

D 6 Analyse von Feuchte- und Salzschäden an historischen Gebäuden (komplexe Feuchtediagnostik)

Axel C. Rahn, Michael Bonk

Prof. Dipl.-Ing. Axel C. Rahn
Ingenieurbüro Axel C. Rahn GmbH Die Bauphysiker
Rosenheimer Straße 20, D-10779 Berlin

Jahrgang 1957. Studium des Bauingenieurwesens an der TU Berlin. 1984–1986 Mitarbeiter an der TU Berlin bei Prof. Dr. E. Cziesielski. 1986 Gründung des Ingenieurbüros Axel C. Rahn GmbH Die Bauphysiker. Seit 1993 von der Industrie- und Handelskammer zu Berlin öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Schäden an Gebäuden. Seit 2002 Erweiterung des Bestellungstenors um das Fachgebiet Bauphysik. 1996–2002 Prof. für Bauphysik an der Fachhochschule Potsdam. Seit 2003 Lehrauftrag an der Fachhochschule Potsdam. Vorstandsmitglied im Bundesverband Feuchte- und Altbausanierung. Zahlreiche Fachveröffentlichungen.



Dipl.-Ing. Michael Bonk
CRP Ingenieurgemeinschaft Cziesielski, Ruhnu + Partner GmbH
Max-Dohrn-Str. 10, D-10589 Berlin

Jahrgang 1962. Studium des Bauingenieurwesens an der TU Berlin. 1987–1994 Tätigkeit als Sachverständiger für Bauphysik und Baukonstruktionen. Seit 1995 geschäftsführender Gesellschafter der CRP Ingenieurgemeinschaft Cziesielski, Ruhnu + Partner GmbH. Seit 1995 von der IHK Berlin öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Wärmeschutz, Feuchteschutz und Abdichtungen von Bauwerken. Seit 2003 Mitglied des IHK-Fachgremiums/Prüfungsausschusses für „Schäden an Gebäuden“. Zahlreiche Fachveröffentlichungen.



Bauphysik-Kalender 2008
Herausgegeben von Nabil A. Fouad
Copyright © 2008 Ernst & Sohn, Berlin
ISBN 978-3-433-01873-6

Inhalt

1	Einleitung	471	4.3	Feuchtemessverfahren	476
			4.4	Bestandsaufnahme	479
2	Feuchtetransport und bauschädliche Salze	471	5	Komplexe Feuchtediagnostik	481
3	Vorhandene bzw. nicht vorhandene Regelwerke	474	5.1	Notwendigkeit der komplexen Feuchtediagnostik	481
4	Voruntersuchungen und Bestandsaufnahme	474	5.2	Bestimmung von Feuchteprofilen	481
			5.3	Bestimmung von Schadsalzprofilen	484
4.1	Voruntersuchungen	474	6	Fazit	485
4.2	Ortung von Leckagen	476	7	Literatur	485

1 Einleitung

Baumaßnahmen im Bestand haben nicht nur in letzter Zeit an Bedeutung gewonnen, sondern werden auch künftig noch zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die Erfahrung als Bausachverständiger zeigt hierbei auf, dass es nach derartigen Baumaßnahmen häufig zu Rechtsstreitigkeiten kommt. Die Ursache für eine Vielzahl von hieraus resultierenden Auseinandersetzungen ist, dass sowohl Planer als auch Ausführende an das Projekt herangegangen sind wie bei einem Neubauvorhaben. Im Regelfall haben die Beteiligten ihre Verantwortung im Umgang mit einem Bestandsgebäude nicht erkannt. Wissen und Erfahrungen über Baumaßnahmen im Bestand bieten eine große Chance, Fehler und Schäden zu vermeiden. Diese Chance müssen jedoch Bauherr und Planer wahrnehmen. Die Chance besteht darin, das Gebäude „Lesen zu lernen“. Das heißt, im Rahmen einer umfassenden Bestandsaufnahme zu erkennen, *wie* das Gebäude „funktioniert“ hat, *wo* es nicht „funktioniert“ hat, bzw. *warum* es nicht funktioniert hat. Dies ist die Grundlage für die Erarbeitung und Entscheidung im Hinblick auf die notwendigen Modernisierungs-, Instandsetzungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen, die natürlich nicht nur von den festgestellten Schadensbildern abhängig sind, sondern auch davon, wie durch bauliche oder nutzungsbedingte Veränderungen das Gebäude sich in seiner Gesamtheit verhält.

Ein Element der Bauwerksdiagnostik ist hierbei die komplexe Feuchtediagnostik. Nicht nur bei historisch „wertvollen“, denkmalgeschützten Gebäuden, sondern bei allen Gebäuden, bei denen Baumaßnahmen im Bestand vorgesehen werden und Feuchteschäden oder auch Salzschaäden im Bereich der erdberührten Bauteile vorhanden sind, ist eine komplexe Feuchtediagnostik zwingende Voraussetzung zur Festlegung von wirtschaftlich sinnvollen Sanierungsmaßnahmen und zur Einschätzung möglicher Restrisiken! Die Planung und Durchführung von Sanierungsmaßnahmen ohne Durchführung einer komplexen Feuchtediagnostik muss in derartigen Fällen als fahrlässig, wenn nicht sogar als grob fahrlässig bewertet werden.

Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über Feuchttransport und bauschädliche Salze, vorhandene bzw. nicht vorhandene Regelwerke, Voruntersuchungen und Bestandsaufnahme sowie die Durchführung der komplexen Feuchtediagnostik.

2 Feuchttransport und bauschädliche Salze

An zahlreichen historischen Gebäuden treten vorzugsweise im Bereich der Gründungsbauwerke sowie im Bereich der Sockelzonen Feuchteschäden sowie Salzschaäden auf. Charakteristisch für derartige Schadensbilder ist, dass ursprünglich vorhandene Putzschichten zerstört sind, Mauerwerksfugen aussanden sowie Absprengungen am Mauerwerk auftreten (Bild 1). Einhergehend mit diesen Schadensbildern treten in der Regel weißliche Salzausblühungen mit verschiedenartigen Kristallisationsformen auf. Die Ursache für derartige Schäden liegt in dem Zusammenwirken von Feuchtigkeit und bauschädlichen Salzen begründet, wobei insbesondere die Art und die Intensität der im Bauteil vorhandenen bauschädlichen Salze eine maßgebliche Rolle spielt. Hauptversursacher derartiger Schadensbilder an historischen Gebäuden ist Feuchtigkeit, wobei der Schädigungsmechanismus weniger von der Feuchtigkeit selbst, sondern vielmehr von den

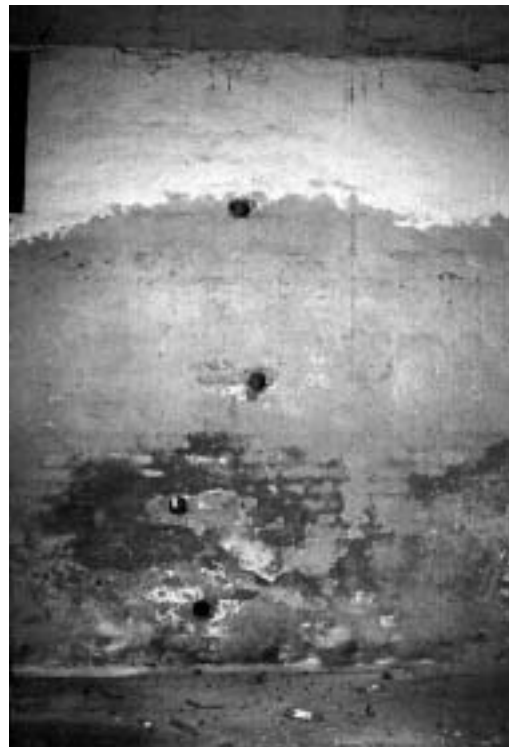


Bild 1. Feuchte- und Salzschaäden in Form von Putzablösungen und Salzkristallisation im Bereich einer erdberührten Außenwand

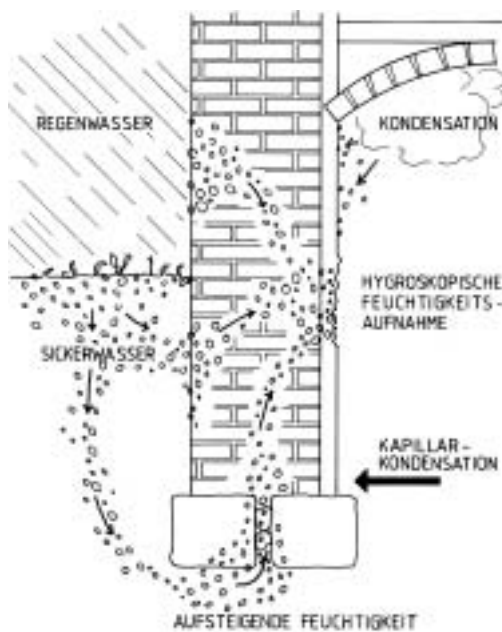


Bild 2. Feuchte-transport und Wasseraufnahmemechanismen von einer erdberührten Kelleraußenwand

mit der Feuchtigkeit transportierten Schadstoffen ausgeht. Vor diesem Hintergrund ist zum einen die Kenntnis der Feuchte-transportmechanismen wie zum anderen die Kenntnis der Schädigungsmechanismen bauschädlicher Salze zur fachgerechten Beurteilung derartiger Schadensbilder zwingend erforderlich. In Bild 2 sind hierzu die

wesentlichen Wasseraufnahmemechanismen einer Kelleraußenwand dargestellt.

Im Hinblick auf eine wirksame und nachhaltige Sanierung ist die Kenntnis der für das Schadensbild maßgeblichen Feuchte-transportmechanismen von maßgeblicher Bedeutung. Um eine auf den jeweiligen Einzelfall abgestimmte kostengünstige, wirksame und nachhaltige Sanierungsmaßnahme zu erarbeiten, ist die Feuchteverteilung über den Bauteilquerschnitt und über die Bauteilhöhe zu ermitteln. Durch die Gegenüberstellung der ermittelten Feuchteverteilung am jeweiligen Objekt mit den im Bild 3 dargestellten Vergleichsprofilen lässt sich eine Aussage dahingehend treffen, welcher Feuchte-transport-/Feuchteaufnahmemechanismus für die festgestellte Feuchteverteilung hauptverantwortlich ist.

Bauschädliche Salze können hierbei über den Feuchte-transport in gelöster Form in das Bauwerk gelangen. In Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Baustoffe reagieren sie hierbei mit diesem. In Tabelle 1 sind einige der maßgeblichen bauschädlichen Salze zusammengestellt. Zu den am häufigsten vorkommenden bauschädlichen Salzen sei Folgendes angemerkt:

Chloride

Chloride können bei Bränden von PVC-Teilen, als Streusalz oder durch salzsäurehaltige Reinigungsmittel in Bauteile eindringen. Chloride haben hierbei die Eigenschaft, dass sie den Gefrierpunkt von Wasser herabsetzen und in Verbindung mit Wasser die Stahlkorrosion und hierbei insbesondere die Lochfraßkorrosion fördern.

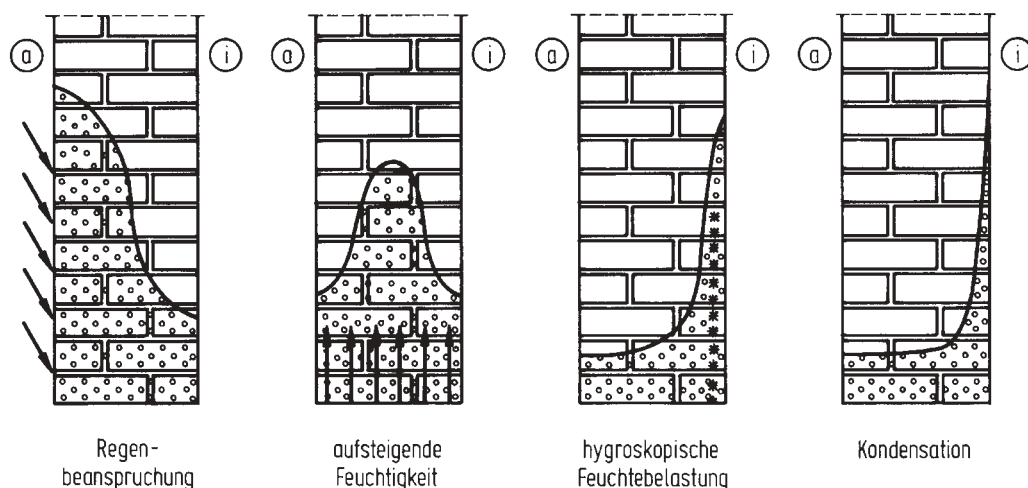


Bild 3. Zusammenhang zwischen Feuchteprofilen und Feuchteursachen gemäß [1]

Tabelle 1. Übersicht der maßgeblichen bauschädlichen Salze aus [2]

Verbindung	Name
Sulfate MgSO ₄ · 7 H ₂ O CaSO ₄ · 2 H ₂ O Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O 3 CaO · Al ₂ O ₃ · 3 CaSO ₄ · 32 H ₂ O	Epsomit Gips Mirabilit Ettringit
Nitrate Mg(NO ₃) ₂ · 6 H ₂ O Ca(NO ₃) ₂ · 4 H ₂ O 5 Ca(NO ₃) ₂ · 4 NH ₄ NO ₃ · 10 H ₂ O	Nitromagnesit Nitrocalcit Kalksalpeter
Chloride CaCl ₂ · 6 H ₂ O NaCl	Antarcitit Halit
Carbonate Na ₂ CO ₃ · 10 H ₂ O K ₂ CO ₃ CaCO ₃	Natrit Pottasche, Kaliumcarbonat Calcit

Sulfate

Sulfate sind Salze der Schwefelsäure (z. B. Gips, CaSO₄). Aus der Reaktion von Verbrennungsprozessen in Großfeuerungsanlagen freigesetztem Schwefeldioxid (SO₂) mit Feuchtigkeit entsteht Schwefelsäure. Diese in der Atmosphäre entstehende Verbindung wird als „saurer Niederschlag“ von der Atmosphäre wieder abgegeben und gelangt in das Erdreich und somit an die erdberührten Bauteile. Sofern die erdberührten Bauteile unzureichend abgedichtet sind, reagiert der „saure Niederschlag“ mit den Kalkbestandteilen im Stein oder im Mörtel zum Beispiel zu Kalziumsulfat (Gips).

Nitrate

Nitrate bilden sich im Bauwerk häufig durch Umsetzung von Eiweißabbauprodukten unter Einwirkung von Bakterien, z. B. aus Jauche, Urin oder Fäkalstoffen. Auf diese Weise bildet sich z. B. Kalksalpeter (Ca(NO₃)₂ · 4H₂O). Dieses Salz ist sehr stark hygroskopisch. Alle diese Salze reagieren vom Prinzip hier mit Wasser auf ähnliche Weise. Sie werden im Wasser gelöst und im Bauwerk bis zu der Ebene transportiert, in der Wasser verdunstet. Diese Ebene wird als Kristallisationsebene bezeichnet, da hier die Salze sichtbar auskristallisieren. Beim Auskristallisieren besitzen Salze die Eigenschaft, durch Einlagerung von Wassermolekülen in ihr Kristallgitter ihr Volumen zum Teil erheblich zu vergrößern. Da durch die Größe der Kapillaren der Baustoffe die Volumenvergrößerung jedoch begrenzt wird, entsteht ein sogenannter Kristallisationsdruck, der mit der Zeit derart anwachsen kann, dass er die Festigkeit des Baustoffes über-

steigt und somit Baustoffschädigungen vorwiegend in Form von Putzzerstörungen bzw. Steinabsprengungen hervorgerufen werden. Darüber hinaus kann es bei kalkhaltigen Baustoffen und der Einwirkung von kohlen säurehaltigen Wässern zu einer Herauslösung des bereits abgebundenen Kalks kommen. Dieser Bindemittelverlust führt ebenfalls zu einer Zermürbung des Baustoffs (z. B. Fugenaussandungen, Putzabsandungen oder Natursteinzerstörungen).

Eine weitere maßgebliche Eigenschaft von bauschädlichen Salzen ist die Tatsache, dass sie hygroskopisch sind. Die Hygroskopizität bewirkt, dass die Salze Feuchtigkeit aus der Luft binden. Dies wiederum hat zur Folge, dass bereits auskristallisierte Salze unter gewissen Randbedingungen wieder in Lösung gehen können. Kommt es anschließend zu einer Austrocknung der Baustoffoberflächen, kristallisieren diese Salze wieder aus, wobei der Baustoff erneut durch den hierbei wirkenden Kristallisationsdruck belastet wird.

Einige Salze besitzen zudem die Eigenschaft, nicht nur beim Kristallisieren, sondern bei gewissen Temperaturen Wasser in ihr Kristallgitter einzulagern. Dieser Vorgang wird als Hydratation bezeichnet. Die einzelnen bauschädlichen Salze unterscheiden sich somit nicht nur hinsichtlich des von ihnen verursachten Kristallisationsdruckes und hinsichtlich ihres hygroskopischen Verhaltens, sondern auch hinsichtlich des von ihnen verursachten Hydratationsdruckes. Für eine nachhaltige und wirksame Sanierung ist es somit zwingend erforderlich, neben der reinen Feuchte diagnostik auch eine Schadsalzanalyse zur Ermittlung des Versalzungsgrades über den Bauteilquerschnitt und die Bauteilhöhe durchzuführen.

3 Vorhandene bzw. nicht vorhandene Regelwerke

Die Überschrift zu diesem Abschnitt ist bewusst ein wenig provokativ gehalten.

Im Gegensatz zur österreichischen Ö-Norm B 3355 [3] existiert in der Bundesrepublik Deutschland keine DIN-Norm, die wie die Ö-Norm die *Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk* sowie die *Bauwerksdiagnostik und Planungsgrundlagen* regelt. Gleichwohl gibt es von der Wissenschaftlich-technischen Arbeitsgemeinschaft für Denkmalpflege und Bauwerkserhaltung e. V. (WTA) wesentliche Merkblätter, die sich Einzelthemen der Mauerwerksdiagnostik widmen [4–8]. Darüber hinaus gibt es umfassende Literatur, in der mögliche und zwingend notwendige Untersuchungen als Grundlage für eine erfolgreiche nachhaltige Sanierung beschrieben werden.

Wertet man all dies aus, lässt sich im Hinblick auf die allgemein anerkannten Regeln der Mauerwerksfeuchtediagnostik aussagen, dass hierzu folgende Punkte gehören:

- Voruntersuchungen,
- Bestandsaufnahme,
- Feuchtemessungen (zur Festlegung der Messachsen für die komplexe Feuchtediagnostik und Schadsalzanalyse),
- komplexe Feuchtediagnostik zur Bestimmung von Feuchteprofilen,
- Schadsalzanalyse zur Bestimmung von Schadsalzprofilen,
- Erarbeiten einer Sanierungskonzeption.

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Schritte vorgestellt und erläutert.

4 Voruntersuchungen und Bestandsaufnahme

4.1 Voruntersuchungen

Jedes Gebäude ist im Hinblick auf seine Architektur, seine Geschichte, seine Nutzung, seine Baustoffe, seine Bauweisen und seine äußeren Lasteinflüsse ein Unikat. Im Hinblick auf die anerkannten Regeln der Mauerwerksdiagnostik kommt den Voruntersuchungen und der Bestandsaufnahme besondere Bedeutung hierbei zu.

Der Nachweis der Ursache von Feuchtigkeitserscheinungen kann insbesondere, da die Austrittsstelle des Wassers im Rauminnen nicht zwangsläufig in unmittelbarer Nähe der Eintritts-

stelle liegen muss und auch mehrere voneinander unabhängige Ursachen vorliegen können, nur durch umfassende Untersuchungen sämtlicher möglicher Schadensursachen erfolgen. Hierbei ist zunächst zu klären, ob tatsächlich Abdichtungsfehler das Auftreten der Feuchtigkeitserscheinungen bewirkt haben oder sonstige Feuchtigkeitseinflüsse, wie sie auch in [9] beschrieben worden sind, vorliegen. Es sollte daher so vorgegangen werden, dass zunächst sämtliche abdichtungsunabhängige Feuchtigkeitseinflüsse untersucht und ggf. ausgeschlossen werden, ehe man eine komplexe Schadensdiagnostik durchführt. Durch das Ausschließen möglicher Schadensursachen, die mit Sicherheit nicht in Frage kommen, wird der Kreis der möglichen Ursachen eingeeengt. Aus wirtschaftlichen Überlegungen wird empfohlen, neben der Überprüfung von Undichtigkeiten bei Wasserleitungen, Abfluss- und Heizungsrohren auch folgende abdichtungsunabhängige Feuchtigkeitseinflüsse zu betrachten, deren Ausschluss mit einfachsten Mitteln möglich ist:

- Tauwasser,
- Bauwasser,
- Niederschläge.

Tauwasser

Auch bei intakten Abdichtungsmaßnahmen kann unter bestimmten klimatischen Randbedingungen Oberflächentauwasser auf Innenbauteilen auftreten [10]. Diese Tauwasserbildungen treten auf, wenn die raumseitige Innenoberflächentemperatur gleich oder niedriger ist als die Taupunkttemperatur der Raumluft. Die Menge des anfallenden Tauwassers hängt von der Dauer und Intensität der Taupunkttemperaturunterschreitung ab. Bevor es zur Oberflächentauwasserbildung kommt, kann es in Abhängigkeit von der Größe der Kapillaren des Baustoffs auch schon zur Kapillarkondensation in den oberflächennahen Kapillaren kommen.

Tauwasserbildungen in unbeheizten unterirdischen Bauten und Kellern treten in der Regel im Sommer auf. Dies liegt darin begründet, dass warme Außenluft im Sommer absolut gesehen einen erheblich höheren Feuchtegehalt aufweist als die kühlere Kellerraumluft (Bild 4). Gelangt nun die feuchte, warme Außenluft in die kühleren unbeheizten Räume, so steigt die relative Luftfeuchtigkeit an und es kann an den Bauteiloberflächen zur Taupunkttemperaturunterschreitung und somit zur Tauwasserbildung kommen.

Ein sicheres Indiz für Tauwasserbildungen in unbeheizten Kellerräumen ist die Tatsache, dass

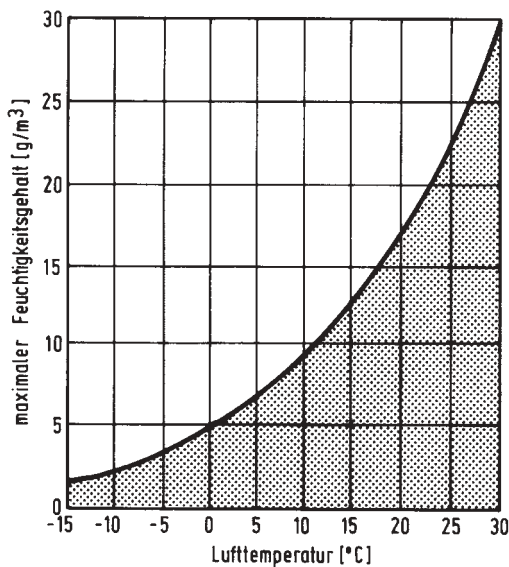


Bild 4. Zusammenhang zwischen Lufttemperatur und dem maximal aufnehmbaren Feuchtegehalt der Luft

diese mit Beginn der kühleren Jahreszeit schnell und vollständig verschwinden. Eine sichere und insbesondere bei historisch wertvollen Bauten häufiger angewandte Möglichkeit zur Überprüfung, ob Tauwasser auftritt, besteht darin, dass eine zeitparallele Erfassung von Luft- und Oberflächentemperaturen sowie der Luftfeuchte durchgeführt und ausgewertet wird. Hierbei werden sogenannte Datenlogger mit interner Stromversorgung und der Größe einer Zigarettenschachtel eingesetzt, die keine optische oder akustische Beeinträchtigung des Betriebes historischer Bauten (z. B. Museen) durch Kabel oder Messrechner nach sich ziehen [11].

Bauwasser

Bei Neubauten ist es nicht gänzlich zu vermeiden, dass während der Bauphase Bauwasser in das Innere des außenseitig abgedichteten Kellertrages gelangt. Es seien hier exemplarisch Wasserbelastungen aus überschüssigem Anmachwasser, offengelassenen Zapfhähnen, Niederschlägen vor Vollendung der Dacheindeckung und auch über Kellerlichtschächte und Regenentwässerungsleitungen in das Gebäudeinnere eindringendes Wasser genannt. Diese gesamten Wassermengen gelangen letztendlich zu einem großen Teil von oben in den abgedichteten Kellertrug und benötigen einen längeren Zeitraum, um über Pumpen-

sümpfe oder auf dem Wege der Verdunstung abgeführt zu werden.

Es kann daher vorkommen, dass die raumseitigen Bauteiloberflächen begünstigt durch trockene Witterung zunächst visuell trocken erscheinen und zu einem späteren Zeitpunkt Wasserlachen auf der Sohlenoberfläche auftreten. Häufig, insbesondere wenn dieser Zeitpunkt zufällig mit dem Einstellen der Wasserhaltung zusammenfällt, wird dieser Mangel auf eindringendes Grundwasser infolge einer unwirksamen Abdichtung zurückgeführt. Diese Schlussfolgerung ist jedoch, wie das folgende Beispiel zeigt, nicht ohne weitere Prüfungen möglich.

Allein die auf dem Weg der Verdunstung abzuführende Wassermenge des Anmachwassers kann beträchtlich sein. Der Sättigungsfeuchtegehalt c_s [m^3/m^3], der die Wassermenge angibt, die ein Baustoff in einem Kubikmeter enthalten kann, wenn sämtliche Poren und Kapillaren mit Wasser gefüllt sind, beträgt $0,22 m^3/m^3$ gemäß [12]. Eine 1 m dicke Betonsohle im Keller eines Gebäudes der Abmessungen 100×50 m kann somit bis zu $1.100 m^3$ ($0,22 m^3/m^3 \times 100 m \times 50 m \times 1 m$) Wasser enthalten. Ein großer Teil dieser Wassermenge wird dem Raum auf dem Wege der Verdunstung zugeführt. Bei unzureichenden Be- und Entlüftungsmaßnahmen, z. B. bei frühzeitigem Einbau dicht schließender Kellerfenster im Winter führt dies zu einem Ansteigen der relativen Luftfeuchtigkeit und zu massiven Tauwasserbildungen auf den raumabschließenden Bauteiloberflächen. Die Tatsache, dass massive Tauwasserbildungen bis hin zu Pfützenbildungen auftreten, ist, wie das Beispiel zeigen soll, noch kein Indiz für unzureichende Abdichtungsmaßnahmen.

Niederschläge

Neben Niederschlägen, die während der Bauzeit anfallen (siehe Bauwasser), können auch Niederschläge während der Nutzung trotz intakter Abdichtungsmaßnahmen in Einzelfällen zu Feuchtigkeitserscheinungen oder sich füllenden Pumpensümpfen führen. Gemeint sind hier Niederschläge, die von oben offenen Bauteilen wie z. B. außen liegenden Kellertreppen, Zufahrtsrampen, Zugangstreppen von U-Bahnhöfen, nicht entwässernden Lichtschächten oder offenen Parkdecks der Obergeschosse aufgefangen werden und in den abgedichteten Trog gelangen können.

Vor einer kostenintensiven Überprüfung der Abdichtungsausführung sollte daher zunächst überprüft werden, ob derartige Wasserauffangstellen vorhanden sind und ob diese die in [13] vorgege-

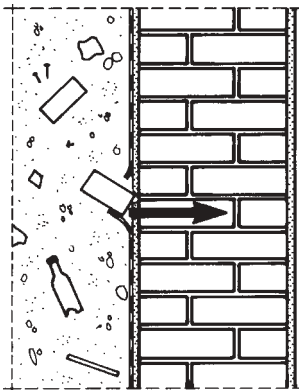


Bild 5. Beschädigung der Abdichtung infolge von Bauschuttresten und fehlender Schutzschicht

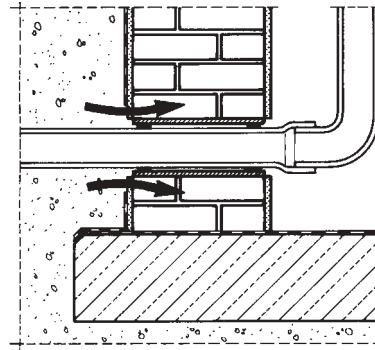


Bild 6. Mangelhafter Anschluss der Abdichtung an eine Rohrdurchdringung

bene Regenspende durch Entwässerungsmöglichkeiten und zum Beispiel bei Kellertreppen entsprechenden Aufkantungungen zum Kellertrögbereich schadensfrei abführen können. Sofern hingegen größere Auffangstellen ohne entsprechende Entwässerungsmöglichkeiten vorhanden sind, die zum Ansteigen des Wassers in Pumpensämpfen führen können, sollten entsprechend den Empfehlungen in [9] über einen längeren Beobachtungszeitraum Zusammenhänge zwischen Niederschlagsmengen, Flächen der möglichen Auffangstellen und zusätzlich zu fördernden Wassermengen untersucht werden, um somit ggf. Niederschläge im Bereich von Auffangstellen als Schadensursache zu bestätigen oder auszuschließen.

4.2 Ortung von Leckagen

Sofern Wasser in das Rauminnere eindringt und zu Pfützenbildungen oder sogar zu flächig stehendem Wasser führt, stellt sich nach dem Ausschluss der in Abschnitt 4.1 erläuterten abdichtungsunabhängigen Feuchtigkeitseinflussgrößen die Frage, an welchen Stellen Wasser in das Bauwerk eindringt. Vor Durchführung der im folgenden Abschnitt beschriebenen komplexen Feuchtediagnostik ist es hilfreich, zunächst mit einfachen Methoden zu prüfen, ob lediglich vereinzelte ausführungsbedingte Fehlstellen die Undichtigkeit bewirkt haben können. Zu den häufigsten Ursachen derartiger Fehlstellen gehören örtlich begrenzte Beschädigungen der Abdichtung (Bild 5), nicht fachgerecht ausgebildete Durchdringungen der Abdichtung (Bild 6) sowie

nicht mit der nötigen Sorgfalt bzw. nicht fachgerecht ausgebildete Abdichtungsübergänge zwischen Außenwänden und Sohlplatten (Bild 7). Während Leckagen im Bereich von Wänden häufiger vorzufinden sind, treten Leckagen an Sohlplattenabdichtungen relativ selten auf. Dies liegt darin begründet, dass kleinere handwerkliche Ausführungsmängel infolge des Einpressdruckes bei bituminösen Abdichtungsverfahren unter der Bauwerkslast kompensiert werden können. Sofern Wasser nicht an zahlreichen über den Grundriss verteilten Stellen in das Rauminnere eindringt, sondern lediglich im Bereich einer oder mehrerer Fehlstellen, gilt es, diese Fehlstellen möglichst genau zu lokalisieren, um somit die Aufgrabungsarbeiten zur Überprüfung und Sanierung der Abdichtung auf die notwendigen Bereiche zu beschränken.

4.3 Feuchtemessverfahren

Neben der visuellen Prüfung, die in zahlreichen Fällen, wie z. B. bei Undichtigkeiten im Bereich von Durchdringungen (Bild 6) schon zur Lokalisierung der Wassereindringstelle führen kann, existieren auch verschiedene Messverfahren, mit denen letztendlich über den relativen Feuchtegehalt der Konstruktion ein Rückschluss hinsichtlich der örtlichen Lokalisierung von Leckagen gezogen werden kann. In Anbetracht dessen, dass zur reinen Lokalisierung von feuchten Bauteilbereichen keine absoluten Feuchtegehalte der Baustoffe zum Beispiel mittels CM-Gerät (Bild 8) oder nach der „Darr-Methode“ erforderlich sind, können diese vor der eigentlichen Scha-

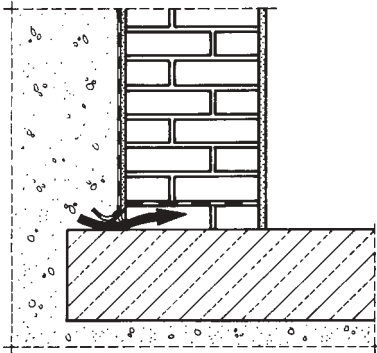


Bild 7. Unter- bzw. Hinterläufigkeit der Vertikalabdichtung im Übergangsbereich zu einer WU-Beton-Bodenplatte

densdiagnostik durchzuführenden orientierenden Untersuchungen zerstörungsfrei, schnell und somit preisgünstig erfolgen.

Im Folgenden werden von den indirekten Verfahren zur Beurteilung des Feuchtegehaltes die am häufigsten angewandten Lokalisierungsverfahren zur Eingrenzung von Abdichtungsleckagen kurz beschrieben. Angemerkt werden muss hierbei, dass einige der im Folgenden erläuterten Verfahren aufgrund ihres nicht unerheblichen Aufwandes das eigentliche Ziel, nämlich die örtliche Eingrenzung einer undichten Stelle, nicht rechtfertigen. Ein ausführlicher Vergleich instrumenteller Feuchtigkeitsmessverfahren und eine umfassende Bewertung ihrer baupraktischen Relevanz ist in [14] enthalten. In [15] werden darüber hinaus physikalische Grundlagen der Leckageortung insbesondere für Abdichtungen über Dämmschichten (z. B. Flachdächer) mit den zugehörigen Messverfahren beschrieben.

Elektrische Verfahren (Dielektizitätsmessgerät)

Grundsätzlich muss einmal sehr klar und eindeutig ausgesagt werden, dass sämtliche elektrischen Feuchtigkeitsmessverfahren bei durchfeuchtetem Mauerwerk lediglich eine qualitative Bewertung ermöglichen. Eine quantitative Bestimmung des Feuchtezustandes von Mauerwerk ist mit derartigen Messverfahren nicht möglich! Dies begründet sich dadurch, dass elektrische Feuchtemessungen, wie z. B. die Widerstandsmessung oder auch die zerstörungsfreie Messung, mithilfe der sogenannten Kugelkopfelektroden oder solche mit Messmonitoren, nur die elektrischen Leit-

fähigkeitsverhältnisse des Messuntergrundes abbilden. Die elektrische Leitfähigkeit des Messuntergrundes, z. B. des Mauerwerks, kann hierbei jedoch nicht nur durch Feuchtigkeit, sondern auch durch unterschiedliche Rohdichten des Mauerwerks, durch bauschädliche Salze oder auch Installationen im Wandaufbau beeinflusst werden. Dies muss man wissen, wenn man elektrische Feuchtemessungen sinnvoll durchführen und „richtig“ bewerten möchte.

Elektrische Feuchtigkeitsmessgeräte beruhen entweder auf dem Prinzip elektrischer Widerstandsmessung oder auf dem Prinzip, bei dem die Dielektrizitätskonstante des Baustoffes ermittelt wird. Aufgrund ihrer leichten Handhabbarkeit sind derartige Geräte weit verbreitet. Sie haben sich insbesondere zur Kontrolle von Trocknungsmaßnahmen und zur Beurteilung von Holzfeuchtigkeit bewährt. Zur Feuchtediagnostik als Grundlage für eine Sanierungsplanung sind sie, da die Leitfähigkeit und somit der Anzeigewert maßgeblich von der Salzkonzentration und der Art des Baustoffes abhängt und darüber hinaus lediglich Feuchtetrends und keine absoluten Feuchtegehalte angegeben werden, ungeeignet. Als Lokalisierungshilfe von Undichtigkeiten können elektrische Verfahren unter der Voraus-



Bild 8. CM-Gerät



Bild 9. Mikrowellenmessgerät mit Tiefensonde

setzung, dass keine Versalzungen vorhanden sind, aufgrund der einfachen Handhabung und der Anzeige von Feuchtetrends eine sehr gute Hilfestellung bieten.

Mikrowellenverfahren

Das Mikrowellenverfahren gehört zur Kategorie der dielektrischen Feuchtemessverfahren. Es können nahezu unabhängig von vorhandenen Versalzungen mit handlichen Geräten und Messköpfen für Oberflächen- und Tiefenmessungen insbesondere bei Mauerwerkswänden Feuchtigkeitsmesswerte produziert werden (Bild 9).

Der Vorteil der Mikrowellenmesstechnik gegenüber dem Dielektrizitätsmessgerät liegt darin, dass Messwerte nicht nur im Oberflächenbereich, sondern auch gemittelt bis zu 30 cm Bauteiltiefe registriert werden können und das Verfahren nahezu unabhängig gegenüber Versalzungen des Untergrundes ist. Der Messwert wird für einige vom Hersteller kalibrierte Baustoffe in Masseprozent angezeigt. Dieser Anzeigewert sollte jedoch mit der entsprechenden Vorsicht bewertet werden. Zweckmäßigerweise wird empfohlen, eine zusätzliche Kalibrierung durch Darr-Versuche durchzuführen. Die Schwäche der Mikrowellenmesstechnik liegt darin, dass im Bauteil vorhandene Metalle oder Hohlräume die Ergebnisse stark verfälschen und die Oberfläche des zu bewertenden Untergrundes nahezu eben sein muss.

Farbversuch

Das im Erdreich vorhandene Wasser wird mit fluoreszierenden Mitteln mit dem Ziel gefärbt, diese Farbstoffe im Bauwerksinneren nachzuweisen. Somit können insbesondere Undichtigkeiten im Bereich von Rohrdurchführungen, deren Lage

vorab bekannt ist, gut nachgewiesen werden. Häufig werden jedoch die Farbstoffe vom Mauerwerk bzw. vom Beton derartig gefiltert, dass ein zweifelsfreier Nachweis schwierig sein kann. Darüber hinaus besteht bei diesem Verfahren der Nachteil, dass die Lage der vermuteten Undichtigkeit vor Zugabe der fluoreszierenden Mittel in etwa bekannt sein sollte.

Chemische Wasseranalyse

Eine vergleichende Wertung chemischer Analysen des Grundwassers und des im Gebäudeinneren ankommenden Wassers ist zum einen relativ aufwendig und liefert zum anderen insbesondere bei Betonbauten nicht immer eindeutige Ergebnisse. Dies liegt daran, dass die im Grundwasser vorhandenen Stoffe sich mit den Alkalien des Betons vermischen und somit das im Gebäudeinneren ankommende Wasser maßgeblich von den Analysewerten des Grundwassers abweichen kann.

Thermografie (Infrarottechnik)

Mithilfe der Thermografie werden Oberflächentemperaturen gemessen. Im Thermografiebild zeichnen sich feuchte Bereiche ab, weil der Wärmedurchgang eines Bauteils mit seinem Feuchtegehalt zunimmt. Sichere Nachweise können hiermit beispielsweise bei Leckageortungen von Fußbodenheizungen erbracht werden. Bei der Leckageortung von Kellerabdichtungen ist dieses Verfahren aufgrund der verfälschten Aussage im Bereich von Wärmebrücken und dem erzielbaren Ergebnis, welches häufig nahezu identisch mit der rein visuellen Überprüfung ist, nach Ansicht der Autoren nicht erforderlich.

Neutronensonde

Das Messgerät nach dem Neutronenbremsverfahren basiert darauf, dass schnelle Neutronen beim Auftreffen auf einen etwa die gleiche Masse aufweisenden Wasserstoffkern gebremst werden. Diese Bremsung wird registriert und in der Art ausgewertet, dass eine Angabe über den relativen Feuchtegehalt getroffen wird. Das Verfahren ermöglicht somit, eingeschlossene Feuchtigkeitsanreicherungen in Bauteilen von bis zu 30 cm Dicke anzuzeigen. Das Verfahren wird erfolgreich bei Leckageortungen im Bereich von Flachdächern eingesetzt. Bei der Leckageortung von durchfeuchteten und salzbelasteten Wänden ist es aufgrund der leichten Handhabbarkeit und der Unabhängigkeit von im Bauteil enthaltenen Metallen ein sinnvolles, jedoch noch relativ teures Hilfsmittel.

4.4 Bestandsaufnahme

Zur Festlegung eines auf den jeweiligen Problemfall abgestimmten Sanierungsverfahrens ist nach der Durchführung der in den vorigen Abschnitten vorgestellten Verfahren zur Ermittlung von Feuchtetrends eine umfassende Bauzustandsanalyse zwingend erforderlich. Dies liegt insbesondere auch darin begründet, dass es eine Vielzahl von möglichen Sanierungsverfahren gibt, die jedoch sämtlich nur unter bestimmten Voraussetzungen und Randbedingungen zum Erfolg führen. So wird beispielsweise bei der Wahl von Injektionsverfahren die Kenngröße des Durchfeuchtungsgrades zwingend benötigt. Als Entscheidungshilfe und Anleitung zum Vorgehen bei Instandsetzungen wurde 1999 von der Wissenschaftlich-Technischen Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e. V. (WTA) ein Merkblatt zur Mauerwerksdiagnostik [7] veröffentlicht, welches ein einheitliches Vorgehen zur Beurteilung des Baubestandes und seiner Schäden im Rahmen der Vorarbeit für die anschließende Instandsetzungsplanung beschreibt. Eine umfassende Schadensdiagnostik umfasst, wie im Abschnitt 4.1 bereits erwähnt und auch im WTA-Merkblatt beschrieben, auch eine Bestandsaufnahme.

Im Folgenden werden die für eine Bestandsaufnahme notwendigen Arbeitsschritte beschrieben und erläutert.

Beschaffung der Baupläne

Anhand der ursprünglichen Baupläne lassen sich Erkenntnisse zur geplanten konstruktiven Ausbildung des Bauwerkes und der Nutzung sowie auch zu den Randbedingungen (z. B. Geländesituation, Gefällesituation etc.) gewinnen. Diese Erkenntnisse sind Voraussetzung dafür zu erkennen, inwieweit bauliche oder auch Nutzungsänderungen während der Gebrauchsdauer erfolgten.

Baugeschichtliche Erhebung

Hierzu gehört die Recherche nach Veränderungen, die während der Bestandszeit zum einen an dem Gebäude selbst und zum anderen aber auch im Hinblick auf die Nutzung vorgenommen wurden. Es ist zu überprüfen, inwieweit Funktionsstörungen zu früheren Zeitpunkten aufgetreten sind, und durch welche Maßnahmen man versucht hat, diese Funktionsstörungen zu beseitigen. Insbesondere bei denkmalgeschützten Gebäuden können umfangreiche Literaturrecherchen zum Aufdecken des Originalbestandes, der ursprünglich eingesetzten Baustoffe und zur

Schadensursachenforschung beitragen. Für die weitere Bewertung und Sanierungsplanung sind in diesem Zusammenhang auch folgende stichpunktartig aufgelisteten Punkte von Bedeutung [16]:

- Geländeprofilierung,
- Gebäudealter sowie Alter der Abdichtung,
- Bauteilabmessungen,
- Art der geplanten bzw. ausgeführten Abdichtung,
- bisherige und künftige Nutzung,
- Be- und Entlüftungsmöglichkeiten,
- Beheizungs- und Dämmmaßnahmen.

Schadensdokumentation

Nach Durchführung der vorangehend beschriebenen Recherchen sind im Rahmen einer Schadenskartierung signifikante Schäden und schadensbeeinflussende Situationen und Zustände zu erfassen. Die Feststellung der Höhe der vorhandenen Feuchtesäume (Schadenshorizonte) im Bereich sämtlicher geschädigter Wandbauteile ist Bestandteil dieser Arbeiten. Im Einzelfall kann es auch erforderlich werden, die Art der Schadensbilder differenziert zu erfassen. Eine derartige Differenzierung könnte zum Beispiel wie folgt erfolgen:

- Putzablösungen (Bild 10),
- Mörtelfugenaussandungen (Bild 11),
- Ziegelzerstörungen (Bild 11),
- Salzkristallbildungen (Bild 13),
- Feuchtesäume (Bild 14),
- Korrosionserscheinungen.

Zusätzlich zu der Erfassung der Schadenshorizonte und ggf. der Art der Schadensbilder ist eine Erkundung folgender möglicher die Scha-



Bild 10. Putzablösungen



Bild 11. Mörtelfugenaussandungen

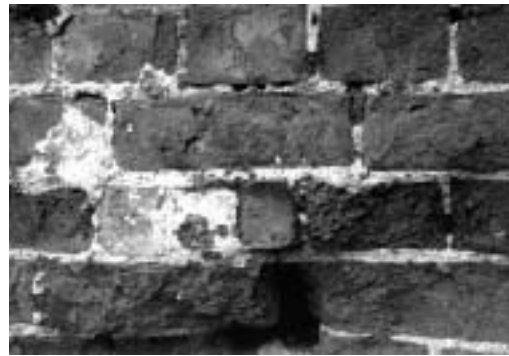


Bild 12. Ziegelzerstörungen



Bild 13. Salzkristallbildungen



Bild 14. Feuchtesäume

densbilder beeinflussenden Randbedingungen erforderlich:

- Fehlstellen in Abwasserleitungen,
- Fehlstellen in Regenfallleitungen,
- Tauwasseranfall an Wasserleitungen und Abwasserleitungen,
- Feuchteintritt über Kellerfenster, Treppen usw.,
- Bauteiluntersuchungen.

Bauteiluntersuchungen sind zwingend erforderlich, um in Erfahrung zu bringen, ob die vorhandene Bausubstanz Bauwerksabdichtungen aufweist. Es ist zu prüfen, ob horizontale Bauwerksabdichtungen im Mauerwerksquerschnitt bzw. vertikale Bauwerksabdichtungen im Bereich der erdberührten Außenwände vorhanden sind. Im Hinblick auf die horizontalen Abdichtungsmaßnahmen ist es von besonderer Bedeutung festzustellen, inwieweit diese durchgehend angeordnet und funktionsfähig sind. Eine aussagekräftige Anzahl von Bauteiluntersuchungen ist zu berücksichtigen. Hinsichtlich der Überprüfung vorhan-

dener vertikaler Abdichtungsmaßnahmen ist ebenfalls eine repräsentative Anzahl von Schürfgaben anzuordnen.

Erkundung des Grundwasserstandes und des Schichtenaufbaus des Bodens

Die Beanspruchung der Abdichtung ist ein maßgebliches Kriterium der Beurteilung und Sanierungsplanung. Es ist daher im Rahmen der Schadensdiagnostik zwingend erforderlich, z. B. über Bodengutachten Angaben über die Baugrund- und Grundwasserverhältnisse zu erlangen und zu berücksichtigen. Es muss an dieser Stelle jedoch nochmals darauf hingewiesen werden, dass bei der Ermittlung des höchsten Grundwasserstandes jahreszeitliche Schwankungen und langfristige Veränderungen des Grundwasserstandes zu berücksichtigen sind [17]. Eine während der Kelleraushubarbeiten trockene Baugrube ist, wie die im Bild 15 dargestellte Grundwasserganglinie aufzeigen soll, kein ausreichendes Indiz dafür, dass kein Grundwasser ansteht.