Jürgen Weber, Volker Hafkesbrink (Hrsg.)

Bauwerksabdichtung in der Altbausanierung

Jürgen Weber, Volker Hafkesbrink (Hrsg.)

Bauwerksabdichtung in der Altbausanierung

Verfahren und juristische Betrachtungsweise

Herausgegeben von:
Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Weber und
Rechtsanwalt Volker Hafkesbrink

Unter Mitarbeit von:
Dipl.-Ing. Ines Goschka
Dipl.-Ing. Stefan Hemmann
Rechtsanwalt Ulrich Kühne
Uwe Wild

Teubner

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

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

RA Volker Hafkesbrink, Rechtsanwalt mit Schwerpunkt Privates Baurecht und Architektenrecht

1. Auflage Juni 2006

Alle Rechte vorbehalten
© B.G. Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2006

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

Der B.G. Teubner Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.
www.teubner.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 Waren- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: Ulrike Weigel, www.CorporateDesignGroup.de
Druck und buchbinderische Verarbeitung: Strauss Offsetdruck, Mörlenbach
Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.
Printed in Germany

ISBN-10 3-519-00460-7
ISBN-13 978-3-519-00460-8

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 Rechtssprechung 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, dass 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. Ines Goschka

Studium des Bauingenieurwesens an der TH Leipzig. 1992-1996 Bauleitertätigkeit in einem Ingenieurbüro. 1997-2005 freiberufliche Mitarbeit in der Bürogemeinschaft für Bausachverständige in Leipzig. 2003 von der Handwerkskammer Halle für das Holz- und Bautenschutzgewerbe öffentlich bestellt und vereidigt und seitdem als Sachverständige in Sachsen-Anhalt tätig.

Email: ines.goschka@freenet.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

Email: 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

Email: 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

Email: Kuehne@Hafkesbrink-Kuehne.de

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

Email: info@svbuero-bau.de

Uwe Wild

Berufsausbildung als Steinmetz. Mitarbeit in der „Bürogemeinschaft für Bausachverständige“ in Leipzig seit 1998, zunächst als freier Sachverständiger. Von der Handwerkskammer zu Leipzig öffentlich bestellt und vereidigter Sachverständiger für das Bautrocknungsgewerbe seit 2002. Erweiterung des Bestellungsgebietes seit 2005 durch die Handwerkskammer zu Leipzig als öffentlich bestellt und vereidigter Sachverständiger für das Holz- und Bautenschutzgewerbe. Fachbuchautor.

Internet: www.svbuero-bau.de
www.wasserschaden-bautrocknung.de

Email: info@svbuero-bau.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort V

Autorenverzeichnis VII

1 Danksagung 1

2 Geschichtliche Entwicklung der Bauwerksabdichtung 2
von S. Hemmann
2.1 Literaturverzeichnis 6

3 Bauphysikalische und chemische Grundlagen 7
von I. Goschka
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 8
3.2 Poren und Porensysteme 9
3.2.1 Porenarten 10
3.2.2 Porenvolumen 11
3.3 Wasseraufnahmemechanismen 12
3.3.1 Kapillare Wasseraufnahme 12
3.3.2 Wasseraufnahme unter Druck 15
3.3.3 Hygroskopische Wasseraufnahme 15
3.3.4 Kondensation 16
3.3.5 Kapillarkondensation 18
3.4 Wasserbewegungen 18
3.4.1 Osmose 18
3.4.2 Diffusion 19
3.4.3 Phorese 20
3.5 Salze 20
3.5.1 Hygroskopische Wasseraufnahme durch Salze 22
3.5.2 Zerstörungsmechanismen von Salzen 22
3.6 Literaturverzeichnis 24

4 Voruntersuchung und Konzept 26
von J. Weber
4.1 Vorbemerkungen 26
4.2 Bestandsanalyse des Gebäudes und der Umgebung 27
4.3 Feuchtemessverfahren 29
4.3.1 Grundlagen 29
4.4 Mauerwerksdiagnostik 30
4.4.1 Vorbemerkungen 30
4.4.2 Bestimmung des Wassergehaltes 31
4.4.3 Feststellung des maximalen Wassergehaltes 32
4.4.4 Feststellung des kapillaren Durchfeuchtungsgrades 33
4.4.5 Feststellung der Reststaugfähigkeit 33
4.4.6 Feststellung der hygroskopischen Feuchte 34
4.4.7 Hygroskopischer Durchfeuchtungsgrad 35

4.4.8 Freiwilliger Wassergehalt ... 35
4.4.9 Feuchtezustand ... 36
4.4.10 Praktischer Wassergehalt ... 36
4.4.11 Elektrophysikalische Untersuchung ... 36
4.4.12 Salzanalyse ... 37
4.4.13 Feststellung statischer Gegebenheiten ... 39
4.5 Sanierungskonzept ... 40
4.6 Literaturverzeichnis ... 43

5 Nachträgliche mechanische Horizontalsperre ... 44
von U. Wild
5.1 Allgemeine Vorbemerkungen ... 44
5.2 Prinzip der Mechanischen Horizontalsperre ... 45
5.3 Klassifizierung der Mechanischen Verfahren ... 46
5.3.1 Einteilung der zur Verfügung stehenden Verfahren ... 46
5.3.2 Schneide- Sägeverfahren ... 48
5.3.3 V-Schnittverfahren ... 56
5.3.4 Blecheinschlagverfahren oder Rammverfahren ... 57
5.3.5 Maueraustauschverfahren ... 62
5.3.6 Kernbohrverfahren ... 62
5.4 Planung und Ausführung ... 63
5.4.1 Heranzuziehende Richtlinien und Erkenntnisquellen zur Planung, Ausführung und Bewertung mechanischer Horizontalsperren ... 63
5.4.2 Vorbereitungsphase (Bauzustandsanalyse) ... 63
5.4.3 Planungsphase (Fachplanung) ... 65
5.4.4 Besonderheiten bei der Kalkulation ... 67
5.4.5 Ausführung ... 67
5.5 Flankierende Maßnahmen ... 69
5.6 Leistungsverzeichnis ... 71
5.7 Zusammenfassende Schlussbemerkung ... 72
5.8 Literaturverzeichnis ... 75

6 Injektionsverfahren ... 76
von I. Goschka
6.1 Wirkprinzip der Injektionsverfahren ... 76
6.2 Injektionsmittel und ihre Wirkungsweise ... 77
6.3 Ausführung des Verfahrens ... 81
6.3.1 Drucklose Injektion ... 82
6.3.2 Druckinjektion ... 86
6.3.3 Gegenüberstellung drucklose Injektion und Druckinjektion ... 87
6.3.4 Flankierende Maßnahmen ... 87
6.4 Grenzen und Risiken des Verfahrens ... 88
6.5 Schleierinjektion ... 92
6.6 Literaturverzeichnis ... 93

7 Nachträgliche Vertikalabdichtung ... 95
von U. Wild
7.1 Allgemeine Vorbemerkungen ... 95
7.2 Lastfälle nach DIN 18 195 [1] ... 97
7.2.1 Zuordnung der einzelnen Abdichtungsarten nach DIN 18 195 [1] zu den möglichen Wasserbeanspruchungen und Bodenarten ... 97

7.2.2 Lastfall „Bodenfeuchtigkeit und nichtstauendes Sickerwasser“ ... 97
7.2.3 Lastfall „zeitweise aufstauendes Sickerwasser“ ... 97
7.2.4 Lastfall „nichtdrückendes Wasser auf Deckenflächen und in Nassräumen“ ... 97
7.3 Klassifizierung nach den Abdichtungsmaterialien ... 98
7.4 Kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen (KMB) ... 102
7.4.1 Materialeigenschaften ... 102
7.4.2 Heranzuziehende Richtlinien und Erkenntnisquellen ... 102
7.43 Planung und Ausschreibung ... 103
7.4.4 Ausführung ... 106
7.5 Dichtungsbahnen aus Bitumen und Polymerbitumen ... 120
7.5.1 Materialeigenschaften ... 120
7.5.2 Heranzuziehende Richtlinien und Erkenntnisquellen ... 122
7.5.3 Planung und Ausschreibung ... 122
7.5.4 Ausführung ... 123
7.6 Kunststoff- und Elastomer-Dichtungsbahnen ... 125
7.6.1 Materialeigenschaften ... 125
7.6.2 Heranzuziehende Richtlinien und Erkenntnisquellen ... 126
7.6.3 Planung und Ausschreibung ... 126
7.6.4 Ausführung ... 127
7.7 Dichtungsschlämmen ... 129
7.7.1 Materialeigenschaften ... 129
7.7.2 Heranzuziehende Richtlinien und Erkenntnisquellen ... 130
7.7.3 Planung und Ausschreibung ... 130
7.7.4 Anforderungen an den Untergrund ... 134
7.7.5 Verarbeitung ... 134
7.8 Injektionen ... 137
7.8.1 Kurzdarstellung der Technologie und Materialeigenschaften ... 137
7.8.2 Heranzuziehende Richtlinien und Erkenntnisquellen ... 139
7.8.3 Planung und Ausschreibung ... 139
7.8.4 Ausführung ... 141
7.9 Abdichtung mit Bentonit (Naturton) ... 143
7.9.1 Materialeigenschaften von Bentonit ... 143
7.9.2 Funktionsweise von Bentonitabdichtungen ... 144
7.9.3 Vorteile und Anwendungsgrenzen von Bentonitabdichtungen ... 144
7.9.4 Heranzuziehende Richtlinien und Erkenntnisquellen ... 145
7.9.5 Planung und Ausschreibung ... 145
7.9.6 Ausführung ... 146
7.10 Mechanischer Schutz (Schutzschichten) ... 147
7.10.1 Allgemeines ... 147
7.10.2 Materialien für Schutzlagen ... 147
7.10.3 Materialien für Schutzschichten ... 148
7.10.4 Heranzuziehende Richtlinien und Erkenntnisquellen ... 148
7.10.5 Planung und Ausschreibung ... 148
7.10.6 Ausführung ... 150
7.11 Leistungsverzeichnis Vertikalabdichtung ... 151
7.12 Zusammenfassende Schlussbemerkung ... 154
7.13 Literaturverzeichnis ... 155

8 Physikalische Verfahren ... 158
von J. Weber
8.1 Vorbemerkung ... 158

8.1.1 Lüftungsgräben und Lüftungskanäle ... 158
8.1.2 Lüftungszylinder und -röhrchen ... 162
8.2 Thermische Verfahren ... 164
8.3 Elektrophysikalische Verfahren ... 166
8.3.1 Vorbemerkung zum Verfahren Elektroosmose ... 166
8.3.2 Geschichtlicher Abriss ... 169
8.3.3 Elektrophysikalische Grundlagen ... 172
8.3.4 Passive elektroosmotische Verfahren ... 176
8.3.5 Aktive elektroosmotische Verfahren ... 179
8.4 Elektrochemische Verfahren ... 185
8.4.1 Vorbemerkung ... 185
8.4.2 Das AET-Verfahren ... 186
8.4.3 ETB-Verfahren ... 187
8.4.4 Kerasan-Verfahren ... 188
8.4.5 Fazit ... 189
8.5 Paraphysikalische Verfahren ... 190
8.5.1 Vorbemerkung zu paraphysikalischen Verfahren ... 190
8.5.2 Geschichtlicher Abriss ... 192
8.5.3 Passive Verfahren ... 205
8.5.4 Aktive Verfahren ... 211
8.5.5 Polarisierende Auseinandersetzung ... 216
8.5.6 Ähnlichkeiten zwischen Gestern und Heute ... 222
8.5.7 Technische Hinweise zum Vertrag ... 227
8.6 Aussichten ... 228
8.7 Literaturquelle- Elektrophysikalische Verfahren ... 229

9 Flankierende Maßnahmen ... 236
von S. Hemmann und J. Weber
9.1 Dränung ... 236
9.2 Sanierputze ... 243
9.3 Konstruktive Maßnahmen ... 249
9.4 Literatur ... 250

10 Qualitätsmanagement ... 251
von S. Hemmann
10.1 Einleitung ... 251
10.2 Planungsphase ... 252
10.3 Qualitätssicherung am Bau ... 252
10.4 Zusammenfassung ... 253
10.5 Literaturverzeichnis ... 254

11 Zivilrechtliche Grundlagen ... 255
von V. Hafkesbrink und U. Kühne
11.1 Mögliche Beteiligte am Bauvorhaben ... 255
11.1.1 Der Bauherr/Auftraggeber ... 255
11.1.2 Projektsteuerer, Projektmanager ... 255
11.1.3 Der Architekt ... 255
11.1.4 Sonderfachleute ... 256
11.1.5 Der Unternehmer/Auftragnehmer ... 256
11.1.6 Der Nachunternehmer ... 256
11.2 Rechtsgrundlagen des Werkvertrages ... 257

11.2.1 Die Regelungen des BGB zum Werkvertrag ... 257
11.2.2 Vertragsschluss ... 259
11.3 Verwendung Allgemeiner Geschäftsbedingungen und Bedeutung der gesetzlichen Regelungen – Unwirksame Klauseln im Bauvertrag – Anwendung der Vorschriften zu Allgemeinen Geschäftsbedingungen, §§ 305 ff. BGB ... 260
11.3.1 Einleitung ... 260
11.3.2 Allgemeine Geschäftsbedingungen ... 260
11.3.3 AGB in Bauverträgen ... 262
11.3.4 Einbeziehung der AGB in den Vertrag ... 263
11.3.5 Überraschende Klauseln, Unklarheiten ... 263
11.3.6 Folge der fehlenden Einbeziehung der vorformulierten Vertragsbedingungen bzw. der Unwirksamkeit ... 264
11.3.7 Preis- und Leistungsvereinbarungen in vorformulierten Vertragsbedingungen ... 265
11.3.8 Kernstück der AGB-Prüfung „die unangemessene Benachteiligung“ ... 265
11.4 Die VOB/B ... 266
11.5 Die VOB/C = Die Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen (ATV; insbesondere DIN 18336) ... 269
11.5.1 Allgemeines zu den ATV; Aufbau ... 269
11.5.2 ATV nicht per se anerkannte Regeln der Technik ... 270
11.5.3 Auslegung der ATV ... 270
11.5.4 Vertragliche Abänderung der ATV ... 271
11.5.5 ATV beim „reinen“ BGB-Vertrag ... 272
11.5.6 Allgemeines zur Heranziehung der ATV bei einer Vertragsauslegung ... 272
11.5.7 Die DIN 18336 ... 273
11.6 Die vereinbarte Leistung ... 274
11.6.1 Vertraglicher Leistungsumfang als Ausgangspunkt für Leistungsänderungen, zusätzliche Leistungen und mangelhafte Leistungen ... 274
11.6.2 Die für die Auslegung heranzuziehenden Vertragsunterlagen ... 274
11.6.3 Weitere für die Vertragsauslegung zu berücksichtigende Umstände; der geschuldete Erfolg ... 276
11.6.4 Anerkannte Regeln der Technik und Vertragsauslegung ... 278
11.6.5 Sonderproblem Altbausanierung ... 279
11.6.6 Vereinbarungen können auch über anerkannte Regeln der Technik hinausgehen ... 281
11.6.7 Die Vergütung bei zusätzlichen Arbeitsschritten zur Erreichung des durch Auslegung ermittelten Erfolgs ... 282
11.6.8 Funktionale Leistungsbeschreibung ... 284
11.6.9 § 9 VOB/A ... 284
11.6.10 Geltung und Bedeutung der ATV ... 285
11.6.11 Zusammenfassung; Schadensersatz bei Lücken ... 286
11.7 Die vereinbarte Vergütung ... 287
11.7.1 Einheitspreisvertrag ... 287
11.7.2 Pauschalpreisvertrag ... 291
11.7.3 Stundenlohnvertrag ... 292
11.7.4 Selbstkostenerstattungsvertrag ... 292
11.8 Nachträge ... 292
11.8.1 Leistungsänderung im BGB-Vertrag ... 292
11.8.2 Leistungsänderung im VOB-Vertrag ... 293
11.8.3 Vergütung für Leistungsänderungen ... 294
11.8.4 Massenabweichungen, § 2 Nr. 3 VOB/B ... 299

11.8.5 Änderungen bei Pauschalpreisvertrag ... 299
11.9 Die Durchführung des Bauvertrags bis zur Abnahme ... 302
11.9.1 Mängel vor Abnahme ... 303
11.9.2 BGB-Vertrag ... 304
11.10 Die Abnahme – Abnahme und Abnahmeverweigerung ... 304
11.10.1 Abnahmewirkungen ... 304
11.10.2 Definition der Abnahme ... 312
11.10.3 Die Abnahmeerklärung ... 313
11.10.4 Möglichkeiten der Abnahmeerklärung ... 313
11.10.5 Die förmliche Abnahme ... 314
11.10.6 Stillschweigende Abnahme durch schlüssiges bzw. konkludentes Verhalten ... 319
11.10.7 Fiktive Abnahme ... 320
11.10.8 Die Verpflichtung zur Abnahme – Voraussetzungen ... 323
11.10.9 Die Abnahme durch Fertigstellungsbescheinigung ... 326
11.10.10 Abnahme von Teilleistungen ... 327
11.10.11 Hinausschieben der Abnahme durch Auftraggeberklauseln ... 327
11.10.12 Abnahme nach Kündigung des Bauvertrages ... 328
11.11 Mängelansprüche im Bauvertrag ... 329
11.11.1 Allgemeines ... 329
11.11.2 Die Mängelansprüche im BGB-Werkvertrag ... 330
11.11.3 Der Mangel ... 338
11.11.4 Einwand des unverhältnismäßigen Aufwandes bei Abdichtung regelmäßig nicht gegeben ... 349
11.11.5 Die Sachmängelansprüche nach dem BGB ... 350
11.11.6 Sachmängelansprüche nach § 13 VOB/B ... 359
11.11.7 Haftung mehrerer und Mitverschulden ... 361
11.12 Die Haftung des Architekten ... 362
11.12.1 Mangelhafte Leistung ... 362
11.12.2 Mängel in der Leistungsphase 1 ... 363
11.12.3 Haftungsrisiken in der Leistungsphase 2 ... 363
11.12.4 Haftungsrisiken in der Leistungsphase 3 ... 364
11.12.5 Mögliche mangelhafte Leistungen in Leistungsphase 4 ... 365
11.12.6 Haftungsrisiken bei der Ausführungsplanung ... 365
11.12.7 Die haftungsträchtige Bauüberwachung (Leistungsphase 8) ... 366
11.12.8 Welche Rechte hat der Auftraggeber, wenn die Leistung mangelhaft ist? ... 367
11.13 Literatur ... 367

12 Checklisten ... 370
von S. Hemmann

Sachwortverzeichnis ... 375

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:

- 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)

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 8.5.2 und in Punkt 8.5.3 die Bilder 8.5.3-3 und 8.5.3-4 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 Abdichungen aus der Frühzeit der Menschheit mit Pechanstrichen bekannt, worunter Naturaspahltprodukte 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, dass 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. Jhd. 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.

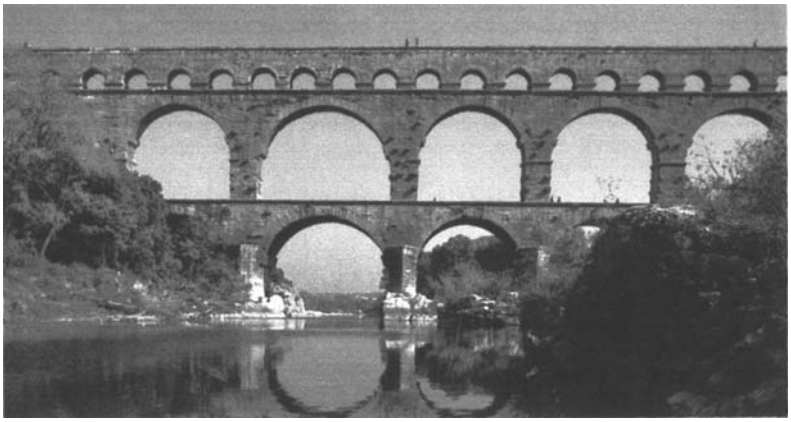
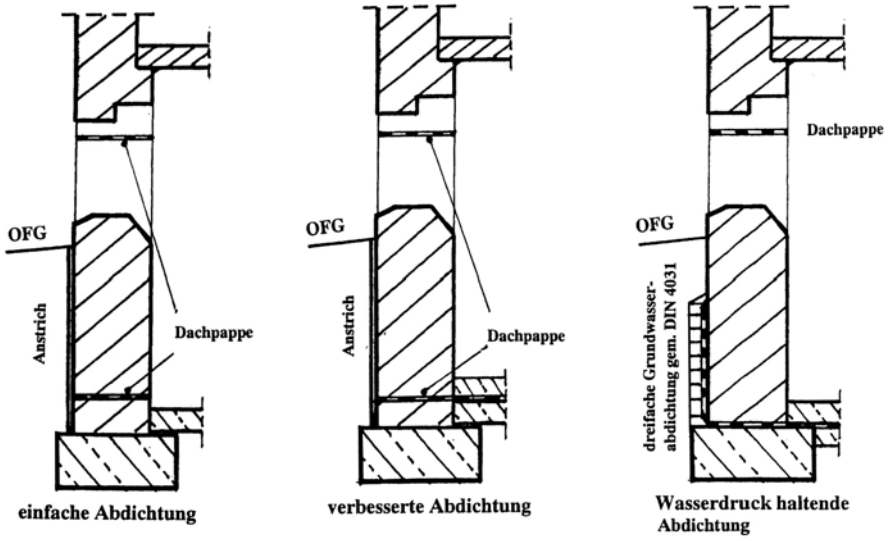


Bild **2.**1 Pont du Gard in Nimes-Südfrankreich 1. Jhd. v. Chr. von Römern erbaut, 19.Jhrd. restauriert

Erst mit zunehmenden Anstieg der Bevölkerung im 18. Jhd. 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 der Jahrhundertwende.

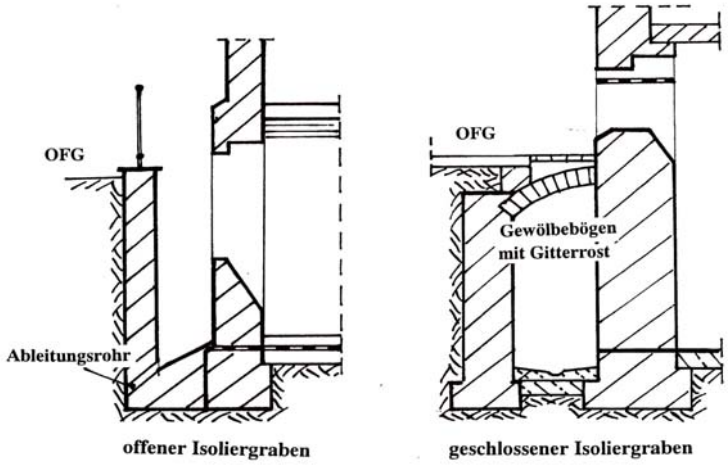


Skizze **2.**1

Die zunehmende Industrieentwicklung Anfang des 18. Jhd. (ca. 1828) machte es möglich, aus Teer, 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 ausgestatten Treppenhauseingängen, die oftmals mit hochwertigen Holztäfelungen 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 18.Jhd. 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.Jhd. hergestellt, als in Deutschland noch die Teerabdichtungen vorherrschend waren.

Erst durch den wirtschaftlichen Aufschwung Ende des 18. Jhd. 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, Asphaltschichten 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 (Herstellerrichtlinien) 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:

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

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 Entwicklungskenntnissen, wurde auch die Anzahl der Abdichtungstechniken und Abdichtungsmaterialien, zu denen auch wasserundurchlässiger Beton, Sperrmörtel und Dichtungsschlämmen 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.

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 geheimnissvollen 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

Tagungsband „Forum Bauwerksabdichtung 5. und 6. Mai 1999“, FBE-Forum Bauwerks Erhaltung e.V.

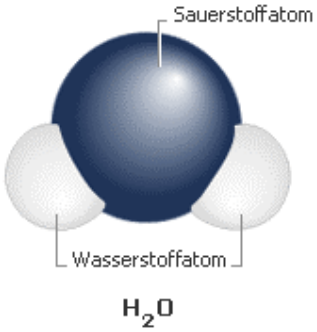
3 Bauphysikalische und chemische Grundlagen

von Ines Goschka

3.1 Chemie des Wassers

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 H_2O ausgedrückt wird.



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 Farnzosen 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 Grad.

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. 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 hinaus an der Wand „hochziehen".

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.

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° C und der Siedepunkt bei 100° C.

Wasser erreicht seine größte Dichte bei einer Temperatur von 4° C. Beim Gefrieren vergrößert sich sein Volumen. Die physikalischen Eigenschaften des Wassers dienten 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 Allgemeinen nur gelöste Mineralien. In fast allen natürlichen Trinkwasserreservoiren 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-Tauwechsel 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 teil-

weise erheblich zu vergrößern. Die dabei entstehenden Drücke führen ebenfalls zu Festigkeitsverlusten an Baustoffen.

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

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.

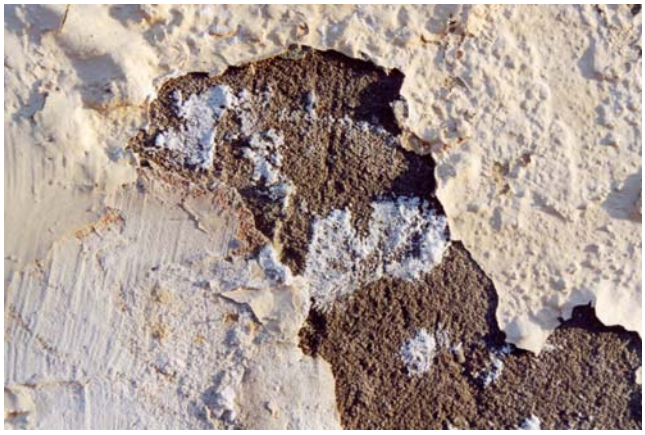


Bild **3.**1
Schäden aufgrund von Salzen

Bild **3.**2
Feuchteschäden aufgrund einer undichten Terrassenabdichtung

3.2 Poren und Porensysteme

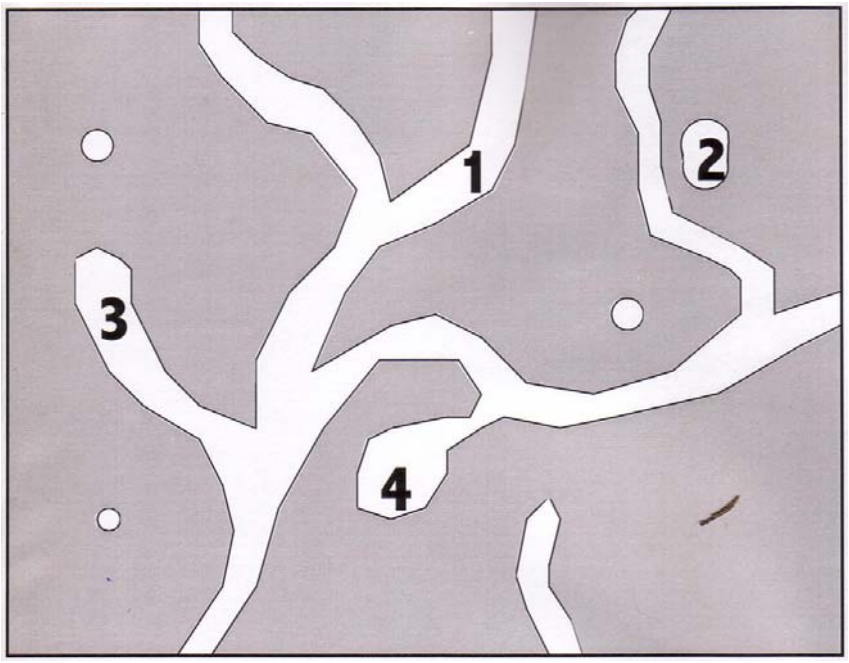
Das Vermögen von Baustoffen, Wasser aufzunehmen ist bekanntermaßen sehr unterschiedlich. Grund hierfür sind die verschiedenen Porensysteme. Aus diesem Grund werden im Folgendem die verschiedenen Poren und Porensysteme einer Betrachtung unterzogen.

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



Skizze 3.1 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 Flaschenhalsporen und die Sackporen füllen sich nur unter Druck mit Wasser, das 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 hauptsächlichen 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. Mikorporen sind zu klein, um Wassermoleküle aufzunehmen, sie sind lediglich zugänglich für Wasserdampf. Luftporen wiederum sind für eine kapillare 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 Injektionsmitteln bzw. auf die Auswahl des geeigneten Injektionsgutes und -verfahrens.

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 (materialspezifische) Sättigungsfeuchte erreicht. Von Wasserkapazität oder freiwilligem Wassergehalt spricht man, wenn lediglich die kapillar zugänglichen Poren betrachtet werden (scheinbares Porenvolumen).

Beispiel

Ziegel mit einem tatsächlichem Porenvolumen von 29 % und einem scheinbaren Porenvolumen von 19 % können maximal 190 *l* Wasser pro m^3 kapillar aufnehmen, unter Druck jedoch maximal 290 *l*.

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

3.3 Wasseraufnahmemechanismen

3.3.1 Kapillare Wasseraufnahme

3

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 52617 bestimmt:

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

Baupraktisch kann hier jedoch auf Tabellenwerte oder Herstellerangaben zurückgeriffen werden.

Tabelle 3.2 Beispiele für Wasseraufnahmekoeffizient nach [1] Tabelle 3.1

			W		B	Φ_k	Φ_s
Material		Rohdichte [kg/m³]	Wasseraufnahme-Koeffizient		Wassereindring-Koeffizient	Wasserkapazität	Sättigungsfeuchtigkeitsgehalt
			[kg/m² $s^{0,5}$]	[kg/m² $h^{0,5}$]	[m/$s^{0,5}$] x 10^{-3}	[m³/m³]	[m³/m³]
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
Hochlochziegel	C	1155	0,138	8,3	0,73	0,19	0,22
	D	1165	0,148	8,9	0,81	0,18	0,18
Kalksandstein	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			
Kalkzementputz	A		0,03	2,0			
	B		0,06	4,0			
Zementputz	A		0,03	2,0			
	B		0,05	3,0			
Kunststoffdispersionsbeschichtung	A		0,001	0,05			
	B		0,003	0,2			

Die kapillare Wasseraufnahme wird durch 2 Gesetze beschrieben:

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

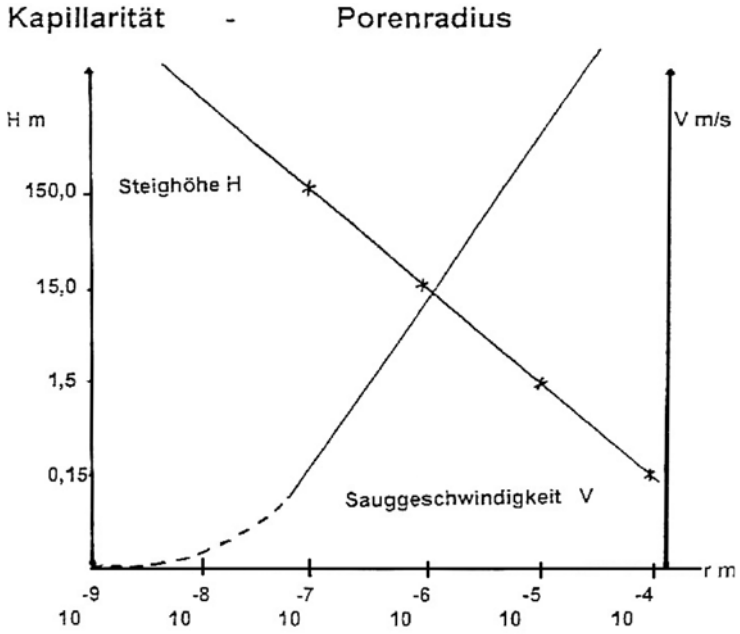
$$H_{max} = 0{,}15/\text{Porenradius in cm.}$$

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 Wassseraufnahmemechanismus. 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.



Skizze 3.2 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.

Beispiele:

kleinporige Materialien	großporige Materialien
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 3.3
Vergrößerung der Steighöhe durch Anbringung eines Buntsteinputzes

Bild 3.4
Vergrößerung der Steighöhe durch Anbringung von Fliesen

3.3.2 Wasseraufnahme unter Druck

Durch anstehendes Druckwasser wird die kapillare Wasseraufnahme von Baustoffen hinsichtlich der Steighöhe und Geschwindigkeit verstärkt. Zusätzlich kann eine Befüllung der Poren, die sonst kapillar nicht zugänglich wären, also der Luftporen, Sackporen und Flaschenhalsporen erfolgen. Im ungünstigsten Fall sind alle Poren mit Wasser gefüllt, ist also die Sättigungsfeuchte erreicht.

Bei anstehendem Druckwasser ist es deshalb um so wichtiger durch Probennahme und -untersuchung zu klären, ob und mit welchen Material eine nachträgliche Horizontalsperrung im Injektionsverfahren möglich ist. Ggf. sind hier zusätzliche Maßnahmen zu planen.

Die Wasseraufnahme unter Druck wird durch das Darcy´sche Gesetz beschrieben:

$$I = k \times d_p/d_x \quad I = \text{Massenstromdichte [g/s]}$$

k = experimentell ermittelte materialspezifische Durchlässigkeit (Tabellenwert)
d_p = Druckunterschied des anstehenden Wassers [N/m^2]
d_x = Dicke des Bauteil [m]

3.3.3 Hygroskopische Wasseraufnahme

Bei der hygroskopischen Wasseraufnahme handelt es sich um die Aufnahme von Wasser in einem Baustoff in gasförmigen Zustand.

In der Umgebungsluft des Bauteils ist immer Wasser in gasförmigen Zustand vorhanden. Sind nun im Baustoff Salze eingelagert, sind diese in der Lage Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft aufzunehmen.

Zu Salzen in Baustoffen kommt es aufgrund von chemischen Umwandlungen aber vor allem aufgrund von kapillaren Wassertransporten, da, wie bereits erläutert, Wasser als Lösung am Gebäude ansteht.

In Abhängigkeit von der Menge und der Art der eingelagerten Salze kann die hygroskopisch verursachte Feuchtebelastung an einem Mauerwerk größer sein als die Feuchtebelastung durch kapillare Wassertransporte. Dies ist insofern von Bedeutung, da die hygroskopische Feuchteaufnahme durch nachträgliche Abdichtungsmaßnahmen **nicht** verringert wird. Im Zuge der Sanierungsplanung ist es deshalb unbedingt erforderlich eine Bauzustandsanalyse inklusive einer Feuchtebilanz durchzuführen, um die für das konkrete Objekt tatsächlich notwendigen Sanierungsleistungen festlegen zu können.

Typisch für eine vorrangig hygroskopische Feuchtebelastung in der Altbausanierung sind Bauteile an undichten Abwassergruben, Wände an ehemaligen Außen-WC´s und Stallgebäude. Grund hierfür ist der in Abwässern und Fäkalien hohe Nitratgehalt. Nitrate sind stark hygroskopisch, eine Feuchteaufnahme erfolgt durch Nitratsalze bereits ab einer relativen Luftfeuchte von 50 %.

In der Altbausanierung sind neben den Nitraten vorrangig noch Chloride und Sulfate anzutreffen und in der Bauzustandsanalyse zu beachten. Auch diese Salzverbindungen wirken hygroskopisch, wobei diese aber den Nitraten deutlich nachstehen.

Aus diesem Grund erfolgt die Einschätzung und Bewertung von Salzen im Mauerwerk im WTA-Merkblatt 4-5-99 „Mauerwerks diagnostik“ in Abhängigkeit von der Salzart und des Salzgehaltes wie folgt:

Tabelle **3.**3 Bewertung der schadensverursachenden Wirkung verschiedener Salzionen in Mauerwerkskörpern (Angabe in Masse-%) nach Tabelle 8 aus [4]

Chloride [1]	< 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5
Nitrate	< 0,1	0,1 – 0,3	> 0,3
Sulfate [2]	< 0,5	0,5 – 1,5	> 1,5
Bewertung [3]	Belastung gering-Maßnahmen im Ausnahmefall erforderlich	Belastung mittel-Weitergehende Untersuchungen zum Gesamtsalzgehalt (Salzverbindung, Kationnenbestimmung) erforderlich Maßnahme im Einzelfall erforderlich	Belastung hoch-Weitergehende Untersuchungen zum Gesamtsalzgehalt (Salzverbindung, Kationnenbestimmung) erforderlich Maßnahmen erforderlich

1) Bei tragwerksichernden Maßnahmen, wie dem Einbau von Ankern/Nadeln, ist bei Chloridbelastungen < 0,1 M-% auf die Auswahl besonderer Stahlgüten und speziell rezeptierter Verpress-/Verfüllmörtel zu achten.
2) Beurteilung bezogen auf leicht lösbare Sulfate; besonders zu bewerten sind sulfathaltige Baustoffe.
3) Für die Entscheidung über das Erfordernis von Maßnahmen sind nicht allein die Ergebnisse der Salzuntersuchung ausschlaggebend.

3.3.4 Kondensation

Die Kondensation beschreibt den Übergang eines Stoffes von dem gasförmigen in den flüssigen (oder auch festen) Aggregatzustand, aufgrund von Abkühlung.

Im hier angesprochenen Themenfeld handelt es sich bei der Kondensation um eine Wasseraufnahme aus der Raumluft aufgrund von geringen Bauteiltemperaturen.

Zur Einschätzung dieses Mechanismus ist es erforderlich, den Feuchtegehalt der Luft genauer zu betrachten. Dieser wird üblicherweise als relative Luftfeuchtigkeit angegeben.

Die relative Luftfeuchtigkeit wird ermittelt aus dem Verhältnis zwischen dem tatsächlichen Feuchtegehalt und dem maximalen Feuchtegehalt der Luft.:

rel. Luftfeuchte [%] = tat. Feuchtegehalt [g/m^3]/max. Feuchtegehalt [g/m^3] × 100

Der maximale Feuchtegehalt, auch Sättigungsfeuchte, ist die Menge Wasser, welche die Umgebungsluft als Wasserdampf maximal aufnehmen kann und ist abhängig von der Lufttemperatur. Je höher die Lufttemperatur ist, um so mehr Wasser kann aufgenommen werden bzw. umgekehrt je geringer die Temperatur ist, um so weniger Wasser ist erforderlich, um die Sättigungsfeuchte zu erreichen.

Tabelle **3.**4 Sättigungsmenge W_S von Wasserdampf in g/m^3 in Luft der Temperatur ν°C; Auszug aus der Tafel **10.**21a [11]

ν	– 6	– 2	0	2	6	8	10	12	14	16	18	20	25
Ws	2,99	4,13	4,80	5,60	7,30	8,30	9,40	10,7	12,1	13,6	15,4	17,3	23,0

Durch Veränderung der Temperatur kommt es daher bei gleichem tatsächlichem Feuchtegehalt zu einer Veränderung der relativen Luftfeuchte.

Wird die Temperatur nach Erreichen der Sättigungsfeuchte (rel. Luftfeuchte = 100 %) weiter abgekühlt, erfolgt die Kondensation des Wassers. Die Temperatur, bei welcher eine relative Luftfeuchte von 100 % erreicht wird, nennt man den Taupunkt.

Da der Taupunkt von der Lufttemperatur und der Menge des in der Luft befindlichen Wassers abhängig ist, ist es zu empfehlen, zur Einschätzung der Kondenswassergefährdung entsprechende Tabellen heranzuziehen:

Tabelle **3.**5 Taupunkttemperaturen in Abhängigkeit von Raumtemperatur und relativer Luftfeuchte nach Tafel **10.**21b aus [11]

Näherungsgleichung für ϑ und $\vartheta_s \geq 0$:
$\vartheta_s = (\varphi/100)^{0,127} (109{,}8 + \vartheta) - 109{,}8$

ϑ	Taupunkttemperatur ϑ_s in °C bei einer relativen Luftfeuchte φ von													
°C	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %
30	10,5	12.9	14.9	16.8	18.4	20.0	21.4	22.7	23,9	25.1	26.2	27,2	28.2	29.1
29	9,7	12.0	14,0	15,9	17.5	19.0	20,4	21.7	23,0	24.1	25.2	26,2	27.2	28.1
28	8,8	11.1	13,1	15,0	16.6	18,1	19,5	20.8	22,0	23.2	24.2	25,2	26.2	27.1
27	8,0	10.2	12.2	14.1	15.7	17.2	18.6	19.9	21,1	22.2	23.3	24.3	25.2	26.1
26	7,1	9.4	11,4	13.2	14.8	16.3	17.6	18.9	20,1	21.2	22.3	23,3	24.2	25.1
25	6,2	8.5	10.5	12,2	13.9	15.3	16.7	18.0	19,1	20.3	21.3	22,3	23.2	24.1
24	5,4	7.6	9.6	11.3	12.9	14,4	15.8	17.0	18,2	19.3	20.3	21.3	22.3	23.1
23	4,5	6.7	8,7	10,4	12.0	13,5	14,8	16.1	17,2	18,3	19.4	20,3	21.3	22.2
22	3,6	5.9	7.8	9,5	11.1	12.5	13.9	15.1	16,3	17.4	18.4	19,4	20,3	21.2
21	2.8	5.0	6.9	8.6	10.2	11.6	12.9	14.2	15,3	16.4	17.4	18.4	19.3	20.2
20	1.9	4.1	6.0	7.7	9.3	10.7	12.0	13.2	14.4	15.4	16.4	17.4	18.3	19.2
19	1,0	3,2	5.1	6,8	8,3	9,8	11.1	12.3	13,4	14,5	15.5	16,4	17,3	18.2
18	0,2	2.3	4.2	5,9	7.4	8,8	10.1	11.3	12,5	13,5	14,5	15,4	16,3	17.2
17	−0,6	1.4	3.3	5.0	6.5	7.9	9,2	10.4	11,5	12,5	13.5	14,5	15.3	16.2
16	−1,4	0.5	2.4	4.1	5.6	7.0	8.2	9.4	10,5	11.6	12.6	13,5	14,4	15.2
15	−2,2	−0.3	1.5	3,2	4.7	6.1	7.3	8.5	9,6	10.6	11.6	12,5	13,4	14,2
14	−2,9	−1.0	0.6	2,3	3,7	5.1	6,4	7,5	8,6	9,6	10.6	11,5	12,4	13,2
13	−3,7	−1,9	−0.1	1.3	2.8	4.2	5.5	6.6	7.7	8.7	9.6	10,5	11.4	12.2
12	−4,5	−2.6	−1.0	0,4	1.9	3.2	4,5	5.7	6,7	7,7	8.7	9.6	10,4	11.2
11	−5,2	−3.4	−1,8	−0,4	1.0	2.3	3.5	4.7	5.8	6.7	7.7	8.6	9.4	10.2
10	−6,0	−4.2	−2,6	−1.2	0.1	1.4	2.6	3.7	4.8	5.8	6.7	7.6	8.4	9.2

Beispiel 1:

In einem Altbaukeller werden 70 % relative Luftfeuchte bei einer Raumtemperatur von 14° C gemessen. Entsprechend obiger Tabelle liegt der Taupunkt bei diesen Bedingungen bei 8,6° C. Sofern nun Wandflächen oder Wandbereiche (z.B. Außenecken) diese in Altbaukellern nicht unübliche Oberflächentemperatur aufweisen oder unterschreiten, kommt es hier zu einem Wassereintrag aufgrund von Kondensation.

Beispiel 2:

Die Nutzer o.g. Altbaukellers lüften in den Sommermonaten ihren Keller, da dieser „feucht und muffig“ ist. Im Außenbereich herrscht eine relative Luftfeuchte von 40 % bei einer Lufttemperatur von 25° C. Durch Abkühlung dieser Luft im Keller auf 14° C wird dadurch eine relative Luftfeuchte von ca. 76 % künstlich erzeugt. Die Taupunkttemperatur liegt hierfür bei 9,8° C. Das heißt, dass es nunmehr auch an Wandflächen zur Kondenswasserbildung kommt, an denen ohne Lüftung kein Wasser ausgefallen wäre. Der Keller wurde durch die Lüftung zusätzlich mit Feuchtigkeit belastet.

Rechengang:

Sättigungsfeuchte bei 25° C 23,0 g/m^3
Wassergehalt bei 40 % rel. Luftfeuchte 9,2 g/m^3
Sättigungsfeuchte bei 14° C 12,1 g/m^3

$$\frac{12{,}1}{100\,\%} = \frac{9{,}2}{x\,\%}$$

relative Luftfeuchte im Raum in Prozent $= 9{,}2 \times 100\,\%/12{,}1$
$= 76{,}03\,\%$

Der Taupunkt bei 76 % relativer Luftfeuchte und einer Raumtemperatur von 14° C liegt entsprechend obiger Tabelle bei 9,8° C.

Aus obigem Beispiel ist ersichtlich, dass eine Kellerlüftung zur Feuchtereduzierung nicht abhängig von der relativen Luftfeuchte ist, sondern vielmehr auf Grundlage des tatsächlichen Feuchtegehaltes der Luft durchgeführt werden muss. Während dieser Sachverhalt in den Wintermonaten eher zu vernachlässigen ist, empfiehlt sich eine Lüftung in den Sommermonaten daher vorrangig in den Morgenstunden:

Bei einer Außentemperatur von 10° C und einer relativen Luftfeuchte von 85 % kommt es durch Erwärmung dieser Luft im Keller zu einer Verringerung des Feuchtegehaltes der Kellerluft.

Rechengang:

Sättigungsfeuchte bei 10° C	9,4 g/m^3
Wassergehalt bei 80 % rel. Luftfeuchte	7,52 g/m^3
Sättigungsfeuchte bei 14° C	12,1 g/m^3
Wassergehalt bei 70 % rel. Luftfeuchte	8,47 g/m^3

Durch einen Luftaustausch würde dadurch die relative Luftfeuchte auf ca. 62 % verringert werden. Der Taupunkt würde nun bei ca. 7° C liegen.

3.3.5 Kapillarkondensation

Eine Sonderform der Kondensation ist die Kapillarkondensation. In sehr feinen Kapillaren, d.h. Kapillaren mit einem Durchmesser von ca. 10^{-3} bis 10^{-7} m, kommt es bereits vor dem Erreichen der Sättigungsfeuchte zur Kondensation und damit zum Abscheiden von Wasser.

Dieser Wasseraufnahmemechanismus ist mitverantwortlich für die Ausgleichsfeuchte eines Bauteils.

3.4 Wasserbewegungen

Zur Einschätzung von Feuchtigkeitsbewegungen in Bauteilen ist es erforderlich die Möglichkeiten der Bewegungen von Wasser zu betrachten.

3.4.1 Osmose

Osmose ist ein physikalischer Mechanismus, bei dem eine Flüssigkeit durch eine „halbdurchlässige“ Wand hindurchtritt. Voraussetzung hierfür ist, dass das Wasser auf beiden Seiten der Wand in unterschiedlicher Konzentration Lösungsstoffe enthält.

Dabei fließt Wasser aus der weniger stark konzentrierten Lösung durch die halbdurchlässige Wand und verdünnt die stärker konzentrierte Lösung bis zum Konzentrationsausgleich.

Baupraktisch ist dieser Vorgang vorrangig in Hinblick auf salzbelastetes Mauerwerk von Bedeutung. In den Verdunstungszonen ist naturgemäß eine höher konzentrierte Salzlösung vorhanden, als in den angrenzenden Bereichen. Mit dem Ziel des Konzentrationsausgleiches fließt nun zusätzlich zum kapillaren Wassertransport und zur hygroskopischen Feuchteaufnahme Wasser in diese Bereiche.

Die Erläuterung der „Elektro-Osmose“ erfolgt im Abschnitt 8.3.3