

Jürgen Weber | Volker Hafkesbrink (Hrsg.)

Bauwerksabdichtung in der Altbausanierung

Jürgen Weber | Volker Hafkesbrink (Hrsg.)

# Bauwerksabdichtung in der Altbausanierung

Verfahren und juristische Betrachtungsweise  
2., überarbeitete und erweiterte Auflage

PRAXIS



Bibliografische Information Der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Weber, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger der  
HWK zu Leipzig

Email: [juergen.weber@svbuero-bau.de](mailto:juergen.weber@svbuero-bau.de)  
Internet: [www.svbuero-bau.de](http://www.svbuero-bau.de)

Volker Hafkesbrink, Rechtsanwalt mit Schwerpunkt Privates Baurecht und Architektenrecht, Leipzig

Email: [hafkesbrink@hafkesbrink-kuehne.de](mailto:hafkesbrink@hafkesbrink-kuehne.de)

#### DIN-NORMEN

Die Autoren haben im Rahmen der vollständigen Überarbeitung die bis zum Erscheinen gültigen  
Normen berücksichtigt. An Stellen, bei denen sich Neuerungen bereits terminlich abzeichnen, wurde  
darauf hingewiesen.

1. Auflage 2006
- 2., überarbeitete und erweiterte Auflage 2008

Alle Rechte vorbehalten

© Vieweg+Teubner Verlag | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2008

Lektorat: Dipl.-Ing. Ralf Harms | Sabine Koch

Der Vieweg+Teubner Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.  
[www.viewegteubner.de](http://www.viewegteubner.de)



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede  
Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne  
Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für  
Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung  
und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk  
berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im  
Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher  
von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: KünkelLopka Medienentwicklung, Heidelberg  
Druck und buchbinderische Verarbeitung: Strauss Offsetdruck, Mörlenbach  
Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.  
Printed in Germany

ISBN 978-3-8351-0198-2

## Vorwort zur 2. Auflage

Der Ansatz, technische und zivilrechtliche Aspekte gemeinsam darzustellen, hat guten Anklang gefunden. Das dürfte auch der Erkenntnis geschuldet sein, dass Planer wie ausführende Unternehmer in verstärktem Maße Entscheidungen und Abläufe einer auch rechtlichen Bewertung unterziehen müssen. Die 2. Auflage folgt daher zeitnah auf dem Fuße.

Konzept und Aufbau wurden beibehalten. Das Augenmerk der 2. Auflage richtet sich auf Vollständigkeit und Aktualisierung der technischen Inhalte. Zudem wurde der gestiegenen Aufmerksamkeit bezüglich der technischen Trocknung Rechnung getragen, da teilweise selbst bei Architekten und Bauingenieuren hierzu unrichtige Vorstellungen vorherrschen.

Der rechtliche Teil wurde um die Kapitel „Zahlungen im Bauvertrag“ und „Die vorzeitige Beendigung des Bauvertrags“ ergänzt, im Übrigen wurden für die Praxis wichtige Entscheidungen des Bundesgerichtshofs und von Oberlandesgerichten berücksichtigt.

*Volker Hafkesbrink, Jürgen Weber*

März 2008

## Vorwort

Die Bauwerkssanierung hat durch die Verlagerung der Bauaktivitäten in den Altbaubereich an wirtschaftlichem Gewicht gewonnen. Dieser Prozess wird sich mit Sicherheit fortsetzen. Parallel hierzu werden auch die Anforderungen an das Fachwissen der Architekten, der Ingenieure sowie der bauausführenden Unternehmen steigen. Diese können sich wegen planerischer Vorgaben von einer Haftung nur in Ausnahmefällen befreien.

Gerade bei der nachträglichen Bauwerksabdichtung von erdberührten Bauteilen entwickelt sich der Stand der Technik fortlaufend. Dabei ist die Zeit für den selbstständigen Planer knapp bemessen, um ständig den Überblick auf diesem Gebiet zu behalten oder gar Neuerungen ernsthaft zu beobachten. Genau dies verlangt aber die Rechtsprechung der Zivilgerichte sowohl von den Planern als auch von den ausführenden Unternehmen.

Das vorliegende Fachbuch soll vor allem dem Einzelnen oder den in kleinen Gruppen am Bau Beschäftigten die Grundlagen der Planung und Ausführung von nachträglichen Bauwerksabdichtungen im Rahmen der Bausanierung nahe bringen. Es soll eine baupraktische Hilfe darstellen, damit vermeidbare Fehler in der Bauwerkstrockenlegung nicht unbemerkt bleiben.

Wert wurde vor allem auf die kritische Betrachtung aller möglichen Abdichtungs- und Entfeuchtungstechniken gelegt. Selbst die sonst so stiefmütterlich in der Fachliteratur behandelten Techniken mit zumindest diskutierbarem physikalischen Hintergrund nehmen einen ausreichenden Platz ein. Durch die eigenen Erfahrungen der technischen Autoren, welche allesamt öffentlich bestellt und vereidigte Sachverständige auch auf dem Gebiet der Bauwerksabdichtung sind, ist das kritische Meinungsbild gegenüber allen Trockenlegungs- und Entfeuchtungsverfahren nicht nur von theoretischer Natur. Die langjährige praktische Arbeit als Sachverständige für private und gerichtliche Auftraggeber bilden den Hintergrund der Beurteilung.

Im deutschen Bauwesen zeichnet sich seit längerem die Entwicklung ab, dass technische Entscheidungen in der Planung und Ausführung immer stärker auch zu einer rechtlichen Bewertung führen. Dies beginnt bei der Frage, ob und inwieweit nun eine bestimmte Bauleistung Vertragsinhalt ist oder nicht. Hiermit eng verbunden ist natürlich das Problem der Baukosten. Zentraler „Kriegsschauplatz“ ist immer auch die Frage, inwieweit Sachmängelansprüche gegenüber den eingangs genannten Beteiligten im Zusammenhang mit Planung und Ausführung der Bauwerksabdichtung vorliegen.

Ein im wesentlichem technisch ausgebildeter Planer muss zwangsläufig davon ausgehen, dass sein Handeln immer einer juristischen Bewertung standhalten muss. Gleiches gilt natürlich auch für den Bauausführenden. Von daher widmet sich ein durchaus umfangreiches Kapitel rechtlichen Schwerpunkten. Der Leser ist somit in der Lage, das rechtliche Umfeld seines Handelns als Baubeteiligter grob einzuschätzen.

Die Fachautoren haben die manchmal recht schwierige Rechtslage dem Techniker einfühlsam versucht darzulegen und hoffen, dass dies gelungen ist.

Letztlich ist das Fachbuch ein „gewollter Zwitter“ zwischen der Darstellung regelmäßig angewandter, spezieller und teilweise diskutierter Bautechnik einerseits sowie der rechtlichen Klärung der Grundlagen von Handlungsweisen der am Bau Beschäftigten andererseits. Wenn der einzelne Leser durch Beachtung des Buchinhaltes eine technisch mangelfreie Planung und Ausführung seinem Auftraggeber abliefern kann und zudem mögliche Fallstricke der Rechtsanwendung erkennt- so hat das Buch seinen Sinn erfüllt.

*Jürgen Weber*

*Volker Hafkesbrink*

## **Autorenverzeichnis**

### **Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Weber**

1973-1975 Lehre als Säureschutzfacharbeiter, ab 1980 Studium in der Fachrichtung Hochbau und ab 1985 Studium der Technologie der Bauproduktion in Leipzig, ab 1990 selbstständig, ab 1993 öffentlich bestellt und vereidigter Sachverständiger der Handwerkskammer zu Leipzig für Mauerwerk-, Beton- und Stahlbetonbau sowie Holz- und Bautenschutz, 1994 Mitbegründer der Bürogemeinschaft für Bausachverständige in Leipzig.

Internet: [www.svbuero-bau.de](http://www.svbuero-bau.de)

Email: [info@svbuero-bau.de](mailto:info@svbuero-bau.de)

### **Rechtsanwalt Volker Hafkesbrink**

1986-1991 Studium der Rechtswissenschaften an der Universität Trier, Referendariat 1991-1994 in Trier/Koblenz, seit 1995 als Rechtsanwalt in Leipzig tätig auf dem Gebiet des privaten Baurechts und Architektenrechts.

Internet: [www.Hafkesbrink-Kuehne.de](http://www.Hafkesbrink-Kuehne.de)

Email: [Hafkesbrink@Hafkesbrink-Kuehne.de](mailto:Hafkesbrink@Hafkesbrink-Kuehne.de)

### **Dipl.-Ing. (FH) Stefan Hemmann**

1970-1972 Lehre als Malerfacharbeiter, 1975-1978 Studium an der Ingenieurschule für Bauwesen Leipzig, seit 1995 Mitglied im WTA, ab 2000 öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger der IHK zu Leipzig für Schäden an Gebäuden – besonders Altbauten, seit 2001 Mitglied der Bürogemeinschaft für Bausachverständige.

Internet: [www.svbuero-bau.de](http://www.svbuero-bau.de)

Email: [info@svbuero-bau.de](mailto:info@svbuero-bau.de)

### **Rechtsanwalt Ulrich Kühne**

1995-2001 Studium der Rechtswissenschaften an der Friedrich-Schiller-Universität Jena, 2001-2003 Referendariat in Leipzig, seit 2003 als Rechtsanwalt in Leipzig tätig auf dem Gebiet des privaten Baurechts, gewerblichen Mietrechts und WEG-Rechts sowie Architektenrechts.

Internet: [www.Hafkesbrink-Kuehne.de](http://www.Hafkesbrink-Kuehne.de)

Email: [Kuehne@Hafkesbrink-Kuehne.de](mailto:Kuehne@Hafkesbrink-Kuehne.de)

**Uwe Wild**

Berufsausbildung als Steinmetz. Mitarbeit in der „Bürogemeinschaft für Bausachverständige“ in Leipzig von 1998 bis 2007, zunächst als freier Sachverständiger. Von der Handwerkskammer zu Leipzig öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für das Bautrocknungsgewerbe seit Dezember 2002. Erweiterung des Bestellungsgebietes durch die Handwerkskammer zu Leipzig als öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für das Holz- und Bautenschutzgewerbe und für das Estrichlegerhandwerk. 2007 Gründung des „Sachverständigenbüro für Baudiagnostik“. Fachbuchautor.

Internet: [www.baudiagnostik-leipzig.de](http://www.baudiagnostik-leipzig.de)

E-mail: [sv.uwe.wild@online.de](mailto:sv.uwe.wild@online.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	V
<b>Autorenverzeichnis</b> .....	VII
<b>1 Danksagung</b> .....	1
<b>2 Geschichtliche Entwicklung der Bauwerksabdichtung</b> .....	2
<i>von S. Hemmann</i>	
2.1 Literaturverzeichnis .....	6
<b>3 Bauphysikalische und chemische Grundlagen</b> .....	7
<i>von J. Weber</i>	
3.1 Chemie des Wassers .....	7
3.1.1 Destilliertes Wasser .....	8
3.1.2 Wasser im Mauerwerk .....	8
3.1.3 Wasser aus baupraktischer Sicht .....	9
3.2 Poren und Porensysteme .....	10
3.2.1 Porenarten .....	10
3.2.2 Porenvolumen .....	12
3.3 Wasseraufnahmemechanismen .....	12
3.3.1 Kapillare Wasseraufnahme .....	13
3.3.2 Wasseraufnahme unter Druck .....	17
3.3.3 Hygroskopische Wasseraufnahme .....	17
3.3.4 Kondensation .....	18
3.3.5 Kapillarkondensation .....	20
3.4 Wasserbewegungen .....	20
3.4.1 Osmose .....	20
3.4.2 Diffusion .....	21
3.4.3 Phorese .....	22
3.5 Salze .....	22
3.5.1 Hygroskopische Wasseraufnahme durch Salze .....	24
3.5.2 Zerstörungsmechanismen von Salzen .....	25
3.6 Elektrophysikalische Gesetzmäßigkeiten .....	27
3.7 Literaturverzeichnis .....	30
<b>4 Voruntersuchung und Konzept</b> .....	32
<i>von J. Weber</i>	
4.1 Vorbemerkungen .....	32
4.2 Bestandsanalyse des Gebäudes und der Umgebung .....	33
4.3 Feuchtemessverfahren .....	36
4.3.1 Verfahrensauswahl .....	36
4.3.2 Messverfahren .....	37
4.4 Mauerwerksdiagnostik .....	41
4.4.1 Vorbemerkungen .....	41
4.4.2 Bestimmung des Wassergehaltes .....	42
4.4.3 Feststellung des maximalen Wassergehaltes .....	43
4.4.4 Feststellung des kapillaren Durchfeuchtungsgrades .....	44
4.4.5 Feststellung der Reststaugfähigkeit .....	45

4.4.6	Feststellung der hygroskopischen Feuchte.....	45
4.4.7	Hygroskopischer Durchfeuchtungsgrad.....	46
4.4.8	Freiwilliger Wassergehalt .....	47
4.4.9	Feuchtezustand.....	47
4.4.10	Praktischer Wassergehalt .....	47
4.4.11	Elektrophysikalische Untersuchung.....	48
4.4.12	Salzanalyse.....	49
4.4.13	Feststellung statischer Gegebenheiten .....	51
4.5	Wasserbeanspruchungsarten .....	53
4.6	Sanierungskonzept.....	54
4.7	Bauteiltrocknung.....	60
4.8	Literaturverzeichnis .....	63
<b>5</b>	<b>Nachträgliche mechanische Horizontalsperre .....</b>	<b>65</b>
	<i>von U. Wild</i>	
5.1	Allgemeine Vorbemerkungen .....	65
5.2	Prinzip der Mechanischen Horizontalsperre .....	66
5.3	Klassifizierung der Mechanischen Verfahren.....	67
5.3.1	Einteilung der zur Verfügung stehenden Verfahren .....	67
5.3.2	Schneide-Sägeverfahren.....	70
5.3.3	V-Schnittverfahren.....	78
5.3.4	Blecheinschlagverfahren oder Rammverfahren .....	79
5.3.5	Maueraustauschverfahren .....	84
5.3.6	Kernbohrverfahren.....	84
5.4	Planung und Ausführung .....	85
5.4.1	Heranzuziehende Richtlinien und Erkenntnisquellen zur Planung, Ausführung und Bewertung mechanischer Horizontalsperren .....	85
5.4.2	Vorbereitungsphase (Bauzustandsanalyse).....	86
5.4.3	Planungsphase (Fachplanung).....	87
5.4.4	Besonderheiten bei der Kalkulation .....	90
5.4.5	Ausführung .....	90
5.5	Flankierende Maßnahmen.....	92
5.6	Leistungsverzeichnis.....	94
5.7	Zusammenfassende Schlussbemerkung.....	96
5.8	Literaturverzeichnis .....	98
<b>6</b>	<b>Injektionsverfahren .....</b>	<b>99</b>
	<i>von J. Weber</i>	
6.1	Wirkprinzip der Injektionsverfahren .....	99
6.2	Injektionsmittel und ihre Wirkungsweise .....	100
6.3	Horizontalsperren durch Injektionen .....	104
6.3.1	Drucklose Injektion.....	105
6.3.2	Druckinjektion .....	111
6.3.3	Gegenüberstellung drucklose Injektion und Druckinjektion .....	111
6.3.4	Flankierende Maßnahmen .....	112
6.3.5	Grenzen und Risiken des Verfahrens.....	112
6.4	Schleierinjektion .....	113
6.5	Flächeninjektionen.....	119
6.6	Literaturverzeichnis .....	120

<b>7</b>	<b>Nachträgliche Vertikalabdichtung</b> .....	122
	<i>von U. Wild</i>	
7.1	Allgemeine Vorbemerkungen .....	122
7.2	Lastfälle nach DIN 18 195 [1] .....	124
7.2.1	Zuordnung der einzelnen Abdichtungsarten nach DIN 18 195 [1] zu den möglichen Wasserbeanspruchungen und Bodenarten .....	124
7.2.2	Lastfall „Bodenfeuchtigkeit und nichtstauendes Sickerwasser“ .....	124
7.2.3	Lastfall „zeitweise aufstauendes Sickerwasser“ .....	124
7.2.4	Lastfall „nichtdrückendes Wasser auf Deckenflächen und in Nassräumen“ ..	124
7.3	Klassifizierung nach den Abdichtungsmaterialien .....	125
7.4	Allgemeine Anforderungen an Untergründe .....	129
7.4.1	Zusammenarbeit zwischen Fachplaner, Bauüberwacher und Ausführungsbetrieb .....	129
7.4.2	Anforderungen an den Dichtungsträger .....	129
7.4.3	Beispiele für ungeeignete Untergründe und Lösungsmöglichkeiten .....	130
7.5	Kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen (KMB) .....	132
7.5.1	Materialeigenschaften .....	132
7.5.2	Heranzuziehende Richtlinien und Erkenntnisquellen .....	132
7.5.3	Planung und Ausschreibung .....	133
7.5.4	Ausführung .....	134
7.6	Dichtungsbahnen aus Bitumen und Polymerbitumen .....	137
7.6.1	Materialeigenschaften .....	152
7.6.2	Heranzuziehende Richtlinien und Erkenntnisquellen .....	152
7.6.3	Planung und Ausschreibung .....	153
7.6.4	Ausführung .....	154
7.7	Kunststoff- und Elastomer-Dichtungsbahnen .....	155
7.7.1	Materialeigenschaften .....	156
7.7.2	Heranzuziehende Richtlinien und Erkenntnisquellen .....	157
7.7.3	Planung und Ausschreibung .....	158
7.7.4	Ausführung .....	158
7.8	Dichtungsschlämmen .....	161
7.8.1	Materialeigenschaften .....	161
7.8.2	Heranzuziehende Richtlinien und Erkenntnisquellen .....	161
7.8.3	Planung und Ausschreibung .....	162
7.8.4	Anforderungen an den Untergrund .....	165
7.8.5	Verarbeitung .....	166
7.9	Injektionen .....	169
7.9.1	Kurzdarstellung der Technologie und Materialeigenschaften .....	169
7.9.2	Heranzuziehende Richtlinien und Erkenntnisquellen .....	171
7.9.3	Planung und Ausschreibung .....	171
7.9.4	Ausführung .....	174
7.10	Abdichtung mit Bentonit (Naturton) .....	176
7.10.1	Materialeigenschaften von Bentonit .....	176
7.10.2	Funktionsweise von Bentonitabdichtungen .....	177
7.10.3	Vorteile und Anwendungsgrenzen von Bentonitabdichtungen .....	177
7.10.4	Heranzuziehende Richtlinien und Erkenntnisquellen .....	178
7.10.5	Planung und Ausschreibung .....	178
7.10.6	Ausführung .....	179
7.11	Mechanischer Schutz (Schutzschichten) .....	180
7.11.1	Allgemeines .....	180
7.11.2	Materialien für Schutzlagen .....	181

7.11.3	Materialien für Schutzschichten.....	181
7.11.4	Heranzuziehende Richtlinien und Erkenntnisquellen .....	181
7.11.5	Planung und Ausschreibung.....	182
7.11.6	Ausführung .....	183
7.12	Leistungsverzeichnis Vertikalabdichtung .....	184
7.13	Zusammenfassende Schlussbemerkung.....	188
7.14	Literaturverzeichnis .....	189
<b>8</b>	<b>Physikalische Verfahren</b> .....	<b>191</b>
	<i>von J. Weber</i>	
8.1	Vorbemerkung .....	191
8.1.1	Lüftungsgräben und Lüftungskanäle .....	191
8.1.2	Lüftungszylinder und -röhrchen.....	195
8.2	Thermische Verfahren .....	197
8.3	Elektrophysikalische Verfahren.....	200
8.3.1	Vorbemerkung zum Verfahren Elektroosmose.....	203
8.3.2	Geschichtlicher Abriss .....	206
8.3.3	Elektrophysikalische Grundlagen .....	207
8.3.4	Passive elektroosmotische Verfahren.....	210
8.3.5	Aktive elektroosmotische Verfahren.....	216
8.4	Elektrochemische Verfahren.....	216
8.4.1	Vorbemerkung .....	216
8.4.2	Das AET-Verfahren .....	217
8.4.3	ETB-Verfahren.....	218
8.4.4	Kerasan-Verfahren .....	219
8.4.5	Fazit.....	220
8.5	Paraphysikalische Verfahren .....	221
8.5.1	Vorbemerkung zu paraphysikalischen Verfahren .....	221
8.5.2	Geschichtlicher Abriss .....	223
8.5.3	Passive Verfahren .....	235
8.5.4	Aktive Verfahren.....	241
8.5.5	Polarisierende Auseinandersetzung .....	246
8.5.6	Ähnlichkeiten zwischen Gestern und Heute .....	253
8.5.7	Technische Hinweise zum Vertrag .....	258
8.6	Aussichten.....	259
8.7	Literaturquelle- Elektrophysikalische Verfahren.....	260
<b>9</b>	<b>Flankierende Maßnahmen</b> .....	<b>267</b>
	<i>von S. Hemmann und J. Weber</i>	
9.1	Dränung .....	267
9.2	Sanierputze .....	275
9.3	Konstruktive Maßnahmen.....	280
9.4	Literatur .....	281
<b>10</b>	<b>Qualitätsmanagement</b> .....	<b>283</b>
	<i>von S. Hemmann</i>	
10.1	Einleitung.....	283
10.2	Planungsphase.....	284
10.3	Qualitätssicherung am Bau .....	284
10.4	Zusammenfassung .....	286
10.5	Literaturverzeichnis .....	286

<b>11 Zivilrechtliche Grundlagen</b> .....	287
<i>von V. Hafkesbrink und U. Kühne</i>	
11.1 Mögliche Beteiligte am Bauvorhaben .....	287
11.1.1 Der Bauherr/Auftraggeber .....	287
11.1.2 Projektsteuerer, Projektmanager .....	287
11.1.3 Der Architekt .....	287
11.1.4 Sonderfachleute .....	288
11.1.5 Der Unternehmer/Auftragnehmer .....	288
11.1.6 Der Nachunternehmer .....	289
11.2 Rechtsgrundlagen des Werkvertrages .....	289
11.2.1 Die Regelungen des BGB zum Werkvertrag .....	289
11.2.2 Vertragsschluss .....	291
11.3 Verwendung Allgemeiner Geschäftsbedingungen und Bedeutung der gesetzlichen Regelungen – Unwirksame Klauseln im Bauvertrag – Anwendung der Vorschriften zu Allgemeinen Geschäftsbedingungen, §§ 305 ff. BGB .....	292
11.3.1 Einleitung .....	292
11.3.2 Allgemeine Geschäftsbedingungen .....	292
11.3.3 AGB in Bauverträgen .....	295
11.3.4 Einbeziehung der AGB in den Vertrag .....	295
11.3.5 Überraschende Klauseln, Unklarheiten .....	295
11.3.6 Folge der fehlenden Einbeziehung der vorformulierten Vertragsbedingungen bzw. der Unwirksamkeit .....	296
11.3.7 Preis- und Leistungsvereinbarungen in vorformulierten Vertragsbedingungen .....	297
11.3.8 Kernstück der AGB-Prüfung „die unangemessene Benachteiligung“ .....	298
11.4 Die VOB/B .....	299
11.5 Die VOB/C = Die Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen (ATV; insbesondere DIN 18336) .....	301
11.5.1 Allgemeines zu den ATV; Aufbau .....	301
11.5.2 ATV nicht per se anerkannte Regeln der Technik .....	302
11.5.3 Auslegung der ATV .....	302
11.5.4 Vertragliche Abänderung der ATV .....	304
11.5.5 ATV beim „reinen“ BGB-Vertrag .....	304
11.5.6 Allgemeines zur Heranziehung der ATV bei einer Vertragsauslegung .....	305
11.5.7 Die DIN 18336 .....	305
11.6 Die vereinbarte Leistung .....	307
11.6.1 Vertraglicher Leistungsumfang als Ausgangspunkt für Leistungsänderungen, zusätzliche Leistungen und mangelhafte Leistungen .....	307
11.6.2 Die für die Auslegung heranzuziehenden Vertragsunterlagen .....	307
11.6.3 Weitere für die Vertragsauslegung zu berücksichtigende Umstände; der geschuldete Erfolg .....	308
11.6.4 Anerkannte Regeln der Technik und Vertragsauslegung .....	311
11.6.5 Sonderproblem Altbausanierung .....	311
11.6.6 Vereinbarungen können auch über anerkannte Regeln der Technik hinausgehen .....	314
11.6.7 Die Vergütung bei zusätzlichen Arbeitsschritten zur Erreichung des durch Auslegung ermittelten Erfolgs .....	314
11.6.8 Funktionale Leistungsbeschreibung .....	316
11.6.9 § 9 VOB/A .....	317
11.6.10 Geltung und Bedeutung der ATV .....	317
11.6.11 Zusammenfassung; Schadensersatz bei Lücken .....	318

11.7	Die vereinbarte Vergütung.....	319
11.7.1	Einheitspreisvertrag .....	320
11.7.2	Pauschalpreisvertrag .....	323
11.7.3	Stundenlohnvertrag .....	324
11.7.4	Selbstkostenerstattungsvertrag .....	324
11.8	Zahlungen im Bauvertrag .....	325
11.8.1	Abschlagszahlungen.....	325
11.8.2	Schlusszahlung.....	331
11.8.3	Skonto .....	333
11.9	Nachträge.....	335
11.9.1	Leistungsänderung im BGB-Vertrag .....	335
11.9.2	Leistungsänderung im VOB-Vertrag .....	336
11.9.3	Vergütung für Leistungsänderungen.....	337
11.9.4	Massenabweichungen, § 2 Nr. 3 VOB/B.....	342
11.9.5	Änderungen bei Pauschalpreisvertrag.....	342
11.10	Die Durchführung des Bauvertrags bis zur Abnahme .....	345
11.10.1	Mängel vor Abnahme.....	346
11.10.2	BGB-Vertrag.....	347
11.11	Die vorzeitige Beendigung des Bauvertrags.....	347
11.11.1	Allgemeines, Beendigungsmöglichkeiten .....	347
11.11.2	Die Kündigung durch den Auftraggeber (§ 8 VOB/B).....	351
11.11.3	Die Kündigung durch den Auftragnehmer (§ 9 VOB/B).....	360
11.12	Die Abnahme – Abnahme und Abnahmeverweigerung .....	362
11.12.1	Abnahmewirkungen .....	362
11.12.2	Definition der Abnahme.....	370
11.12.3	Die Abnahmeerklärung .....	371
11.12.4	Möglichkeiten der Abnahmeerklärung .....	371
11.12.5	Die förmliche Abnahme.....	372
11.12.6	Stillschweigende Abnahme durch schlüssiges bzw. konkludentes Verhalten.....	377
11.12.7	Fiktive Abnahme.....	378
11.12.8	Die Verpflichtung zur Abnahme – Voraussetzungen .....	381
11.12.9	Die Abnahme durch Fertigstellungsbescheinigung.....	384
11.12.10	Abnahme von Teilleistungen .....	385
11.12.11	Hinausschieben der Abnahme durch Auftraggeberklauseln .....	385
11.12.12	Abnahme nach Kündigung des Bauvertrages .....	386
11.13	Mängelansprüche im Bauvertrag .....	387
11.13.1	Allgemeines .....	387
11.13.2	Die Mängelansprüche im BGB-Werkvertrag.....	388
11.13.3	Der Mangel .....	396
11.13.4	Einwand des unverhältnismäßigen Aufwandes bei Abdichtung regelmäßig nicht gegeben .....	407
11.13.5	Die Sachmängelansprüche nach dem BGB.....	408
11.13.6	Sachmängelansprüche nach § 13 VOB/B .....	417
11.13.7	Haftung mehrerer und Mitverschulden .....	419
11.14	Die Haftung des Architekten .....	420
11.14.1	Mangelhafte Leistung .....	420
11.14.2	Mängel in der Leistungsphase 1.....	421
11.14.3	Haftungsrisiken in der Leistungsphase 2 .....	421
11.14.4	Haftungsrisiken in der Leistungsphase 3 .....	422
11.14.5	Mögliche mangelhafte Leistungen in Leistungsphase 4 .....	423

11.14.6	Haftungsrisiken bei der Ausführungsplanung .....	423
11.14.7	Die haftungsträchtige Bauüberwachung (Leistungsphase 8).....	424
11.14.8	Welche Rechte hat der Auftraggeber, wenn die Leistung mangelhaft ist? .....	425
11.15	Literatur .....	425
<b>12</b>	<b>Checklisten</b> .....	<b>428</b>
	<i>von S. Hemmann</i>	
	<b>Sachwortverzeichnis</b> .....	<b>439</b>

# 1 Danksagung

Dank an die technischen Kollegen, welche mit Rat und Tat zur Verfügung standen und somit zum Gelingen der speziellen Themen im Punkt 8.0 beigetragen haben:

- Prof. Dr.-Ing. Michael Balak (Österreichisches Forschungsinstitut für Chemie u. Technik, Wien)
- Dipl.-Geologe Michael Link (Institut f. Paläontologie Uni Erlangen-Nürnberg)
- Dipl.-Ing. (FH) Werner Schwille (Fa. Schwille-Elektronik, Kirchheim b. München)
- Gerhard Diglas (Fa. Kerasan GmbH Co KG, Wien)
- Dr.-Ing. Christian Simlinger (Ingenieurbüro Leobersdorf)

Weiterhin danken wir Herrn Harms (Teubner Verlag) und Bettina Weiland (Leipzig), dass sie beide ständig den Autoren hilfreich zur Seite standen.

Dank auch an die Firma Novartis AG, Basel, die die wertvollen Fotos in Punkt 8.5 aus dem Firmenarchiv zur Verfügung gestellt hat.

Umfangreiches Bildmaterial haben auch die Haböck und Weinzierl GmbH, die Sopro Bauchemie GmbH sowie die PRINZ GmbH zur Verfügung gestellt.

Jürgen Weber

## 2 Geschichtliche Entwicklung der Bauwerksabdichtung

von Stefan Hemmann

Verfolgt man die Geschichte der menschlichen Entwicklung, so war es von je her Bestreben der Menschen, ihre Bauwerke vor äußeren Einflüssen, wie Feuchtigkeit, Wind, Kälte und Sonne zu schützen. Dem vorbeugenden Schutz vor Feuchtigkeit fällt dabei eine besondere Rolle zu.

So sind schon aus dem Altertum erste Abdichtungstechniken bekannt, die überwiegend mit Naturprodukten ausgeführt wurden. Außer den vorbeugenden Maßnahmen, wie z. B. Gründungen von Hütten oder Gebäuden auf Pfählen gegen eindringende Feuchtigkeit von unten, oder großen Dachüberständen gegen eindringende Feuchtigkeit von oben, wurden Wände mit Lehm verstrichen oder auch mit verschiedenen Schutzanstrichen, wie z. B. Gips gemischt mit Leinöl, Silberglätte und Wachs, gegen Feuchtigkeit geschützt.

Herodot beschreibt zum Beispiel die Verwendung von Bitumen bei Bauten im alten Ägypten. Das Material wurde wahrscheinlich aus Erdöl, das an die Erdoberfläche ausgetreten ist, gewonnen. Durch Sonneneinstrahlungen verdunsten die flüchtigen Bestandteile und ein bitumenähnliches Produkt bleibt zurück. Es sind auch Abdichtungen aus der Frühzeit der Menschheit mit Pechanstrichen bekannt, worunter Naturasphaltprodukte zu verstehen sind, die aus Bitumen aus der Aufbereitung von Naturasphaltgesteinen mit verschiedenen nicht klassifizierten Beimengungen entstehen.

Das öffentliche Bad der Stadt Moendscho-Daro im heutigen Pakistan ist eines der ältesten bekannten Bauwerke, das unseren heutigen bituminösen Abdichtungen sehr nahe kommt. Eine ausführlichere Beschreibung dazu ist auch in [1] nachzulesen.

Abdichtungsmaßnahmen waren überwiegend auf diejenigen Bauwerke beschränkt, deren Nutzung für die Speicherung oder den Transport von Wasser bestimmt waren, wie Bäder, Wasserbehälter, Wasserleitungen und auch dem Schiffsbau.

Am bekanntesten sind wohl die römischen Zisternen und Wasserleitungen aus dem 1.–2. Jh. nach Chr., die mit einem wasserundurchlässigen Mörtel hergestellt wurden und teilweise auf Brücken- den sogenannten Aquädukten- über Täler bis in die Städte geführt wurden. Eines der berühmtesten Aquädukte ist die noch heute bestehende Pont du Gard bei Nimes in Frankreich.

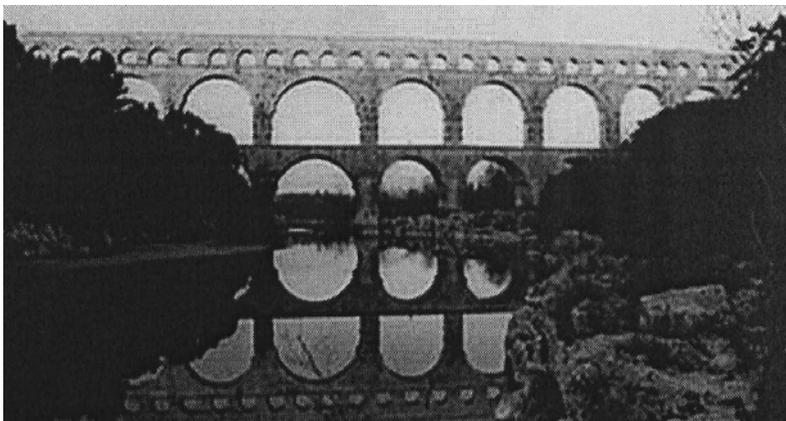
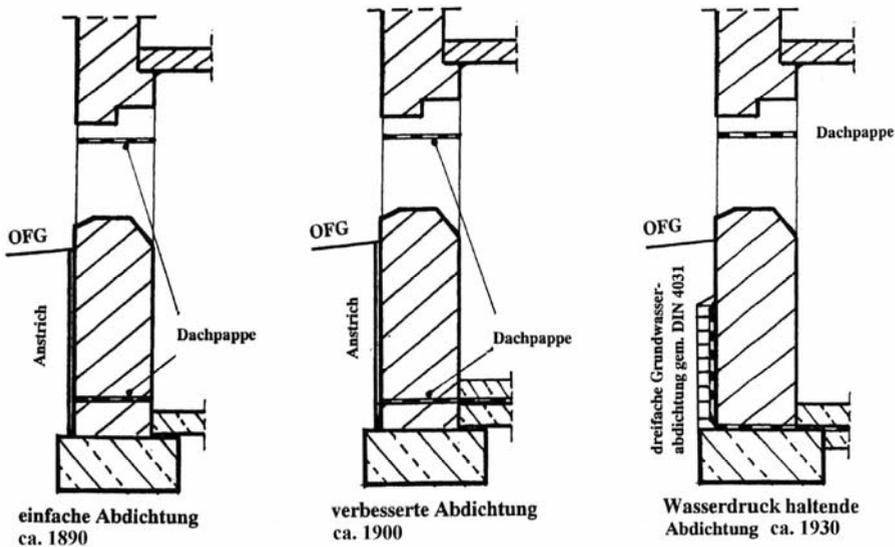


Bild 2.1 Pont du Gard in Nimes-Südfrankreich 1. Jh. v. Chr. von Römern erbaut, 19.Jhrd. restauriert

Erst mit zunehmendem Anstieg der Bevölkerung im 19. Jh. und der weiteren Entwicklung des Handwerks und des Handels und der Entwicklung von Industriezweigen, wurden mehr Wohngebäude, Fabriken und Hallen notwendig, die auch teilweise schon mit Keller errichtet wurden. Um keine unerwünschte Feuchtigkeit in die Gemäuer zu bekommen, wurden anfangs Bauwerke im erdberührten Bereich mit sehr dichten Naturbaustoffen aus der jeweiligen Region errichtet, wie zum Beispiel Granitmauerwerk. Das bedeutete, dass ein gewisser unschädlicher Anteil an Feuchtigkeit in dem Kellermauerwerk geduldet, ja sogar gewollt war, damit eingelagertes Gemüse, Obst und Kartoffeln möglichst lange haltbar blieben.

Damit die vorhandene Restfeuchte nicht in die oberen Etagen aufsteigen konnte, wurden später auch waagerechte Abdichtungen unterhalb der Kellerdecken eingebaut. Diese Bauart findet man noch oft in Bauwerken nach der Jahrhundertwende.

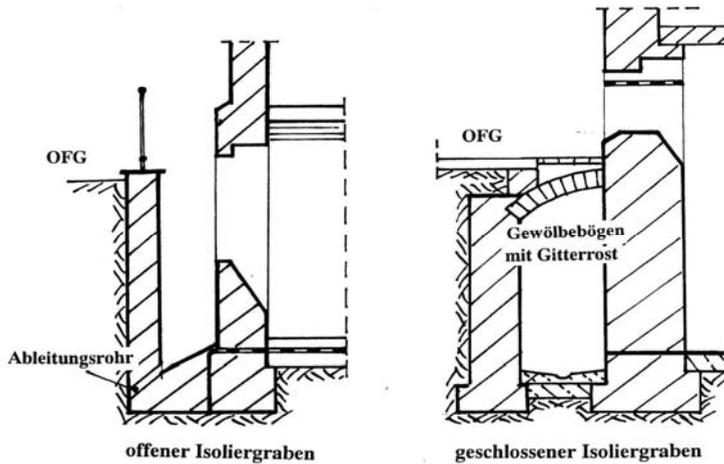


Skizze 2.1

Die zunehmende Industrieentwicklung Anfang des 19. Jh. (ca. 1828) machte es möglich, Teer, aus einem Abfallprodukte der Verkokung von Steinkohle zu gewinnen.

Gegen 1890 entstanden die heute noch unter der Bezeichnung Teerpech und Teerpappe bekannten ersten industriell hergestellten Abdichtungsprodukte, die in Gebäuden der Jahrhundertwende teilweise erhalten geblieben sind. Aber auch Metallabdichtungen wurden verwendet, wie der Einsatz von Walzbleitafeln für erste waagerechte Abdichtungen, Kupfereinlagen in Teerpappen und Blechtröge als Abdichtungen gegen drückendes Wasser.

Bei höherwertigen Gebäuden, wie z. B. Villen oder Wohnhäusern der Baumeister, wurden die Ziegelwände bei Unterkellerungen auch mit verschiedenen Varianten von Isoliergräben zur Hinterlüftung des Mauerwerks, mit dichtenden Anstrichen aus Teeranstrichen oder Teerpappen versehen, oder aus dichten Klinkermaterial hergestellt. Auch in kunstvoll ausgestatteten Treppenhauseingängen, die oftmals mit hochwertigen Holztafelungen verkleidet wurden, sind Falzpappen aus Teerfilzpappen zur Abdichtung der Mauerwerksfeuchtigkeit verwendet worden. Aus Kostengründen kamen diese Maßnahmen aber im einfachen Wohnungsbau bis ca. Ende des 19. Jh. nur sehr selten vor.



Skizze 2.2



Bild 2.2  
Villa in Berlin offener Isoliergraben vor Wohnnutzung im Keller

Bitumenbahnen wurden in Amerika bereits Mitte des 19. Jh. hergestellt, als in Deutschland noch die Teerabdichtungen vorherrschend waren.

Erst durch den wirtschaftlichen Aufschwung Ende des 19. Jh. in Verbindung mit der Stahlentwicklung, dem sprunghaften Anstieg der Bevölkerungszahl und der weiteren technischen Entwicklung in Deutschland, kam auch die Bitumenherstellung in Deutschland voran. So wurde ca. 1920 zur Gewinnung von Treibstoff für die neu entstandene Auto- und Flugzeugindustrie Erdöl destilliert.

Ein Abfallprodukt dieser Destillation war Bitumen, dass der industriellen Entwicklung von Bitumenbahnen einen Aufschwung bescherte und die Verbreitung von Bitumen in der Bauwerksabdichtung beförderte.

Mit dem Bau der U-Bahn in Berlin wurden erstmals Bitumendachbahnen für den Einsatz gegen drückendes Wasser und den Tunnelbau eingesetzt. Wurden vorher überwiegend nur Vertikalabdichtungen verwendet, werden etwa zur gleichen Zeit des U-Bahnbaus auch die ersten waagerechten Abdichtungen aus Bitumenbahnen verwendet. Vorher wurden für waagerechte Abdichtungen unter anderem Bleitafeln, Schieferplatten, Glasscherben, Teerpappen, Asphaltsschichten und dichte Zementbetone verwendet.

Mit der Entwicklung von Teerprodukten und Bitumenprodukten war es erstmals möglich, Bauwerksabdichtungsprodukte mit einem vertretbaren technischen und finanziellen Aufwand industriell herzustellen und Abdichtungsmaßnahmen gezielt bei der Errichtung von Wohn- und Industriegebäuden anzuwenden.

Durch die gewonnenen Erkenntnisse der ersten technisch hergestellten Abdichtungsmaterialien und der Weiterentwicklung der Erdölindustrie, erfuhr die Herstellung von Abdichtungen in den 30iger Jahren einen weiteren rasanten Aufstieg. So wurden die ersten Kunststofffolien ca. 1935 entwickelt (Oppanol, Igelit).

Der Einsatz und die Verarbeitung der vorhandenen Abdichtungsprodukte aus Teer und Bitumen, auch im einfachen Wohnungsbau und Industriebau, hat verschiedene Anwendungsmöglichkeiten mit einer großen Variantenvielfalt hervorgebracht, die überwiegend auf Erfahrungswerten, aber auch auf ingenieurtechnischen Wissen beruhen. Einheitliche Vorschriften gab es bis auf Regelungen und Vorschriften von großen Industriezweigen, Baubehörden oder Landesbehörden nicht. Ingenieure, Baumeister und auch die Industrie forderten eine einheitliche Herstellung (Hersteller Richtlinien) und Anwendung (Anwendungsrichtlinien) der Abdichtungsprodukte.

Mit Gründung des Normenausschusses der Deutschen Industrie e.V (DIN) im Jahre 1917 und des Deutschen Normen Ausschusses (DNA) im Jahre 1932, wurden Institutionen geschaffen, die entsprechende unterschiedliche Arten von Normen ausarbeiteten und veröffentlichten. Damit wurde auch der Aufbau der zahlreichen verschiedenen Abdichtungsarten und Abdichtungsmaterialien durch technische Vorschriften und Regelwerke einheitlich vorgeschrieben.

1931 entstand die erste Richtlinie zur Abdichtung von Bauwerken, die „Vorläufige Anweisung für Abdichtungen von Ingenieurbauwerken“ (AIB) der ehemaligen Deutschen Reichsbahn. Weitere Vorschriften und Richtlinien folgten und werden bis heute ständig überarbeitet und aktualisiert. Die Entwicklung der Normung für die Abdichtungsarbeiten soll an einigen Beispielen aufgezeigt werden, die aber keine vollständige Auflistung darstellen und nicht den aktuellen Stand der Abdichtungsnormung berücksichtigen:

Nach dem 2. Weltkrieg wurden bituminöse Bahnen mit Glasfaser und Glasgewebeeinlagen sowie neue Kunststoffbahnen entwickelt. Neue Verarbeitungstechniken, wie z. B. Spritzbitumen mit Fasereinlagen, Schweißtechniken und kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen sind auch heute noch Basis für die Bauwerksabdichtungsprodukte. Mit zunehmenden Forschungs- und Entwicklungskennntnissen, wurde auch die Anzahl der Abdichtungstechniken und Abdichtungsmaterialien, zu denen auch wasserundurchlässiger Beton, Sperrmörtel und Dichtungsschlämme gehören, umfangreicher und spezieller, sodass die DIN 4031 durch die DIN 18195 „Bauwerksabdichtungen“ im Jahre 1983 abgelöst wurde. Mit dieser neuen Abdichtungsnorm wurden viele Unklarheiten in Fachkreisen beseitigt und die bis dato vorhandene Lücke zwischen Baupraxis und Regelwerken geschlossen. Diese neue Abdichtungsnorm wurde 2000 durch die sechsteilige DIN 18195 noch einmal aktualisiert und 2003 ergänzt.

- 1931 – AIB der Deutschen Reichsbahn – „Vorläufige Anweisung für Abdichtungen von Ingenieurbauwerken“
- 1932 – DIN 4031 – „Wasserdruckhaltende bituminöse Abdichtungen für Bauwerke; Richtlinien für Bemessung und Ausführung“
- 1950 – DIN 4117 „Abdichtung von Bauwerken gegen Bodenfeuchtigkeit; Richtlinien für die Ausführung“
- 1968 – DIN 4122 „Abdichtung von Bauwerken gegen nicht drückendes Oberflächenwasser und Sickerwasser mit bituminösen Stoffen, Metallbändern und Kunststoff Folien; Richtlinie“
- 1983 – DIN 18195 „Bauwerksabdichtungen“
- 1997 – Richtlinie für die Planung und Ausführung von Abdichtungen mit Kunststoffmodifizierten Bitumendickbeschichtungen (KMB)
- 2000 – Überarbeite DIN 18195

Die Kenntnisse aus der Geschichte und die Entwicklung der Bauwerksabdichtung sind besonders bei der heutigen Instandsetzung und Modernisierung der noch erhaltenen Altbauten von Wichtigkeit, um die technisch richtigen Maßnahmen ableiten und ergreifen zu können. Da die Entwicklung immer weiter gehen wird, auch die Normungen sich der Entwicklung ständig anpassen müssen, ist jeder Planer oder Ausführender von Abdichtungsarbeiten gut beraten, sich vorher über den jeweiligen aktuellen Stand der Entwicklung bzw. dem aktuellen Stand der Technik sachkundig zu machen.

## 2.1 Literaturverzeichnis

- [1] Lufsky Bauwerksabdichtungen, 5.Auflage, Erich Cziesielski (Hrsg.), B.G. Teubner Verlag 2001
- [2] Scarre, C.; „Die siebzig Weltwunder, die geheimnisvollen Bauwerke der Menschheit und wie sie errichtet wurden“, Verlag zweitausendeins, Frankfurt/M.
- [3] Lufsky, „Bauwerksabdichtung, Bitumen und Kunststoffe in der Abdichtungstechnik“, B.G. Teubner Verlag Stuttgart
- [4] Moormann, Trockenlegung von Mauerwerk, Zentralblatt der Bauverwaltung (1882)
- [5] Zeitschrift für Bauwesen (1851), „Bemerkungen über Mittel, die Trockenlegung der Gebäude zu befördern“
- [6] Hensler, J., „Ein neues Verfahren zur Austrocknung feuchter Kellermauern bei bestehenden Gebäuden“, Deutsche Bauzeitung (1903)
- [7] Flügge, R., „Die Feuchtigkeit im Hochbau“, Halle (Sale), Verlag C. Marhold 1953
- [8] Otto Frick und Prof.Karl Knöll, „Die Konstruktion von Hochbauten, ein Fachbuch für den Baufachmann“, Verlag und Druck B.G. Teubner-Verlag Leipzig-Berlin
- [9] Lehrbuch für Maurer 1949
- [10] Prof. R. Stegemann, „Die Abdichtung von Wohnungs- und Siedlungsbauten mit Bitumen Anstrich“, Berlin
- [11] Prof. Dr.-Ing. A. Hummel, „ Die Abdichtung von Hochbauten gegen Grundfeuchtigkeit durch Anstriche unter besonderer Berücksichtigung von Teererzeugnissen“, Materialprüfungsanstalt mbH Max Lipfert 1948; Berlin W 8
- [12] Deutsche Reichsbahn DV 835, „Anweisung für Abdichtung von Ingenieurbauwerken (AIB) gültig ab 1.5.1964; VEB Landesdruckerei Sachsen, Dresden A
- [13] Lehrbrief Bauwerksabdichtungen Band 1 1995, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. Wiesbaden
- [14] Tagungsband „Forum Bauwerksabdichtung 5. und 6. Mai 1999“, FBE-Forum Bauwerks Erhaltung e.V.

# 3 Physikalische und chemische Grundlagen

von Jürgen Weber

## 3.1 Chemie des Wassers

Bei üblichen klimatischen Bedingungen kann Wasser in fester, flüssiger und gasförmiger Form auftreten. Die größte Dichte besitzt Wasser mit  $1000 \text{ kg/m}^3$  bei  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Bei dem Übergang von flüssiger zu fester Form ist ein Dichtesprung vorhanden, welcher mit einer Volumenausdehnung (Dilatation) verbunden ist. Der sich dabei entwickelnde Sprengdruck ist Ursache von Frostschäden.

In der Antike sah man das Wasser als eigenständiges Element an, das die Grundlage aller Flüssigkeiten ist. In vielen Kulturen der Erde nahm Wasser als symbolischer Urbeginn der Welt eine zentrale Rolle in den jeweiligen Schöpfungsmythen ein.

Erst 1804 wiesen Joseph Louis Gay-Lussac und Alexander von Humboldt nach, dass Wasser aus zwei Teilen Wasserstoff und einem Teil Sauerstoff besteht, was in der bis heute gültigen Formel  $\text{H}_2\text{O}$  ausgedrückt wird.

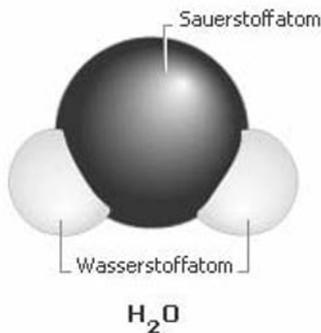


Bild 3.1  
O-H-Bindung des Moleküls

Zuvor synthetisierte der Brite Henry Cavendish 1781 Wasser, indem er eine Mischung aus Wasserstoff und Luft zur Explosion brachte. Das Ergebnis dieses Experiments konnte aber erst 1783 durch den Franzosen Antoine Laurent Lavoisier richtig ausgelegt werden, der davon ausging, dass Wasser kein Element, sondern die Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff ist.

Wasserstoff und Sauerstoff verbinden sich zu Wasser, da beide Stoffe bestrebt sind, ihre freien Elektronenplätze (Wasserstoff - 1; Sauerstoff - 2) zu füllen. Die beiden Wasserstoffatome binden sich an das Sauerstoffatom in einem Winkel von genau  $104,5 \text{ Grad}$ . Wegen der höheren Elektronennegativität des Sauerstoffatoms gegenüber dem Wasserstoffatom ist die O-H-Bindung polar. Der genaue Winkel von  $104,5 \text{ Grad}$  zwischen den Wasserstoffatomen kann nicht durch die Elektronennegativität erklärt werden. Der Winkel entsteht durch die hohe Elektronendichte am Sauerstoffatom, welche eine Abstoßung auf die O-H-Bindung verursacht.

Es gibt Versuche, den Kapillartransporten im Mauerwerk durch Änderung des Bindungswinkels des im Mauerwerk befindlichen Wassers entgegenzuwirken. Anhand der Erfahrungen der Verfasser sind diese Versuche erst im Experimentierstadium, keinesfalls jedoch praxistauglich, auch wenn derartige Geräte bereits vertrieben werden.

Durch die asymmetrische Verteilung des Wasserstoffs wirkt das Wassermolekül wie ein kleiner Magnet, der auf der Wasserstoffseite positiv und auf der Sauerstoffseite negativ geladen ist. Das Wassermolekül hat somit zwei Pole verschiedener Elektronendichte und ist damit ein Dipol mit entsprechenden Eigenschaften.

Die unterschiedlich geladenen Pole ziehen benachbarte Wassermoleküle an und verbinden sich mit ihnen über sogenannte „Wasserstoffbrücken“ zu langen Molekülketten. Experten gehen schon seit längerer Zeit davon aus, dass hier aber nicht nur das Wasserstoffatom des einen Moleküls mit dem freien Elektronenpaar des Sauerstoffatoms des anderen Moleküls in Wechselwirkung tritt, sondern auch die kovalenten Bindungen zwischen dem Sauerstoffatom und den beiden Wasserstoffatomen innerhalb eines Moleküls für die Wasserstoffbrücke eine Rolle spielen. Die Wasserstoffbrückenbindungen sind eine Ursache für kapillare Wassertransporte. Die Wassermoleküle bauen zu der Porenwand Wasserstoffbrücken, mit denen sie sich über die Wasseroberfläche hin- aus an der Wand „hochziehen“.

3

### 3.1.1 Destilliertes Wasser

Destilliertes, also reines Wasser, ist eine farblose, geruchs- und geschmacksneutrale Flüssigkeit. Unter Druck kann Wasser zu einem Gel werden und eine höhere Viskosität als im herkömmlichen Zustand aufweisen. Bei Normaldruck liegt der Gefrierpunkt des Wassers bei  $0^\circ\text{C}$  und der Siedepunkt bei  $100^\circ\text{C}$ .

Wasser erreicht seine größte Dichte bei einer Temperatur von  $4^\circ\text{C}$ . Beim Gefrieren vergrößert sich sein Volumen. Die physikalischen Eigenschaften des Wassers dienen ursprünglich als Ausgangspunkt, um Temperaturskalen festzulegen und um im metrischen System die Einheit der Masse (das Gramm) zu definieren.

Wasser lässt sich elektrolytisch in seine Komponenten Wasserstoff und Sauerstoff zerlegen. Mit Hilfe eines speziellen Katalysators gelingt diese Reaktion bereits durch Einwirkung von Sonnenlicht.

Wassermoleküle sind sowohl im Festkörper (Eis) als auch in der Flüssigkeit über so genannte Wasserstoffbrückenbindungen miteinander verbunden.

Da Wasser zahlreiche Substanzen in großen Mengen zu lösen vermag, kommt es in der Natur selten in reiner Form vor.

### 3.1.2 Wasser im Mauerwerk

Mit Wasser lassen sich Stoffe (z. B. wasserlösliche Salze) in Ionen zerlegen (elektrolytische Dissoziation). Mit einigen Salzen bildet Wasser Hydrate. Da die meisten Substanzen in Wasser zumindest etwas löslich sind, wird es häufig als ein Universallösungsmittel angesehen. Es reagiert mit einigen Metalloxiden zu Säuren und fungiert bei vielen chemischen Reaktionen als Katalysator.

Bei der Kondensation und beim Niederschlag absorbieren Regen oder Schnee veränderliche Mengen an Kohlendioxid und anderen Gasen, auch Spuren von organischen und anorganischen Substanzen aus der Atmosphäre.

Beim Kontakt mit der Erdkruste reagiert Wasser mit den Mineralien im Boden und in den Gesteinen. Im Oberflächen- und Grundwasser sind in erster Linie Sulfate, Chloride und Hydrogencarbonate von Natrium und Kalium sowie Calcium und Magnesium enthalten. Das Oberflächenwasser (z. B. in Flachbrunnen) kann außerdem große Mengen an Stickstoffverbindungen und Chloriden enthalten, die aus Fäkalien bzw. Tausalz stammen. Das Grundwasser enthält dagegen im

Allgemein nur gelöste Mineralien. In fast allen natürlichen Trinkwasserreservoiraren befinden sich Fluoride in veränderlichen Mengen.

Aus oben genanntem ergibt sich, dass es sich bei Wasser im Mauerwerk immer um eine Lösung handelt. Welche Stoffe hier in welcher Konzentration gelöst sind und ob diese ggf. einen Einfluss auf den angestrebten Sanierungserfolg haben, ist in der Bauzustandsanalyse abzuklären.

### 3.1.3 Wasser aus baupraktischer Sicht

Wasser kann in allen 3 Aggregatzuständen im und am Mauerwerk vorkommen und birgt in jedem Zustand ein Schadensrisiko in sich.

Baupraktisch stellt Wasser den Schadensverursacher Nummer 1 an Gebäuden dar. Durch Frost-Tau-Wechsel kommt es, aufgrund der Volumenvergrößerung des Wassers beim Gefrieren, zu Abplatzungen von Baustoffen. Dies ist vor allem im Fassadenbereich von Belang.

Da Wasser baupraktisch nie in reiner Form vorkommt, dient es weiterhin als Transportmittel für Salze. Salze haben die Eigenschaft ihr Volumen bei der Hydratation und der Kristallisation teilweise erheblich zu vergrößern. Die dabei entstehenden Drücke führen ebenfalls zu Festigkeitsverlusten in Baustoffen. Gefügestörungen oder Abplatzungen an Oberflächen von Bauteilen sind die Folge.

Weiterhin ist Wasser ein guter Wärmeleiter, weshalb durchfeuchtete Baustoffe eine schlechtere Wärmedämmung aufweisen, als trockene.

Die Wärmeleitfähigkeit von Wasser beträgt mit  $0,58 \text{ W/(mk)}$  um das 24-fache gegenüber Luft, wodurch der geringe Wärmeschutz erklärt ist. Die Wärmespeicherfähigkeit ist dagegen 4-mal größer als bei anderen Bauteilen. Daraus resultiert eine längere Erwärmungsphase von feuchten Bauteilen gegenüber trockenen.

Zu guter Letzt stellt Wasser auch die Lebensgrundlage für viele Organismen dar. Nur bei Vorhandensein von Wasser (in unterschiedlicher Quantität) kann es zur Schimmelpilzbildung, zum Pilzbefall an Holzkonstruktionen oder zur Algenbesiedelung kommen.

Eine wirksame Abdichtung von Gebäuden gegen Wasser ist deshalb Voraussetzung für eine lange Lebensdauer des Gebäudes, aber auch Grundlage für ein gesundes Wohnen.

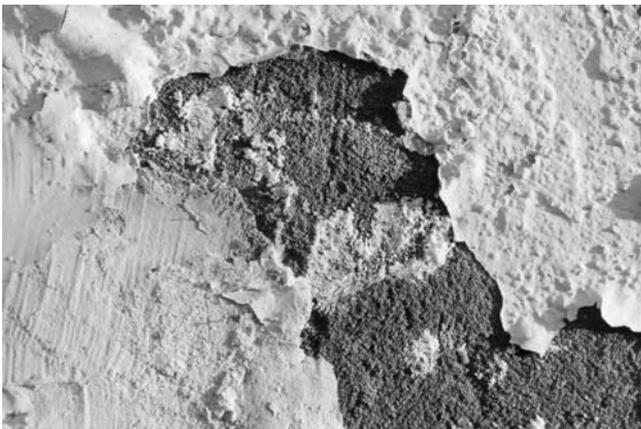


Bild 3.2  
Schäden aufgrund von Salzen



**Bild 3.3**  
Feuchteschäden aufgrund einer fehlenden Horizontalsperre

## 3.2 Poren und Porensysteme

Das Vermögen von Baustoffen, Wasser aufzunehmen ist bekanntermaßen sehr unterschiedlich. Grund hierfür sind die in den Baustoffen unterschiedlich vorhandenen Porenvolumen, die Verteilung der Porengrößen und Letztendlich die Porengeometrie. Porensysteme. Aus diesem Grund werden im Folgenden die verschiedenen Poren und Porensysteme einer Betrachtung unterzogen.

Für das Problem der aufsteigenden Feuchte ist baupraktisch nur der Kapillarporenbereich zwischen  $50\ \mu\text{m}$  und  $1\ \text{mm}$  [21] von Bedeutung.

### 3.2.1 Porenarten

Poren werden zum einen hinsichtlich ihrer Form und zum anderen nach ihrer Größe unterschieden. Größe und Form haben Einfluss auf die Möglichkeit und den Umfang von Wassertransporten.

Hinsichtlich der Porengeometrie werden folgende Porenarten unterschieden:

- 1 durchgehende Poren
- 2 geschlossene Poren
- 3 Sackporen
- 4 Flaschenhalsporen

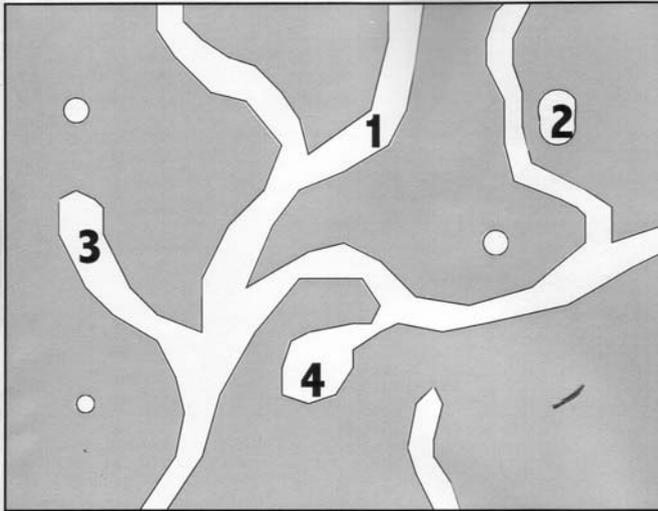


Bild 3.4  
Porenarten im Baustoff

Die Porengeometrie hat erheblichen Einfluss auf deren Wasseraufnahmefähigkeit. Lediglich die durchgehenden Poren können sich über die kapillare Aufnahme von Wasser füllen. Die Flaschenhalbsporen und die Sackporen füllen sich nur unter Druck mit Wasser, da sich hier ein Gegendruck aufgrund der eingeschlossenen Luft aufbaut. In geschlossene Poren kann nur Wasserdampf eindringen. Durch Kondensation des Dampfes kann es zu einer, zumindest teilweisen, Befüllung kommen.

Hinsichtlich der Porengröße wird folgende Unterteilung vorgenommen:

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

Tabelle 3.1 Beispiele für vorherrschende Porengrößen in Baustoffen und den damit verbundenen hauptsächlichsten Wasseraufnahmemechanismen:

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

Eine kapillare Wasseraufnahme erfolgt lediglich in den Makroporen, weshalb sie üblicherweise auch als Kapillarporen bezeichnet werden. Mikroporen sind zu klein, um Wassermoleküle aufzunehmen, sie sind lediglich zugänglich für Wasserdampf. Luftporen wiederum sind für eine kapil-

lare Wasseraufnahme zu groß, sie haben kapillARBrechende Eigenschaften, sind aber für Wasserdampf zugänglich.

Die Frage des Wasseraufnahmevermögens von Poren hat einerseits Bedeutung für den möglichen Umfang der Feuchtebelastung der verschiedenen Baustoffe, ist andererseits aber auch von großer Bedeutung in Hinblick auf die Wirksamkeit von Injektionsverfahren bzw. auf die Auswahl des geeigneten Injektionsstoffes und der Einbringtechnologie.

## 3

### 3.2.2 Porenvolumen

Da lediglich die Poren eines Baustoffes mit Wasser oder einem anderen Stoff gefüllt werden können, ist das Porenvolumen zur Einschätzung der Feuchtebelastung, aber auch zur Einschätzung der notwendigen Menge des Injektionsgutes bei einer geplanten nachträglichen Abdichtung im Injektionsverfahren von wesentlicher Bedeutung.

Eine eindeutige Bestimmung des Gesamtporenvolumens erfolgt über eine Quecksilberdruckporosimetrie. Dabei werden die Poren unter Druck mit Quecksilber verfüllt. Eine derartige Untersuchung wird von verschiedenen Laboren angeboten, baupraktisch wird jedoch üblicherweise auf Tabellenwerte oder auf Messwerte von langfristig unter Wasser gelagerten Probekörpern zurückgegriffen.

Für die Bewertung von durchfeuchteten Baustoffen ist eine Unterscheidung zwischen scheinbarem und tatsächlichem Porenvolumen wesentlich. Während das tatsächliche Porenvolumen oder auch Gesamtporenvolumen alle Poren, also auch die für Wasser nicht zugänglichen Poren wie die geschlossenen Poren, beinhaltet, versteht man unter dem scheinbaren Porenvolumen das Volumen aller Poren, welche über die Kapillarität mit Wasser gefüllt werden können.

Wenn alle Poren mit Wasser gefüllt sind (Gesamtporenvolumen) hat der Baustoff seine (material-spezifische) Sättigungsfeuchte erreicht. Von Wasserkapazität oder freiwilligem Wassergehalt spricht man, wenn lediglich die kapillar zugänglichen Poren betrachtet werden (scheinbares Porenvolumen).

#### Beispiel

Ziegel mit einem tatsächlichen Porenvolumen von 29 % und einem scheinbaren Porenvolumen von 19 % können maximal 190 l Wasser pro m<sup>3</sup> kapillar aufnehmen, unter Druck jedoch maximal 290 l.

Die Differenz von 100 l ist von Bedeutung, wenn eine Einschätzung der Möglichkeit einer Druckinjektion erfolgen soll.

## 3.3 Wasseraufnahmemechanismen

In porösen Bauteilen sind nachfolgende Wassertransportmechanismen zu berücksichtigen:

- Wasserdampfdiffusion
- Oberflächendiffusion (stets gekoppelt mit Wasserdampfdiffusion)
- Lösungsdiffusion
- Kapillarität
- Sickerströmung
- Elektrokinese
- Wasserdampfkonvektion

Von den drei Diffusionsarten ist die Wasserdampfdiffusion in der Baupraxis von wesentlicher Bedeutung. Bei dieser Diffusion befinden sich die Wassermoleküle in gasförmigem Zustand. Die Bewegungsrichtung des Wasserdampfes ist immer in Richtung einer geringeren Konzentration, d. h. in Richtung eines vorhandenen Dampfdruckgefälles. Die Randbedingung ist ein durchgehendes Porensystem.

Bei der Kapillarität fließt Wasser in flüssiger Form in den Poren eines porösen Bauteiles durch die Wirkung einer vorhandenen Oberflächenspannung.

Bei der Sickerströmung fließt Wasser in flüssiger Form durch das Vorhandensein eines Druckgefälles. Die Oberflächenspannung ist hier ohne Bedeutung.

Bei der Elektrokinese wird flüssiges Wasser durch Einfluss von elektrisch vorhandenen Feldern im Porensystem bewegt.

Bei der Wasserdampfkonvektion werden Wassermoleküle in gasförmigem Zustand durch Luftströmung bewegt, welche durch Luftdruckunterschiede entsteht.

### 3.3.1 Kapillare Wasseraufnahme

Die häufigste Art der Wasseraufnahme von Baustoffen ist die kapillare Wasseraufnahme. Sofern die Poren eines Baustoffes groß genug für Wassermoleküle sind (Makroporen) und dieser Baustoff mit Wasser in Berührung kommt, erfolgt eine Wasseraufnahme auf kapillarem Wege.

Die kapillare Wasseraufnahme wird durch den baustoffspezifischen Wasseraufnahmekoeffizienten  $w$  dargestellt. Er wird experimentell nach DIN EN ISO 15 148 [22] bestimmt:

$$w = \text{Wasseraufnahme je Flächeneinheit} / \sqrt{t} \cdot [\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}]$$

Baupraktisch kann hier jedoch auf Tabellenwerte oder Herstellerangaben zurückgegriffen werden (siehe Tabelle 3.2).

Mit Hilfe des Wasseraufnahmekoeffizienten können die Baustoffe bezüglich ihres kapillaren Saugverhaltens einteilt werden [23]:

$W > 2,000 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$	starksaugend
$W \leq 2,000 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$	wasserhemmend
$W \leq 0,500 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$	wasserabweisend
$W \leq 0,001 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$	wasserdicht

Die kapillare Wasseraufnahme wird durch 2 Gesetze beschrieben:

1. Die maximale Steighöhe von Wasser kann näherungsweise wie folgt berechnet werden:

$$H_{\max} = 0,15/\text{Porenradius in cm.}$$

2. Die Sauggeschwindigkeit zu Beginn des Saugvorganges wird wie folgt ermittelt, wobei die Konstante  $K$  die Oberflächenspannung, das spezifische Gewicht, die Erdbeschleunigung und die Viskosität des Baustoffes enthält:

$$V = K \times \text{Porenradius [m/s]}$$

Materialspezifisch unterschiedlich ist die Geschwindigkeit und die maximale Steighöhe des Wassers bei diesem Wasseraufnahmemechanismus. Diese sind abhängig von den Porengrößen des Baumaterials.

Großporige Baustoffe weisen eine hohe Sauggeschwindigkeit, aber eine geringe Steighöhe auf, während Baustoffe mit kleinen Poren eine geringere Sauggeschwindigkeit bei einer größeren Steighöhe zeigen (siehe Bild 3.5).

Tabelle 3.2 Beispiele für Wasseraufnahmekoeffizient nach [1]; Tabelle 3.1

Material	Rohdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	W		B	$\Phi_k$	$\Phi_s$
		Wasseraufnahme- Koeffizient [kg/m <sup>2</sup> s <sup>0,5</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> h <sup>0,5</sup> ]	Wasser- eindring- Koeffizient [m/s <sup>0,5</sup> ] x 10 <sup>-3</sup>	Wasser- kapa- zität [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	Sätti- gungs- feuchtig- keitsgehalt [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
Vollziegel	A 1750	0,420	25,1	2,24	0,19	0,29
	B 2175	0,049	2,9	0,56	0,09	0,13
Hochloch- ziegel	C 1155	0,138	8,3	0,73	0,19	0,22
	D 1165	0,148	8,9	0,81	0,18	0,18
Kalksand- stein	A 1635	0,123	7,7	0,46	0,27	0,36
	B 1755	0,050	3,0	0,21	0,24	0,34
	C 1760	0,091	5,5	0,42	0,22	0,35
	D 1795	0,087	5,4	0,39	0,22	0,32
	E 1880	0,053	3,2	0,29	0,18	0,27
	F 1920	0,053	3,2	0,26	0,20	0,27
Schwerbeton	A 2290	0,030	1,8	0,22	0,14	
	B 2410	0,018	1,1	0,09	0,19	0,22
Bimsbeton	A 845	0,483	2,9			
	B 1085	0,032	1,9			0,40
Gasbeton	A 630	0,077	4,6	0,28	0,28	0,72
	B 600	0,071	4,2	0,25	0,28	0,71
	C 530	0,066	4,0	0,23	0,29	0,74
	D 620	0,110	6,5	0,38	0,29	0,72
	E 640	0,128	7,7	0,45	0,28	0,60
Gipsbauplatte	A 900	1,16	69	2,36	0,49	
	B 600	0,64	38	1,80	0,36	
Weißkalkputz		0,17	7,0			
Kalkzement- putz	A	0,03	2,0			
	B	0,06	4,0			
Zementputz	A	0,03	2,0			
	B	0,05	3,0			
Kunststoff- dispersions- beschichtung	A	0,001	0,05			
	B	0,003	0,2			

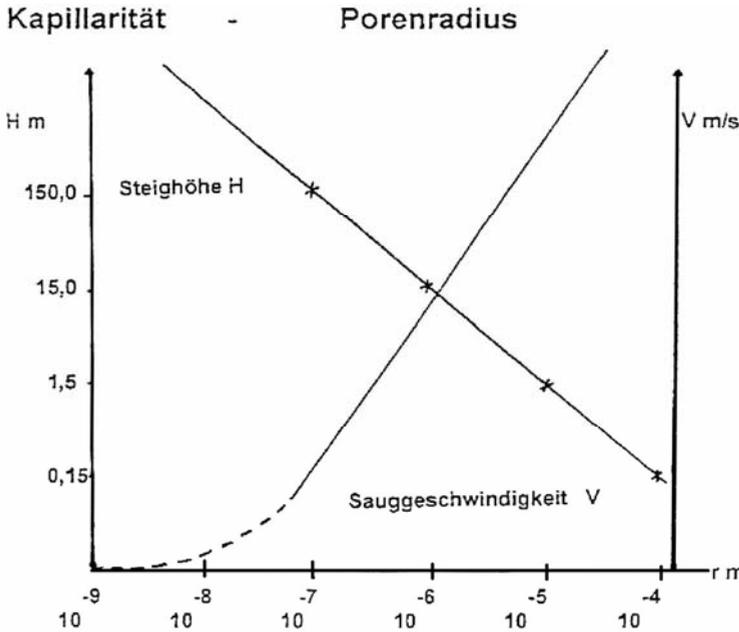


Bild 3.5 Steighöhe und Sauggeschwindigkeit sind umgekehrt abhängig von der Porengröße Quelle [1].

Anhand obiger Grafik ist erkennbar, dass durch Einsatz sehr kleinporiger Materialien (Sauggeschwindigkeit geht gegen Null) oder sehr großporiger Materialien (Saughöhe geht gegen Null), eine kapillare Wasseraufnahme verhindert bzw. eingeschränkt werden kann.

Tabelle 3.3 Beispiel

<b>kleinporige Materialien</b>	<b>großporige Materialien</b>
Dichtungsschlämmen	Wärmedämmputz
Beschichtungen: Glasuren, Lackierungen	Sanierputz
bituminöse Stoffe	Porenbeton
Natursteine, wie Granit	Natursteine, wie Basalt

Dem Erreichen der maximalen Steighöhe wirkt zusätzlich die Verdunstung entgegen. Je besser die Verdunstungsmöglichkeit am Mauerwerk ist, um so geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass die maximale Steighöhe erreicht wird. Dieser Zusammenhang bewirkt auch die typischen Schadensbilder an Sockelbereichen, wo als „Sanierungsmaßnahme“ für Feuchteschäden lediglich eine weitestgehend wasserdichte Beschichtung, z. B. durch Fliesen, Dichtungsschlämme, Zementputz, Kunststoffbeschichtung oder ähnlichem aufgebracht wurde. In diesen Fällen kommt es kurz bis mittelfristig zu einer Vergrößerung der Steighöhe und der damit verbundenen Verlagerung der Feuchteschäden.



**Bild 3.6**  
Vergrößerung der Steighöhe  
durch Anbringung eines Bunt-  
steinputzes



**Bild 3.7**  
Vergrößerung der Steighöhe  
durch Anbringung von Fliesen

Aus diesem Grund sollte ein Sockel möglichst diffusionsoffen sein aber eine geringe Wasseraufnahmefähigkeit besitzen.

Die Wasseraufnahme infolge kapillarer Feuchtigkeitsleitung kann vereinfacht mit der nachfolgenden Formel abgeschätzt werden:

$$W = w \cdot \sqrt{t_{(h)}} \quad (\text{kg}/\text{m}^2)$$

In der Gleichung sind:

$W$  = Wasseraufnahme je Flächeneinheit in  $\text{kg}/\text{m}^2$

$w$  = Wasseraufnahmekoeffizient in  $\text{kg}/(\text{m}^2 \text{h}^{0,5})$

$t$  = Zeit in Stunden in h

die Wasseraufnahmekoeffizienten sind der Fachliteratur [21] zu entnehmen (siehe Tabelle 3.2).