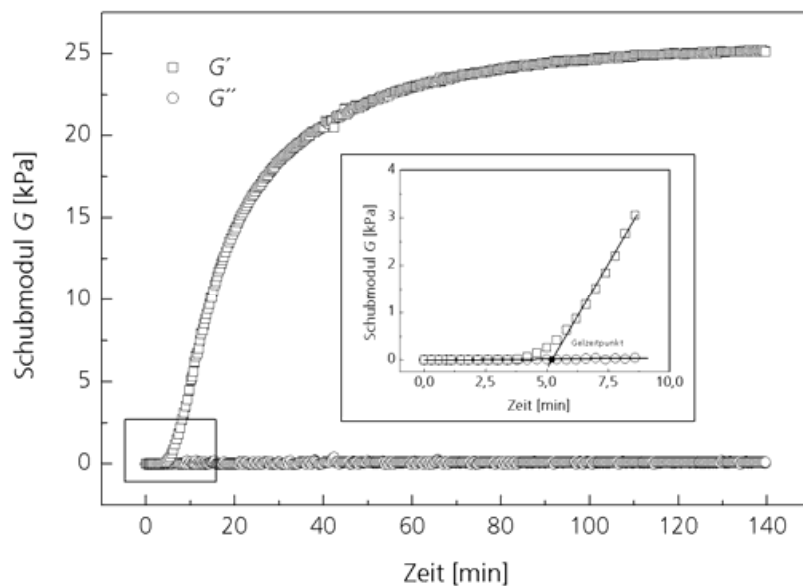
Es wurden Materialien mit unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung hergestellt. Zielstellung war die Anpassung der Festigkeit bzw. der Fließfähigkeit auf die im Baustoff vorliegende Porenstruktur.

Die Gelfestigkeiten wurden mit einem Rotationsrheometer über eine Oszillationsmessung ermittelt. Bild 4.3 zeigt exemplarisch die Verläufe der Schubmo-

dule (Speicher- und Verlustmodule) während der Polymerisationsreaktion eines Gelsystems. Die Endwerte der Module charakterisieren die Werte für das auspolymerisierte Gel.

Alle synthetisierten Gele zeigten ein nahezu vollelastisches Verhalten. Hohe Monomerkonzentrationen und hohe Vernetzeranteile führten durch die bei der Synthese erzielten hohen Konzentrationen an Vernetzungsstellen zu entsprechend hohen Werten des elastischen Moduls G' . Bei steigendem Neutralisationsgrad war eine Verringerung des elastischen Moduls festzustellen. Die gemessenen elastischen Module lagen im Bereich von 1,8 bis 40,0 kPa.

Bild 4.3
Verfolgung der
Gelpolymerisation
durch eine Oszilla-
tionsmessung



Hinsichtlich der physikalischen Eigenschaften wurden der Partikeldurchmesser der Granulate und die Rohdichte der Polymergranulate bestimmt. Die mit dem durchgeführten Zerkleinerungs- und Fraktionierungsverfahren angestrebten Partikelgrößenbereiche ($< 100 \mu\text{m}$, 100 bis $300 \mu\text{m}$ und 300 bis $500 \mu\text{m}$) wurden erzielt. Bei den Ergebnissen der Dichteuntersuchung zeigte sich eine Abhängigkeit der Dichte vom Neutralisationsgrad der Polymere. Die Dichte der Polymerpartikel lag im Bereich von $1,44$ bis $1,68 \text{ g cm}^{-3}$.

Die an den Polymergranulaten durchgeführten Untersuchungen zur freien Quellung (Free Swelling Capacity – FSC-Wert) führten zu Gleichgewichtsquellungsgraden im Bereich von 23 bis 400 . Das Quellungsgleichgewicht war bei allen Proben innerhalb von wenigen Minuten erreicht. Die Verringerung der Monomerkonzentration und des Vernetzeranteils führte zu einer Erhöhung des Quellungsgrads. Im untersuchten Parameterbereich zeigte hierbei die Variation

des Vernetzeranteils die stärksten Effekte. Bei Erhöhung des Neutralisationsgrads war eine Erhöhung des Quellungsgrads festzustellen. Ein Einfluss der Partikelgröße auf den Gleichgewichtsquellungsgrad konnte nicht ermittelt werden. Die den Quellungsgrad beeinflussenden Parameter zeigten bei Quellung in einer wässrigen Natriumchlorid-Lösung (NaCl-Konzentration: 0,9 Gew.-%) weniger Auswirkung. Der Gleichgewichtsquellungsgrad der Hydrogele lag hier im Bereich von 10 bis 62.

Die Bestimmung des Quellungsdrucks erfolgt nach der Methode der Quellung bei vorgegebenem Volumen an dem in Bild 4.4 dargestellten Versuchsstand mit den in Bild 4.5 dargestellten Quellungsdruckkammern.

Bild 4.4
Versuchsstand zur
Bestimmung des
Quellungsdrucks

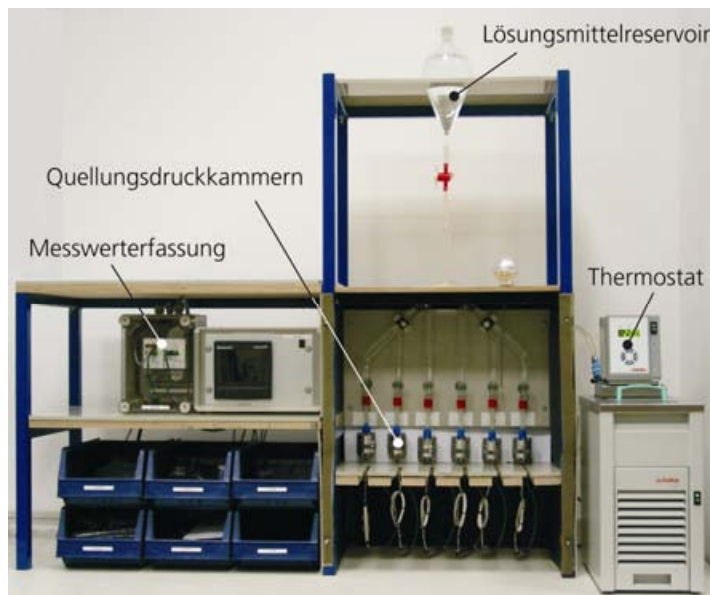
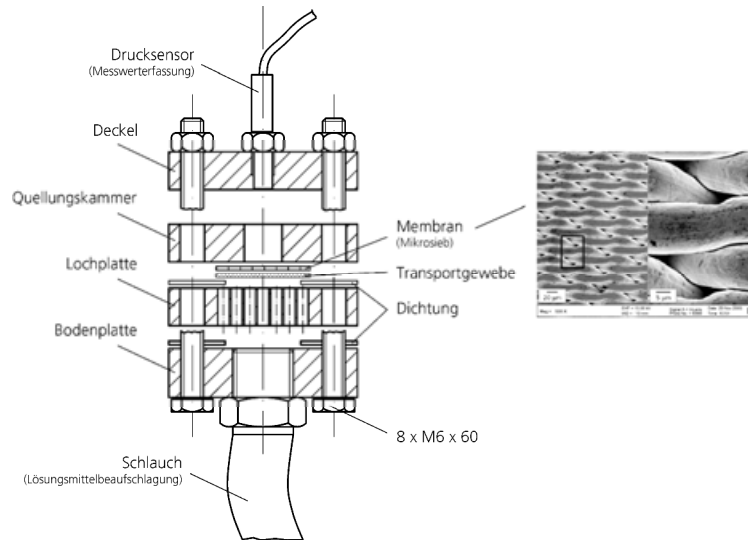
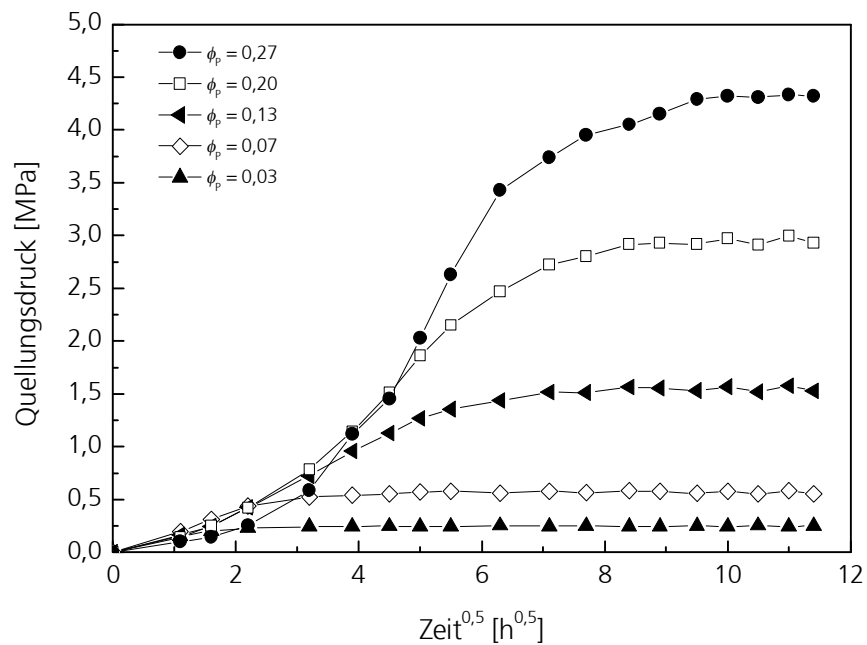


Bild 4.5
Konstruktion der
Quellungsdruck-
kammern



Im Gleichgewicht der Quellung zeigten die untersuchten Hydrogele in Abhängigkeit vom Polymervolumenanteil Quellungsdrücke im Bereich von $7,00 \cdot 10^{-3}$ bis $4,23 \text{ MPa}$ ($0,07$ bis $42,3 \text{ bar}$). In Bild 4.6 ist exemplarisch das Ergebnis einer Quellungsdruckmessung für unterschiedliche Polymervolumenanteile in der Quellungskammer dargestellt.

Bild 4.6
Quellungsdruck in
Abhängigkeit der
Zeit für unterschied-
liche Polymervolu-
menanteile in der
Quellungskammer



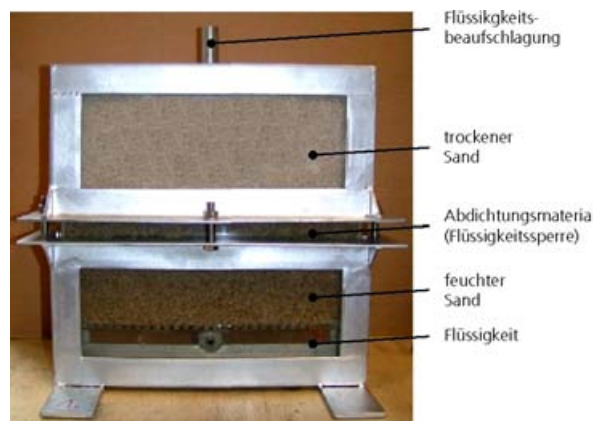
Ein Einfluss der Monomerkonzentration und des Vernetzeranteils auf den Quellungsdruck wurde nicht gefunden. Der Neutralisationsgrad beeinflusste den sich ausbildenden Quellungsdruck signifikant. Bei Erhöhung des Neutralisationsgrads war eine Erhöhung des Quellungsdrucks festzustellen.

4.1 Materialanalyse im Modellversuch

Das Modell »Kapillare« konnte nur bedingt zur Analyse des Ausbreitungsverhaltens eingesetzt werden. Das transparente Gel war in den Kapillaren nur schwer nachweisbar. Versuche zur Einfärbung des Gels wurden durchgeführt, erwiesen sich aber nicht als zielführend. Im Verlauf der Projektlaufzeit zeigte sich, dass die Untersuchungen an den übrigen Modellen (s. Kapitel 3.2) ausreichend Datenmaterial lieferten, so dass der Betrieb des Modells »Kapillare« nicht weiter verfolgt wurde.

Im Modell »Schüttung« wurde bis zu einer definierten Höhe eine Quarzsandschüttung aufgebaut. Diese wurde mit einer dünnen Schicht Polymergranulat überdeckt. Anschließend wurde der Versuchskörper komplett mit Quarzsand aufgefüllt und über einen Flüssigkeitszulauf mit Wasser beaufschlagt. Die im Sand eingebrachte Sperrschicht aus Abdichtungsmaterial verhinderte entsprechend der Projektidee die Ausbreitung des beaufschlagten Wassers (s. Bild 4.7).

Bild 4.7
Versuch zur
Wirkungsweise des
Polymergranulats am
Versuchsmodell
»Schüttung«



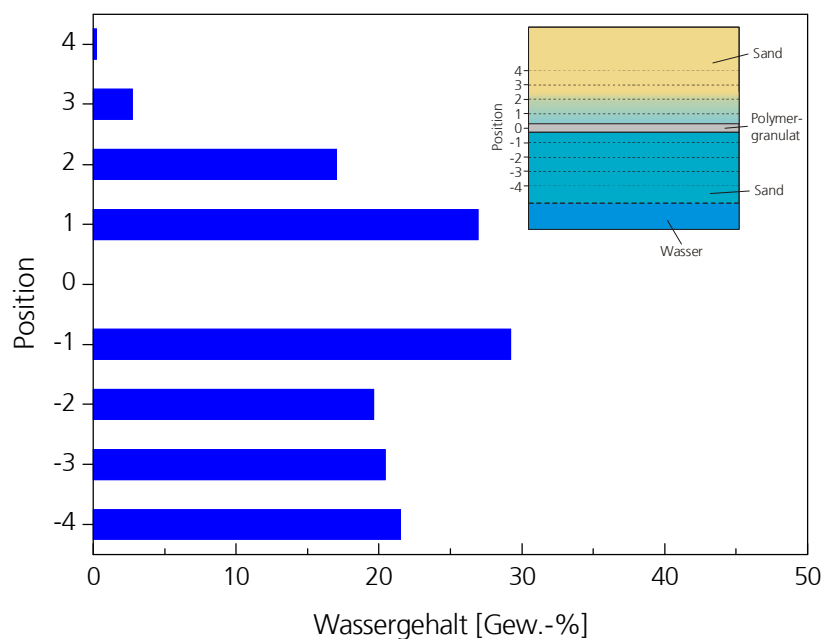
Die quantitative Auswertung der Versuche erfolgte anhand der im Sand vorliegenden Feuchte. Die Ausbreitung des Abdichtungsmaterials wurde durch schichtweisen Abtrag der Sandschüttung ausgewertet. Diese Versuchsmethodik konnte erfolgreich zur Analyse der Wirkungsweise des Abdichtungsmaterials etabliert werden. Das jeweilige Sand-Abdichtungsmaterial-Gemisch wurde dazu nach Entnahme aus dem Modell mit einer definierten Menge an Wasser

versetzt und der Sand vom Abdichtungsmaterial mittels Sedimentation getrennt. Durch vorhergehende Sedimentationsanalysen (Kalibrierung) mit Sand-Abdichtungsmaterial-Gemischen, deren Mischungsverhältnisse »trockener Sand zu trockenem Abdichtungsmaterial« gezielt eingestellt wurden, war eine quantitative Analyse der Sedimentation möglich.

In Bild 4.8 ist exemplarisch das Ergebnis eines Versuchs dargestellt. Es ist der Wassergehalt der Sandschüttung in Abhängigkeit der Position in der Schüttung dargestellt. Die qualitativ beobachtete Sperrwirkung des Abdichtungsmaterials konnte mit den Untersuchungen am Modell »Schüttung« quantifiziert werden. Oberhalb der Polymerschicht sinkt der Wassergehalt der Schüttung schnell ab. Ab Position 4 (entspricht 40 mm oberhalb Position 0) ist keine Feuchte mehr nachweisbar.

Das Modell wurde im Rahmen der Projektbearbeitung dazu genutzt, Abdichtungsmaterialien mit unterschiedlichen Korngrößen hinsichtlich ihrer Sperrwirkung zu analysieren. In Wechselwirkung mit den Arbeiten zur Applikationstechnik wurden zudem unterschiedliche Konfektionierungen (Granulat und Pasten) untersucht.

Bild 4.8
Wassergehalt im Sand in Abhängigkeit der Position in der Schüttung



4.2 Modellbildung

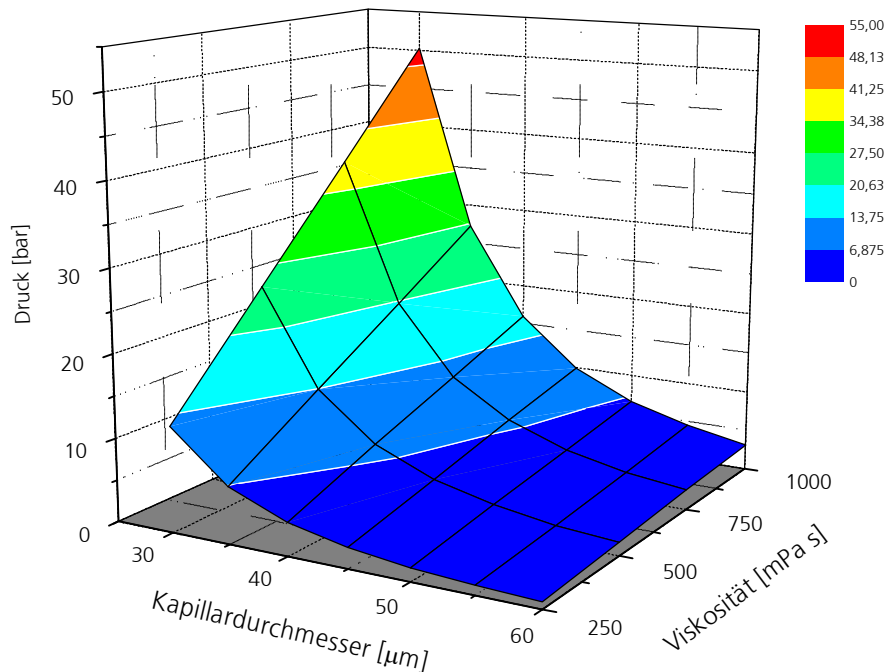
Es wurde eine Literatursichtung durchgeführt und Erkenntnisse zur Durchfeuchtung und Hydrophobierung von Baustoffen zusammengetragen. Ergebnisse zur Quellungsdruckuntersuchung von superabsorbierenden Polymeren (Fraunhofer UMSICHT) ergänzten diese Erkenntnisse.

Auf Basis der erhaltenen Ergebnisse und der Literaturrecherche wurden Modellrechnungen durchgeführt und die Wirkungsweise des Systems, insbesondere die Verpressung und Ausbreitung des Abdichtungsmaterials im Baustoff, untersucht. Die Berechnungen des notwendigen Verpressungsdrucks (Quellungsdruck) wurden auf Basis des Gesetzes von Hagen-Poiseulle (s. Gleichung (1)) durchgeführt.

$$\mu = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \dot{V} l} \quad (1)$$

Demnach kann die Viskosität η für eine laminare Rohrströmung (\dot{V}) in einer Kapillare (Länge l , Radius r) aus der Messung der Druckdifferenz Δp an den Kapillarenden bestimmt werden [Beit95]. Es wird im vorliegenden Fall die Annahme getroffen, dass die im Mauerwerk vorhandenen Risse als Kapillaren mit kreisförmigem Querschnitt und definierter Länge betrachtet werden können. Wird Gleichung (1) nach dem Druck umgeformt, kann dieser in Abhängigkeit der übrigen Parameter bestimmt werden. In Bild 4.9 ist exemplarisch das Ergebnis der Druckberechnung in Abhängigkeit des Kapillardurchmessers und der Viskosität des Abdichtungsmaterials bei vorgegebener Kapillarlänge (10 mm) und vorgegebenem Volumenstrom (0,01 ml s⁻¹) dargestellt.

Bild 4.9
 Notwendiger
 Verpressungsdruck
 (Quellungsdruck) in
 Abhängigkeit des
 Kapillardurchmessers
 und der Viskosität
 bei vorgegebener
 Kapillarlänge und
 vorgegebenem
 Volumenstrom

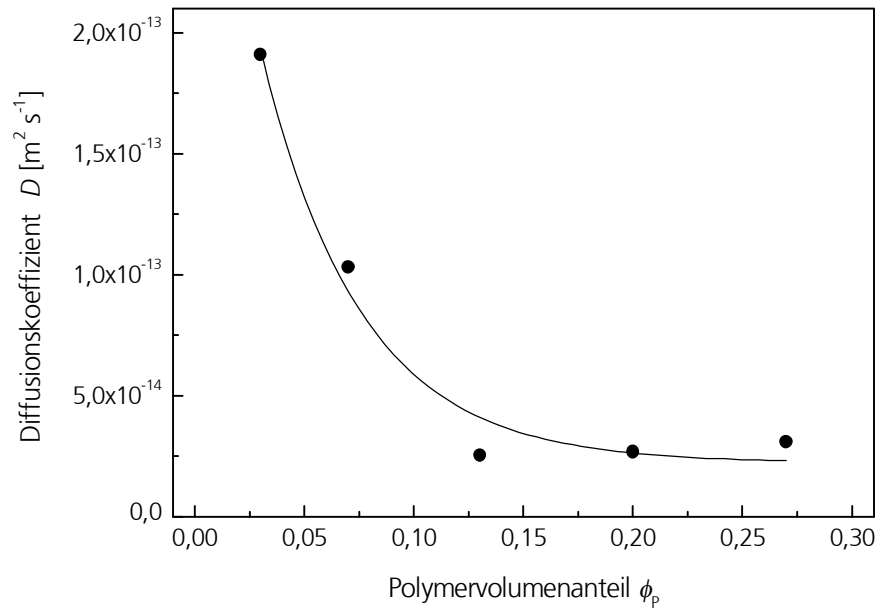


Für kleine Kapillardurchmesser und hohe Viskositäten liegt der notwendige Verpressungsdruck (Quellungsdruck) bei hohen Werten im Bereich von 40 bis 50 bar. Für den gesamten Viskositätsbereich (dieser deckt dickflüssige bis pastöse Materialien ab) ergeben sich ab Kapillardurchmessern von 50 µm praxisrelevante Verpressungsdrücke im Bereich kleiner 10 bar. Größere Drücke sollten nicht verwendet werden, da diese zu Schädigungen des Wandmaterials führen können.

Neben der Verteilung des Abdichtungsmaterials im Baustoff ist auch die Sperrwirkung des Abdichtungsmaterials von Bedeutung. Diese Sperrwirkung wird über Mechanismen des sogenannten Gelblockings erzielt und kann über ein Gelblockingmodell quantifiziert werden [Wack07]. Durch das Modell können die kombinierten Diffusionskoeffizienten für Wasser in das Abdichtungsmaterial und die einhergehende Polymerkettenrelaxation bestimmt werden.

In Bild 4.10 sind exemplarisch die auf Basis des Gelblockingmodells berechneten kombinierten Diffusionskoeffizienten für den Stofftransport in Abhängigkeit des Polymervolumenanteils im Abdichtungsmaterial dargestellt.

Bild 4.10
Kombinierte
Diffusionskoeffi-
zienten für den
Transport von
Wasser in das
Abdichtungsmaterial
und die einher-
gehende Poly-
merkettenrelaxation



Es ergaben sich insgesamt Diffusionskoeffizienten im Wertebereich von $1,5 \cdot 10^{-15}$ bis $2,0 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Diese Werte liegen im Bereich der Festkörperdiffusion ($1 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$) [Falb90] und belegen somit, dass die Sperrwirkung des Abdichtungsmaterials zur Realisierung einer wirksamen Horizontalsperre geeignet ist.

5 Versuchsbetrieb Technikum und Entwicklung der Applikationstechnik

Der Versuchsbetrieb im Technikumsmaßstab wurde zunächst an einzelnen Steinproben gestartet. Hinsichtlich der Applikationstechnik wurden Bohrungen (Durchmesser 14 mm) in die Materialien eingebracht, mit trockenem Abdichtungsmaterial (Polymergranulat) befüllt und mit einem Bohrpacker verschlossen. Die Materialien wurden anschließend durch Lagerung in Wasser durchfeuchtet und die Ausbreitung des Abdichtungsmaterials qualitativ beurteilt. Die Versuche zeigten, dass das pulverförmige Material nicht in der Lage ist, in die Poren des Steins einzudringen. Wie Quecksilberintrusionsmessungen zeigten, haben die Porenkanäle des Ziegels Abmessungen von wenigen Mikrometern bis hin in den Bereich von Nanometern. Eine Verteilung des Abdichtungsmaterials ist daher nur bei extrem hohen Quellungsdrücken zu erwarten (s. Kapitel 4.2). Werden diese eingestellt, ist jedoch eine mechanische Zerstörung des Steins wahrscheinlich.

Die Versuche wurden anschließend auf die Mauerblöcke ausgeweitet. An diesen Modellen konnte eine Verteilung des Abdichtungsmaterials nachgewiesen werden. In einem Zeitraum von wenigen Tagen, verpresste sich das Material und trat an im Mauerblock vorhandenen Fehlstellen (Kanäle entlang der Grenzschicht Mörtel/Ziegel) aus dem Block heraus (s. Bild 5.1). Das nach Versuchsende durchgeführte schichtweise Zerlegen der Mauerblöcke erbrachte weitere Informationen zur Ausbreitung des Materials.

Bild 5.1
Verpressung des
Abdichtungsmaterials im Versuch
am Mauerblockmodell



An den Mauermodellen wurden zudem die für die Entwicklung der Applikationstechnik wichtigen Versuche durchgeführt. Es wurden unterschiedliche Applikationsmethoden für Pulver (Eindüsung per Luft, Applikation in wasser-durchlässigen Beutel etc.) realisiert, die jedoch, insbesondere unter den As-

pekten der auf den Baustellen vorliegenden Randbedingungen, nicht zielführend waren. In Form einer iterativen Vorgehensweise wurden das Abdichtungsmaterial und die Applikationstechnik, aufbauend auf den Versuchen und der einhergehenden Charakterisierung, weiterentwickelt.

Das Ergebnis dieser Arbeiten ist ein Abdichtungsmaterial in Pastenform. Hierzu wird das hergestellte Polymergranulat mit einer definierten Menge an Wasser in Kontakt gebracht, vermischt und so definiert vorgequollen. Das so in Pastenform erhaltene Abdichtungsmaterial kann in Kartuschenform (Handkartuschenpistole, s. Bild 5.2) bzw. per Fußpresse angewendet und somit ohne großen Aufwand auf der Baustelle verarbeitet werden.

Bild 5.2
Applikation des
Abdichtungs-
materials in
Kartuschenform



Es hat sich weiterhin gezeigt, dass das Material mit einer Fußpresse durch einen Bohrpacker direkt in das Bohrloch eingepresst werden kann und somit bereits eine optimale Verteilung des Abdichtungsmaterials erzielt wird. Materialmengen von 200 bis 350 ml pro Bohrkanal führten hier zu optimalen Ergebnissen. Gleichzeitig führte diese Vorgehensweise zu einem optimalen Verschluss des Bohrlochs (Quellungsdruckgegenlager), da der Bohrpacker vor der Applikation des Abdichtungsmaterials optimal und bei sauberen Bohrlochflanken eingebaut werden kann.

Auf Basis der Ergebnisse der Versuche am Mauerblockmodell wurden die Versuche an den Originalmodellen und ergänzend am Wand-/Bodenanschluss-Modell gestartet. An den Modellen wurden weitere Tests zur Applikation des Abdichtungsmaterials und zur Methodenentwicklung der Materialeinbringung (Durchmesser der Bohrungen, Bohrungs raster, Bohrungstiefe etc.) durchgeführt. Die Ausbreitung des Abdichtungsmaterials wurde untersucht und das Abdichtungsmaterial hinsichtlich seiner Beschaffenheit optimiert. Die Abnahme der in den Wandmaterialien enthaltenen Feuchte wurde in Abhängigkeit der Zeit bestimmt. Es zeigten sich bereits nach wenigen Versuchstagen signifikante

Abnahmen der Feuchten. Nach 90 Tagen Versuchsbetrieb konnten Feuchteabnahmen von bis zu 85 % ermittelt werden.

Nach Abschluss der Untersuchungen an den Labor- und Technikumsmodellen lagen die notwendigen technischen Parameter sowie die erforderliche Zusammensetzung und Konfektionierung des Abdichtungsmaterials vor. Auf Basis dieser Kenntnisse wurde die Überführung der Technologie in die Praxis gestartet.

Die Ergebnisse der Praxisversuche werden in Kapitel 3.3 näher erläutert.

Literaturverzeichnis

- [Ans05a] Ansorge, D.
Bauwerksabdichtung gegen von außen und innen angreifende Feuchte.
Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2005
- [Ans05b] Ansorge, D.
Typische Mängel an Bauwerksabdichtungen – Schäden und Folgen.
WTA-Journal 4 (2005)
- [Beit95] Beitz, W.; Küttner, K. H. (Hersg.)
Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau
18. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1995
- [Böhn01] Böhnig, J.; Klug, C.
Kellerfeuchtigkeit in Altbauten vermindern.
Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW, Fachbuch F7, Aachen, 2001
- [Bund97a] Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau
3. Bericht über Schäden an Gebäuden.
Bundesanzeigerverlag, Bonn, 1997
- [Bund97b] Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau
Ermittlung von zeitgemäßen Normalherstellungskosten.
Bundesanzeigerverlag, Bonn, 1997
- [Bund94] Bundesverband der Kalksandsteinindustrie
Festschrift des Bundeverbandes der Kalksandsteinindustrie.
Hannover, 1994
- [Czie01] Cziesielski, E.
Lufsky Bauwerksabdichtung.
B. G. Teubner, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden, 5. Auflage, 2001
- [Desi06] DESICCA Gebäude-Trocknungssysteme
Bauweisen und Ausführungsdetails zu Ein- und Mehrfamilienhäuser.
www.desicca.de, Aschersleben, 2006
- [Deut02] Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau e. V.
Der Keller aus Mauerwerk.
2. Auflage, Berlin, 2002

- [Ditt95] Dittert, B.; Kremer, A.
Instandsetzungsbedarf am Wohnungsbaubestand in den alten Bundesländern.
Forschungsbericht, Institut für Stadt-, Regional- und Wohnungsforschung
GmbH, Hamburg, 1995
- [Falb90] Falbe, J.; Regitz, M.
Römpp Chemie Lexikon
Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 9. Aufl., 1990
- [Fix05] Fix, W.
Nachträgliche Abdichtung bei erdberührten Bauteilen.
WTA-Journal 4 (2005)
- [Frös01] Frössel, F.
Mauerwerkstrockenlegung und Kellersanierung.
Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2001
- [Gänß05] Gänßmantel, J.; Geburtig, G.
Nachhaltige Bausanierung durch Weiterverwendung vorhandener
Abdichtungen.
WTA-Journal 4 (2005)
- [Karl96] Karl, W.
Feuchtigkeitsblocker am Bau.
Instandhaltung April (1999)
- [Kirt99] Kirtschig, K.
Außenwände in Mauerwerk – Eine Übersicht über Baustoffe und
Wandaufbauten.
Detail 1 (1999)
- [Lesc99] Leschnik, W.
Feuchtemessung an Baustoffen – Zwischen Klassik und Moderne.
Feuchtetag 99, DGZfP-Berichtsband BB 69-CD, Berlin, 1999
- [Mart98] Martens, J.
Untersuchung zur Grundwasserkontaminationswirkung verschiedener
Injektionsmittel auf Acrylatbasis bei der Abdichtung im
Lockergesteinsbaugrund.
Dissertation, Universität Darmstadt, 1998

- [Meie03] Meier, S. J.; Wittmann F. H.
Einfluss einer Hydrophobierung auf Eigenschaften zementgebundener Werkstoffe.
Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege 9 (2003)
- [Pete01] Peter, N.
Lexikon der Bautechnik.
C. F. Müller Verlag, Heidelberg, 2001
- [Peus05] Peusch, A.; Trogisch, A.; Scheffler, S.
Indirektes Messverfahren zur Materialfeuchtebestimmung.
www.tab.de 5 (2005)
- [Raup02] Raupach, M.; Wolff, L.
Wirksamkeitsuntersuchungen chemischer Bohrlochinjektionsverfahren für die nachträgliche Abdichtung von Mauerwerk.
Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege 8 (2002)
- [Sass98] Sasse, H. R.; Pleyers, G.
Reduzierung von Mauerwerksfeuchte.
Forschungsbericht F496, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 1998
- [Schm91] Schmitz, H.; Böhning, J.; Goerdts-Hofacker, H.
Verminderung von Kellerfeuchtigkeit in Altbauten.
Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung, Aachen, 1991
- [Schm99] Schmidt, H.
Historische Bauwerksabdichtungen.
Bautechnik 76 (1999)
- [Venz01] Venzmer, H.
Mauerwerksfeuchtigkeit: Aufsteigende Feuchtigkeit in Ziegelmauerwerken.
FAS-Schriftenreihe, Verlag Bauwesen, Berlin, 2001
- [Venz05] Venzmer, H.; Lesynch, N.; Kots, L.
Prüfkonzept für die Bestimmung der Effizienz von Injektionsmittel-
Abdichtungen unter Laborbedingungen.
Mauerwerk 9 (2005)

- [Wack07] Wack, H.
Zum Quellungsdruck von polymeren Hydrogelen
UMSICHT-Schriftenreihe, Band 55, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2007
- [Wien06] Wienerberger AG
Die Geschichte des Ziegels.
www.wienerberger.at, Wien, 2006