

CORNET: IN2EUROBUILD –

EINHEITLICHER EUROPÄISCHER LEITFADEN FÜR DIE INNENDÄMMUNG VON BESTANDS- BAUTEN UND BAUDENKMÄLERN

Leitfaden Teil 1:

Bauwerksanalyse

Projektnummer:

247 EBG

Dauer:

01.05.2019 bis 31.12.2021



Technische Universität Dresden
Institut für Bauklimatik (IBK)



Fraunhofer Institut für Bauphysik
Holzkirchen (IBP)



Buildwise



Institut für Holztechnologie Dresden (IHD)

30. November 2022

CORNET: IN2EUROBUILD

Einheitlicher europäischer Leitfaden für die Innendämmung von Bestandsbauten und Baudenkmälern

Leitfaden Teil 1: Bauwerksanalyse

Das CORNET/IGF-Vorhaben 247 EBG IN2EuroBuild der Forschungsvereinigung Trägerverein Institut für Holztechnologie Dresden e.V. (TIHD) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert sowie durch die Abteilung „Forschung und technologische Entwicklung“ (Recherche et Développement Technologique) des Wallonischen öffentlichen Dienstes „Wirtschaft, Beschäftigung und Forschung“ (Service Public de Wallonie „Économie, Emploi, Recherche“).

Autoren: Ulrich Ruisinger
Heike Sonntag
Christian Conrad
Timo De Mets
Yves Vanhellemont
Tobias Schöner
Daniel Zirkelbach

Technische Universität Dresden

Institut für Bauklimatik
D - 01069 Dresden
Telefon: +49 (0)351 463-35259
Telefax: +49 (0)351 463-32627
www.tu-dresden.de/bu/architektur/ibk

Buildwise (bisher Belgian Building Research Institute)

Avenue Pierre Holoffe 21
B - 1342 Limelette
Telefon: +32 (0)2 655-0
Telefax: +32 (0)2 653-0729
www.buildwise.be (bisher www.bbri.be)

Fraunhofer Institut für Bauphysik

Fraunhoferstraße 10
D - 83626 Valley
Telefon: +49 (0)8024 643-0
Telefax: +49 (0)8024 643-366
www.ibp.fraunhofer.de

Dresden, Limelette, Holzkirchen, 30.11.2022

Inhalt

1	Einleitung.....	1
1.1	(Innen-)Dämmung von Gebäuden.....	1
1.2	An wen richten sich diese Leitfäden?	1
2	Bauwerksanalyse und Feuchte in Gebäuden.....	2
3	Welche Arten von Wänden werden betrachtet?	2
4	Planungsphasen.....	3
5	Vorbereitung und Durchführung der Vor-Ort-Untersuchung.....	3
5.1	Informationen über das Gebäude.....	3
5.2	Planung.....	4
5.3	Durchführung.....	5
6	Hauptquellen von Feuchte in Fassaden.....	8
6.1	Eindringen von Schlagregen in Fassaden, Fassadenelemente oder -öffnungen	9
6.2	Aufsteigende Feuchte.....	12
6.3	Hygroskopische Feuchte und hygroskopische Salze	13
6.4	Wärmebrücken (Kondensation, Schimmel).....	15
7	Analyse der Ergebnisse	16
7.1	Durch Feuchte verursachte Schadensbilder	16
7.2	Fassadenmaterialien, die Feuchteprobleme beeinflussen oder verschärfen	19
8	Messmethoden.....	21
8.1	Messen des Wassergehalts	22
8.2	Messen der kapillaren Wasseraufnahme der Fassade.....	25
8.3	Messen des Raumklimas.....	27
8.4	Salzmessungen.....	27
8.5	Weitere Messungen	28
9	Literatur und Links.....	29
	Anhang.....	30
A 1	Beispiele für typische, feuchtebezogene Schadensbilder	30
	Gruppe 1 Typische feuchtebedingte Schadensbilder.....	30
	Gruppe 2 Schäden, die Feuchte in Wänden beeinflussen können.....	41
	Gruppe 3 Fassadenelemente, die Feuchteprobleme beeinflussen können.....	50
	Gruppe 4 Fassadenmaterialien, die Feuchteprobleme beeinflussen	55
A 2	Hinweise zur Anwendung der Messmethoden.....	61
A 3	Ausrüstung und Vorbereitung einer Begehung.....	66
A 4	Glossar	66
A 5	Ablaufschema.....	68

1 Einleitung

1.1 (Innen-)Dämmung von Gebäuden

Der Verbrauch von Heizenergie in Bestandsgebäuden stellt einen großen Anteil am gesamten Energieverbrauch in Deutschland dar und trägt deshalb maßgeblich zur Produktion von klimaschädlichem CO₂ bei. Um den Klimawandel aufzuhalten und einen substanziellen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten, muss deshalb der Heizenergieverbrauch weiter reduziert werden. Dies geschieht am effektivsten durch den Erhalt und die energetische Sanierung von Gebäuden. Durch diese Maßnahmen werden nicht nur die Heizkosten gesenkt, sondern auch der Wohnkomfort sowie die Wertigkeit der Gebäude erhöht.

Wenn sich eine Außendämmung nicht realisieren lässt, z. B. aus Denkmalschutzgründen, bei Sichtmauerwerk oder Grenzbebauungen, kann eine früher in Deutschland eher skeptisch angesehene Innendämmung verwendet werden, für die mittlerweile viele Systemlösungen und jahrzehntelange, positive Erfahrungen vorliegen. Trotzdem stellt die Innendämmung in einigen Fällen eine Herausforderung dar, die nur mit entsprechendem Fachwissen und auch größerem Aufwand gelöst werden kann. Die meisten Fälle erweisen sich allerdings als unkritisch und können dementsprechend mit Standardlösungen von innen gedämmt werden. Durch die Lektüre dieses Leitfadens soll es auch den weniger spezialisierten Fachleuten ermöglicht werden, kritisch und unkritische Fälle zu unterscheiden.

Für ein Gelingen von Dämmmaßnahmen ist eine Begutachtung des Bauwerks notwendig. Anschließend kann die Planung und das Anbringen des Innendämmsystems beginnen. Der erste Teil der vorliegenden Leitfadenreihe beschreibt deshalb zunächst die Bewertung und Zustandsanalyse von Bauwerken. In vielen Fällen werden dabei unproblematische Zustände vorgefunden, sodass diese Analyse kurz ausfallen kann. Dieser Leitfaden konzentriert sich auf die Fälle, bei denen Schäden bereits vorhanden oder zu befürchten sind. Typische Schadensbilder, von denen einige auch Auswirkungen auf Innendämmmaßnahmen haben können, werden gezeigt und erläutert. Schließlich müssen vorhandene Schäden auch unabhängig vom Einsatz einer Innendämmung behoben werden, damit ein langanhaltender Erfolg von Sanierungsmaßnahmen gewährleistet ist.

Der zweite Teil der Leitfadenreihe beschreibt die Erstellung von Sanierungskonzepten und vermittelt ferner, was bei der Planung, Dimensionierung und Ausführung einer Innendämmmaßnahme beachtet werden muss.

HINWEIS: Am Ende dieses Leitfadens befindet sich ein Ablaufschema, das den Prozess einer Bestandsanalyse verdeutlicht. Mittels Schaltflächen im Text (siehe unten) wird der passende Bereich im Ablaufschema geöffnet. Entsprechende Schaltflächen im Ablaufschema führen wieder zurück.

1.2 An wen richten sich diese Leitfäden?

Diese Leitfadenreihe richtet sich an Personen, die sich eingehender mit der Thematik der Planung, Ausführung und Konzeption von Innendämmsystemen befassen wollen. Zu dieser Personengruppe können zum Beispiel Bauherren, Investoren oder Behördenmitarbeiter zählen, aber auch Architekten oder Ingenieure, welche nur selten mit Innendämmung zu tun hatten und deshalb die verschiedenen Planungsgrundlagen und Abhängigkeiten nicht im Detail kennen.

Die Leser sollen in die Lage versetzt werden, die zahlreichen, unproblematischen Fällen zu identifizieren, bei denen keine Spezialisten hinzugezogen werden müssen. Sie sollen dazu befähigt werden, diese Sanierungsfälle selbständig zu beurteilen und ein geeignetes Innendämmsystem auszuwählen.

2 Bauwerksanalyse und Feuchte in Gebäuden

Die Hauptursache von Schäden an Gebäuden ist Feuchte. Feuchte ist in Gebäuden immer präsent, sei es in Form von Wasserdampf in der Luft oder in Form von Feuchte innerhalb des Porensystems von Baustoffen (Aufnahme und Speicherung von Wasserdampf oder flüssigem Wasser, z. B. durch Schlagregen an Fassaden). Eine bestimmte Luftfeuchte ist notwendig, um einen ausreichenden Komfort für die im Gebäude lebenden oder arbeitenden Menschen zu gewährleisten. Darüber hinaus ist ein gewisser Feuchtegehalt in den Baustoffen in Abhängigkeit von den wechselnden klimatischen Randbedingungen als unvermeidbar und normal anzusehen.

Zu viel Feuchte kann jedoch Schäden verursachen sowie ein potenziell unangenehmes oder sogar ungesundes Raumklima hervorrufen. Die Feuchteverhältnisse müssen bei der Planung einer Wärmedämmung berücksichtigt werden. Beispielsweise verursachen zu feuchte Baustoffe an sich schon höhere Wärmeverluste, da sie die Wärme besser leiten und Wärme schon für die Trocknung solcher feuchten Materialien benötigt wird.

Es ist daher offensichtlich, dass Feuchteprobleme beseitigt werden müssen, um das Gebäude zu erhalten, den Komfort zu erhöhen sowie als notwendige Vorarbeit für weitere Sanierungsarbeiten. Es ist deshalb in Erfahrung zu bringen:

- Ist zu hohe Feuchte vorhanden oder besteht ein Risiko für zu hohe Feuchte?
- wie lässt sich der Zustand eines Gebäudes am besten untersuchen: Dies ist auch notwendig, um die beste Methode(n) zur Reduktion der hohen Feuchte zu bestimmen. Dies kann zuweilen keine einfache Aufgabe sein, da verschiedene Feuchtequellen ähnliche Schadensbilder verursachen können.
- Welche Maßnahmen sind geeignet und wie lässt sich die Effizienz der Methode bewerten?

3 Welche Arten von Wänden werden betrachtet?

Im Rahmen dieses kleinen Leitfadens ist es nicht möglich, auf jedes mögliche Feuchteproblem in einem Gebäude einzugehen. Dieser Leitfaden konzentriert sich auf massive Mauerwerks- oder Betonwände. Dies schließt Fälle aus wie

- Hohlraumwände
- Spezielle Wandtypen, z. B.
 - Fachwerk- und Holzrahmenkonstruktionen
 - vorgesetzte Fassaden
 - vorgefertigte Wände (z. B. vorgefertigte Betonstützen, -träger und -platten, die auf der Baustelle montiert werden)

Bei Betonstrukturen empfiehlt es sich oft, entsprechende Fachleute hinzuzuziehen. Viele der hier vorgestellten Aspekte für massive Wände (Schadensbilder, Lösungsansätze etc.) sind zwar oft auf die oben aufgezählten Wandtypen übertragbar, die spezifischen Eigenschaften der anderen Wandtypen erfordern jedoch manchmal einen anderen Ansatz.

Bei Hohlraumwänden ist es wichtig, sich zu vergewissern, ob es sich um eine echte Hohlraumwand handelt. Öffnungen in Wänden (sogenannte Drainageöffnungen, um überschüssiges Wasser abzulassen und zu Trocknungszwecken) können ein Indiz dafür sein. Im Zweifelsfall bringt die teilweise Entfernung des Außenmauerwerks (oder, weniger invasiv, eine endoskopische Untersuchung (s. Glossar A 4) durch ein kleines Bohrloch) Gewissheit, ob ein Hohlraum vorhanden ist oder nicht.

4 Planungsphasen

Bei der Planung von energetischen Sanierungsmaßnahmen mit Innendämmung hat sich ein Projektablauf bewährt, der in drei Phasen gegliedert ist. Er beginnt mit der Bestandsaufnahme zur Erfassung der relevanten Informationen und des baulichen Zustandes des Gebäudes. Anschließend kann das Sanierungskonzept, beginnend mit dem Fassadensanierungskonzept, erstellt werden. Dabei wird ein Dämmsystem unter den Maßgaben von Schadensvermeidung, Verringerung der Heizenergieverluste, Kostenvorgaben, denkmalpflegerischen Maßgaben sowie gestalterischen und konstruktiven Anforderungen festgelegt und nachgewiesen.

Im letzten Schritt erfolgen die Auswahl der relevanten, d.h. repräsentativen Anschlussdetails und deren Dimensionierung. Die letzten beiden Abschnitte werden im Leitfaden Teil II: „Fassadensanierung und Innendämmung“ behandelt.

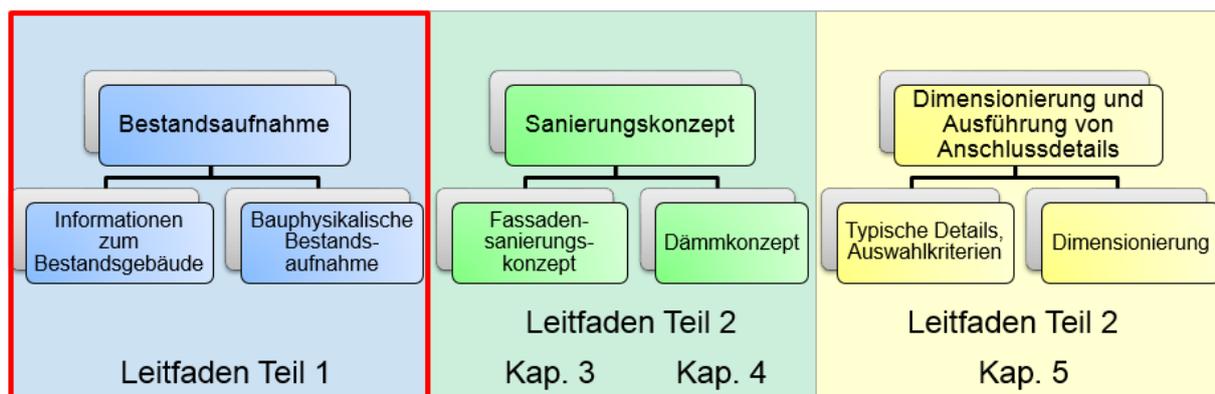


Bild 1 Phasen bei der energetischen Sanierung mit Innendämmsystemen, Einteilung der beiden Leitfäden

5 Vorbereitung und Durchführung der Vor-Ort-Untersuchung

Bei der Planung einer Innendämmmaßnahme ist die genaue Analyse des Gebäudes von großer Bedeutung. Ohne sie ist es möglich, dass Feuchteschäden wieder auftreten oder, in manchen Fällen, die Schäden nach der energetischen Sanierung sogar größer werden. Eine gute Planung kann auch verhindern, dass das volle Potenzial einer Dämmmaßnahme nicht ausgeschöpft wird.

5.1 Informationen über das Gebäude

Für historische Gebäude stehen mitunter viele Informationsquellen zur Verfügung, die bei der Bewertung eines Gebäudes berücksichtigt werden sollten. Die Informationen sind hilfreich, um sich schon vorab mit dem Gebäude vertraut zu machen und interessante Bereiche zu identifizieren, z. B. wo ein Gebäude erweitert wurde oder wo Reparaturarbeiten stattfanden. Die Baugenehmigung, Ausführungsplanung, Notizen, Unterlagen, Fotos, Briefe, Gutachten und Rechnungen geben Aufschluss über Baukonstruktionen, verwendete Materialien oder vergangene Schadensereignisse.

Dies kann jedoch nicht die Vor-Ort-Begehung ersetzen, da über die Standzeit des Gebäudes zweifelsohne Umbauten durchgeführt wurden oder bereits während der Bauphase Details abweichend von der letzten Planung ausgeführt wurden.

Die Folgen einer bestimmten Nutzung können sich schließlich bis in die Gegenwart auswirken, z. B. Salzkontaminationen durch einen ehemaligen Stall. Solche Unterlagen, auch aus dem Bauarchiv der Stadt, können ungewöhnliche Konstruktionen erklären, z. B. Anbauten oder Reparaturmaßnahmen. Bereits durchgeführte Änderungen und Umbauten werden nachvollziehbar. Eine sehr wichtige Informationsquelle stellen auch (ehemalige) Nutzer und Eigentümer dar.

Je umfassender die Kenntnisse aus der Vergangenheit sind, desto besser lassen sich vorhandene Mängel und Schadensursachen aus den Bauzuständen und den vorgenommenen Veränderungen erklären.

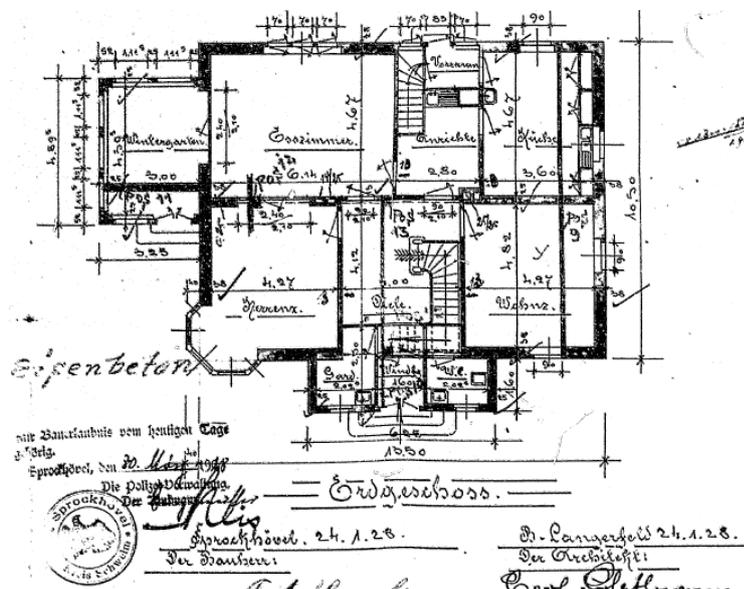


Bild 2 Auszug aus einer alten Baugenehmigung

5.2 Planung

Es wird empfohlen, die Untersuchung eines Gebäudes in zwei Stufen durchzuführen. Die folgende Abbildung beschreibt verallgemeinernd die übliche Vorgehensweise, die im Ablaufdiagramm (s. Anhang A 5) ausführlicher visualisiert wird.

Bei einem ersten Vor-Ort-Termin („Sensorische Tests“) wird eine orientierende Begehung des Gebäudes durchgeführt, um einen Überblick über dessen Zustand zu erhalten. Anhand dieser Begehung kann beurteilt werden, ob bzw. welche weiteren Schritte für eine tiefergehende Gebäudeanalyse notwendig sind und welche Untersuchungsmethoden wo bei der zweiten Untersuchung, der Messphase, zum Einsatz kommen sollen.

Idealerweise findet die erste Begehung nach einem Niederschlag statt, um das Feuchteaufnahmevermögen der Fassade grob einordnen zu können. Dies erfolgt durch Inaugenscheinnahme der Oberflächenfärbung der Mauer, z. B. im Spritzwasserbereich und entlang der Dachentwässerung. Die Erkenntnisse sind zu dokumentieren.

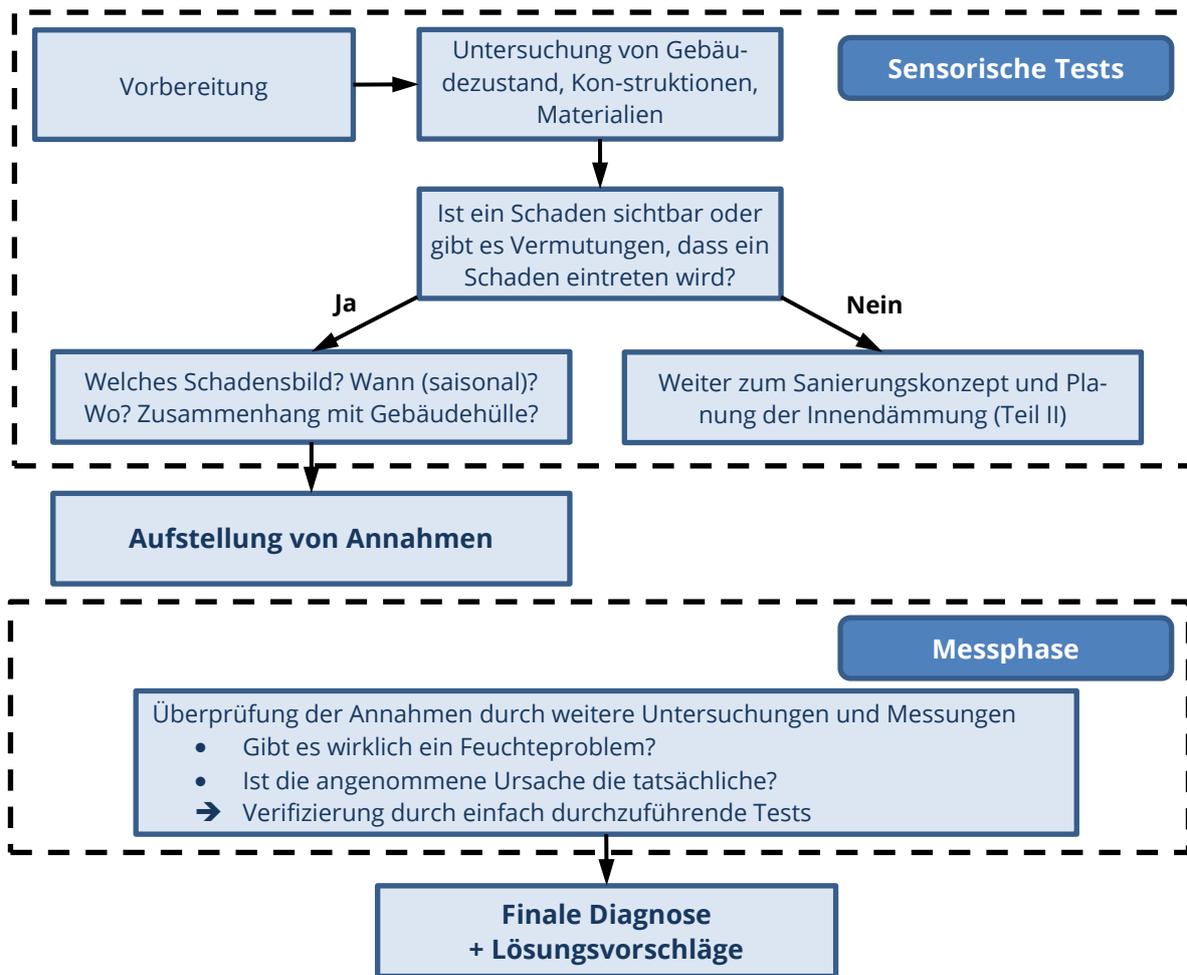


Bild 3 Überblick über den Ablauf von Vor-Ort-Untersuchungen

Im Anhang A 3 befindet sich eine Liste mit Werkzeug, Messinstrumenten und Ausrüstung, die bei einer Begehung nützlich sein können bzw. notwendige Vorbereitungen im Vorfeld einer Begehung.

Ist eine zweite Inspektion bzw. Untersuchung („Messphase“) notwendig, wird sie auf der Grundlage der Erkenntnisse und Vermutungen der Erstuntersuchung geplant und umgesetzt. Dabei werden (weitere) Messungen durchgeführt und gegebenenfalls Proben entnommen.

5.3 Durchführung

5.3.1 Erstuntersuchung

Erste wichtige Erkenntnisse bei der Erfassung des Gebäudezustandes können mit einfachen Untersuchungsmöglichkeiten ohne den Einsatz von umfangreichen technischen Hilfsmitteln gewonnen werden. Das Ablaufdiagramm zur Vor-Ort-Besichtigung stellt dabei ein bewährtes Prozedere vor (Anhang A 5). In Tab. 1 sind sensorische Prüfmöglichkeiten aufgeführt.

Tab. 1 Einfache, sensorische Untersuchungsmöglichkeiten bei Objektbegehungen

Art	Mögliche Informationen
Sehen	<ul style="list-style-type: none"> - Verfärbung von Oberflächen durch Feuchte, Schimmel- und Bakterienwachstum oder Algen-/Moosbewuchs - Salz- oder Kalkausblühungen - Zustand und Abmessungen von Bauteilen - Risse und Verformungen - Verwitterung - Korrosion von metallischen Werkstoffen - Holzerstörende Pilze - Verformte Bauteile - Bauteile mit hoher Wärmeleitfähigkeit (z. B. Stahl oder Beton), die die <i>thermische Hülle</i> durchdringen
Fühlen	<ul style="list-style-type: none"> - „Absanden“ von Oberflächen (<i>Kratz- oder Klebebandtest</i>) - Feuchtebelastung - Weicher, poröser Oberflächencharakter (Holz) - Zegerscheinungen (Feuerzeug- oder Rauchttest) - Weiche, federnde Stellen beim Begehen von Decken oder geneigte bzw. verformte Böden
Riechen	<ul style="list-style-type: none"> - Muffiger Geruch - Kunststoffanteile in Putzoberflächen (<i>Feuerzeugtest</i>)
Hören	<ul style="list-style-type: none"> - Klopfen an Bauteilen zum Erkennen von Hohlräumen, Materialwechseln, losem Putz

Kontrolliert werden sollten insbesondere das Dach, die Dachanschlüsse, der Sockelbereich innen und außen, Kellerräume, Fensteranschlüsse, Gebäudeecken und – falls bekannt – Stellen, an denen in der Vergangenheit Schäden aufgetreten oder Reparaturen durchgeführt worden sind, sowie Bereiche um wasserführende Leitungen (innen und außen). Besonders bei Fassaden mit einschaligem Sichtmauerwerk ist der Zustand der Fugen zu überprüfen, ob z. B. Fugenmörtel ausgebrochen ist oder Fugenabriss zu sehen sind. Ebenso sollten Übergänge zu Gebäudeerweiterungen oder Umbauten Teil der Untersuchung sein.

Wenn die Einwirkung von Schlagregen relevant ist, sollte der Wasseraufnahmekoeffizient w - bzw. A_w -Wert (s. Glossar A 4) der Fassade gemessen werden. Auch bei Putzfassaden kann es ratsam sein, den w -Wert zu ermitteln, um zu überprüfen, ob der Schlagregenschutz noch ausreichend ist. Mit welcher Methode eine solche Messung erfolgen soll, im Labor oder vor Ort, hängt von den Möglichkeiten und der Relevanz ab. In vielen Fällen sind allerdings einfache Vor-Ort-Messungen ausreichend (siehe Kapitel 8.2).

Die Einwirkung von Schlagregen kann bei Wänden, die zur Wetterseite hin ausgerichtet sind, wichtig sein (siehe Kapitel 8.2 sowie Kapitel 3.4 im Leitfaden Teil II: Fassadensanierung und Innendämmung). Dies ist meistens bei einer West- oder Südwest-Orientierung von Wänden der Fall. Hinzu kommt die Exposition, die an Bedeutung zunimmt, wenn eine Außenwand nicht durch andere Gebäude geschützt ist. Besonders relevant ist dies bei dünnen, einschaligen Wänden oder bei Sichtmauerwerk. Auch mit zunehmender Gebäudehöhe nimmt die Exposition und damit die

Schlagregenbelastung zu. Zur Einschätzung der Schlagregenexposition können im Einzelfall orientierende Messungen erforderlich werden, die sich mit Hilfe von Messungen mit Schlagregenschlagplatten [5] durchführen lassen (siehe auch Kapitel 8.5).

Alle Sinneseindrücke wie Feuchtflecken, Salzbelastung, Risse und Schimmel etc. sind in ihrer Lage, Form und Zeit (Winter oder Sommer, nach Regenfällen oder bei hoher Belegung) gewissenhaft zu dokumentieren und in entsprechende Baupläne, Raum für Raum, einzutragen. Skizzen und Fotos unterstützen die Erinnerung und Diskussionen. Die Ergebnisse einer Schadenskartierung in Plänen helfen, Zusammenhänge zwischen verschiedenen Schadensbildern zu finden und können dazu genutzt werden, Maßnahmen zur Beseitigung der Schäden selbst sowie ihrer Ursachen abzuleiten. Bei den Untersuchungen kann es notwendig sein, Elemente wie Fliesen, einen Ziegel oder Tapeten zu entfernen. Je nach Gebäudezustand kann es notwendig sein, weitere Sachverständige hinzuzuziehen (z. B. Statik, Holzschutz).

Immer wieder kommt es vor, dass die vor-Ort gefundenen Verhältnisse mit den im Vorfeld gesammelten Informationen nicht übereinstimmen. In solchen Fällen sollten, wenn möglich, die Bestandsunterlagen aktualisiert werden oder in der Dokumentation darauf hingewiesen werden.

Bei auffälligen Schäden, wie z. B. langen, breiten Rissen in tragenden Bauteilen, verdächtigen Knackgeräuschen beim Begehen einer Decke oder auffälligen Schiefstellungen, muss erwogen werden, unverzüglich einen Statiker hinzuzuziehen. Gegebenenfalls müssen umgehend Maßnahmen zur Gefahrenabwehr oder zur Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit eingeleitet werden, um weitere Schäden zu vermeiden. In diesen Fällen muss die Vor-Ort Begehung abgebrochen werden, bis das Urteil des Sachverständigen vorliegt und ggf. Maßnahmen umgesetzt wurden.

In manchen Fällen kann die Ursache des festgestellten Bauschadens einfach beseitigt werden, z. B. durch den Austausch einer defekten Dachentwässerung oder das provisorische Schließen von Fehlstellen in der Hüllkonstruktion. In dem in Bild 5 dargestellten Fall musste ein Fallrohr repariert werden, um eine Feuchteanreicherung in der Wand zu vermeiden.

- ➔ Das Ergebnis dieser "sensorischen Tests" ist eine Reihe von Annahmen bzw. eine Liste von möglichen Feuchteproblemen, die die beobachteten Schadensbilder erklären könnten.

5.3.2 Zweite Untersuchung

In der zweiten Untersuchungsphase werden Messungen durchgeführt, um die zuvor formulierten Annahmen zu bestätigen oder zu widerlegen. Einige Untersuchungen können einen größeren Eingriff notwendig machen, was bei denkmalgeschützten Gebäuden mit den für den Denkmalschutz zuständigen Stellen abgeklärt werden muss. Dazu zählen z. B. die Auflager der Holzbalkendecken, wo oft nicht einsehbare Schäden vorhanden sind. Zumindest punktuell sollte hier in gefährdeten Bereichen (Wetterseite, unter Feuchträumen/Küchen) eine Bauteilöffnung erfolgen. Diese zweite Phase ist nicht notwendig, wenn die Schlussfolgerungen der ersten Untersuchungen offensichtlich unkritisch sind.

Grundsätzlich stehen zwei Arten von Prüfungen zur Verfügung:

- **Zerstörungsfreie Prüfungen** liefern in der Regel schnelle Ergebnisse, wodurch sie besser geeignet sind um herauszufinden, ob tatsächlich ein Feuchteproblem vorliegt (auch wenn kein direktes Schadensbild zu beobachten ist). Solche Messungen werden in der Regel als "indikativ" betrachtet, was bedeutet, dass es ohne vergleichende Probenentnahmen größere Abweichungen beim Ergebnis geben kann, abhängig von den spezifischen Umständen im

Gebäude. Ihr Vorteil ist, dass sie offensichtlich nicht zerstörerisch sind und damit immerhin grob in verschiedene Bereiche hinsichtlich der Feuchtebelastung unterteilt werden kann.

- Bei **zerstörenden Prüfungen** werden Proben genommen und analysiert. Sie haben den Vorteil, dass die Ergebnisse weitaus genauer sind. Sie erfordern jedoch mehr Aufwand und Zeit (Probenahme plus anschließende Messungen) und sind invasiv bzw. zerstörend, was ein gravierender Nachteil ist. Die Menge der entnommenen Proben ist meist relativ gering: Die Probeentnahmestellen werden in der Regel strategisch in Abstimmung mit dem Auftraggeber bzw. Planer ausgewählt, basierend auf den vorherigen Beobachtungen und zerstörungsfreien Messungen.
- ➔ Das Ergebnis dieser Phase ist eine endgültige Bestätigung der wahrscheinlichen Feuchte- und Schadensursache(n).

Eine Entnahme von Probekörpern aus dem Mauerwerk ist immer hilfreich, da dadurch eine genauere Kenntnis über das Verhalten des Mauerwerks möglich ist und auch die Energie-Einsparpotentiale besser beziffert werden können. Denn schon die vergleichsweise einfache Ermittlung der Dichte lässt eine fundiertere Einschätzung der Wärmeleitfähigkeit zu. Für das kurzfristige Feuchtetransportverhalten ist besonders der w -Wert von Bedeutung. Langfristige Austrocknungsprozesse werden vom μ -Wert (s. Anhang A 4) bestimmt. Die Entnahme und Messung von Fugenmörtel ist in der Regel zu aufwändig. Hier gilt es sicherzustellen, dass bei steinsichtigem Mauerwerk die Fugen intakt sind oder ggf. ertüchtigt werden.

6 Hauptquellen von Feuchte in Fassaden

Es gibt nur wenige Hauptquellen für Feuchte in Fassaden und die Feuchteverteilung spiegelt deren Herkunft wider. Hohe Feuchte im Kernbereich von Bauteilen, z. B. durch aufsteigende Feuchte, deutet auf eine länger anhaltende Feuchtebelastung hin im Vergleich zu hoher Feuchte im oberflächennahen Bereich (siehe Abb. unten). In den folgenden Abschnitten werden die verschiedenen Arten der Feuchteverteilung erläutert.

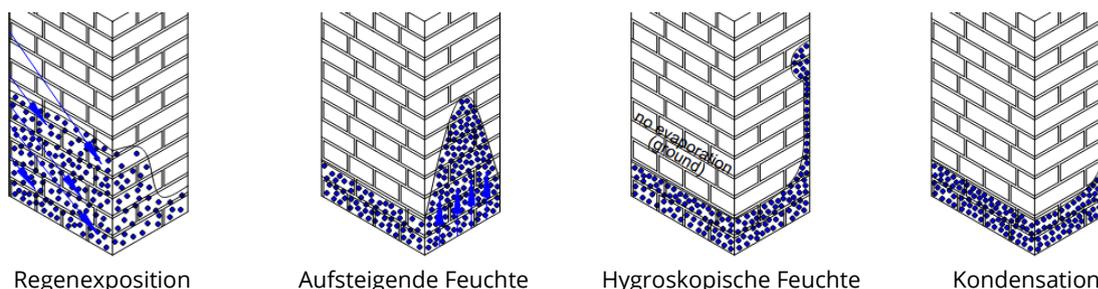


Bild 4 Schematische Darstellung der Feuchteverteilung im Mauerwerk

Es ist zu beachten, dass auch eine Mischung aus verschiedenen Ursachen und daraus folgenden Feuchteprofilen möglich ist, was die Interpretation erschwert. Ebenso treten einige der später beschriebenen Schadensbilder aufgrund der Fehlfunktion anderer Elemente auf und sie sind nicht auf die hier beschriebenen Feuchtequellen zurückzuführen. Sie können stattdessen z. B. mit Installationen, Rohren, der Fuge zwischen Wand und Fensterrahmen, Dächern, Dachrinnen, etc. zusammenhängen.

6.1 Eindringen von Schlagregen in Fassaden, Fassadenelemente oder -öffnungen

6.1.1 Beschreibung

Die offensichtlichste Feuchtequelle von Fassaden ist eindringender Schlagregen. Die Menge des aufgenommenen Wassers und die Feuchteverteilung (in Bild 4 links) ist abhängig von den Feuchtetransporteigenschaften der Beschichtung(en), des Putzes und des Mauerwerks. Bauschäden wie Risse und undichte Fugen erhöhen die Feuchtaufnahme.

Mengenmäßig viel geringer, aber dennoch nicht zu vernachlässigen, ist die Kondensation von Umgebungsfeuchte auf der Außenfläche. Diese tritt z. B. als Morgentau auf und kann das Wachstum von Organismen begünstigen.

Die schnellste Durchfeuchtung findet statt, wenn Risse an der Fassade vorhanden sind und Regenwasser direkt eindringen kann. Solche Risse können zum Beispiel verursacht werden durch:

- Stabilitätsprobleme, bauliche Veränderungen in der Fassade oder thermische Dehnungen,
- Frost oder Produktionsfehler oder
- fehlende Bauelemente.

Schlecht oder nicht gewartete Dachrinnen und Regenwasserleitungen sind eine weitere, häufig auftretende Ursache für zu hohe Feuchte in Wänden (links in Bild 5). Neben dieser Art von Schäden ist das Eindringen von Regenwasser unerwünscht, da es den Feuchtegehalt der Fassaden unnötig erhöht, was sich negativ auf die Dämmeigenschaften auswirkt.

6.1.2 Visuelle Untersuchung

Bei Beeinträchtigungen im Inneren eines Gebäudes sollte zuerst auf der Außenseite des Gebäudes nach Ursachen gesucht werden. Aber auch wenn im Inneren des Gebäudes keine Schäden aufzufinden sind, ist eine Kontrolle der Außenseite erforderlich. Es ist möglich, dass in der Zukunft nach Anbringung einer Innendämmung das Eindringen von Wasser zu Schäden führt.

Es kann von Vorteil sein, eine visuelle Analyse bei regnerischem Wetter oder nach einer Regenperiode durchzuführen. So lässt sich direkt überprüfen, ob bestimmte Fassadenbereiche stark dem Regen ausgesetzt sind und welche Bereiche geschützt sind (Mitte und rechts in Bild 5).



Bild 5 Begehung nach einem Regenereignis zur visuellen Überprüfung der Feuchteverteilung auf Fassadenoberflächen

So können visuelle Anzeichen von Abflüssen, wie z. B. das Verschmutzungsmuster einer Fassade, einen klaren Hinweis auf die Belastung geben. Je nach Art der Verschmutzung (Ruß, Bakterien, Algen, ...) lässt sich eine unterschiedliche Intensität an Fassaden beobachten (Bild 6 und Bild 7). Ruß ist in der Regel eher an den Teilen der Fassade vorhanden, die dem Regen weniger ausgesetzt sind. Bakterien oder Algen hingegen sind in der Regel eher an Fassadenteilen zu finden, die dem Regen oder der Feuchtigkeit stärker ausgesetzt sind und langsamer austrocknen (z. B. Nordfassaden). Manchmal zeigen sich Unterschiede in der Regenwasser-Exposition durch einer sich verändernden Schadensintensität von Fassadenmaterialien (Bild 8 und Bild 9).



Bild 6 Wachstum von Moosen, Algen und Bakterien an regenwasserbelasteten Fassaden



Bild 7 Unterschiede in der Verschmutzung unter einer Fensterbank. Links: abgesehen von einigen Abflüssen ist die Oberfläche unter der Fensterbank vor Wasser gut geschützt, da sie mit Ruß verschmutzt ist; Mitte: die Oberfläche unter der Fensterbank ist sauberer, was darauf hindeutet, dass sie dem Regen ausgesetzt ist; rechts: der Abfluss von Wasser unter der Fensterbank zeichnet sich gut ab



Bild 8 Unterschiedlicher Zustand der Oberfläche, hier das "Ausspülen" des Bindemittels, kann ein Hinweis auf Unterschiede in der Schlagregenbelastung sein



Bild 9 Oft führt das Eindringen von Regenwasser dazu, dass $\text{Ca}(\text{OH})_2$ aus Beton oder Mörtel ausgespült wird und sich auf Oberflächen ablagert, wo es sich in Calcit umwandelt. Solche weißen Ablagerungen, die manchmal sogar als Stalaktiten sichtbar sind, sind ein deutliches Zeichen für eingedrungene Feuchte oder eine andere ausgeprägte Feuchtequelle. Solche Ablagerungen können (z. B. bei Betonkonstruktionen) zu erheblichen Materialschäden bis hin zu Stabilitätsproblemen führen (Zersetzung von Mörteln, verstärkte Korrosion von Stahlbewehrungsstäben im Beton).

Die folgenden Aspekte müssen visuell überprüft werden (eventuell ergänzt durch Messungen):

- Fensterbänke
- der Schutz des Sockelbereichs
- Abdecksteine
- Gesimse
- das Vorhandensein großer Risse in der Fassade
- die Qualität der Steine (keine Beschädigungen, keine Risse)
- die Qualität der Mörtel (keine Verschlechterung, keine fehlenden Fugen)
- die Qualität der Putze oder Anstriche sowie deren Wasserdampfdurchlässigkeit
- die Fugen zwischen Fenster- und Türrahmen und der Wand
- das Vorhandensein von dampfsperrenden Verkleidungsmaterialien (einige Putze oder Beschichtungen, glasierte Fliesen, glasierte Ziegel, ...)
- das Vorhandensein von Elementen, die die Wände schützen, wie z. B. Balkone

Außerdem spielt die Art und Ausrichtung der Wände eine wichtige Rolle:

- In Innenwände sollte Regenwasser nicht direkt eindringen können. Eine Innenwand, die mit einer Außenwand in Berührung kommt, kann etwas Feuchtigkeit von der Außenwand aufnehmen, aber dieser (nicht sichtbare) Effekt sollte in einem Abstand von mehr als einem Meter von der Außenwand verschwunden sein. Wenn Flecken oder andere Schäden an Innenwänden bemerkt werden, die weit von Außenwänden entfernt sind, ist die Feuchtequelle höchstwahrscheinlich nicht eindringender Schlagregen.
- In der Regel sind nur Fassaden, die nach Süden oder Westen ausgerichtet sind, intensivem Schlagregen ausgesetzt, weswegen durch Schlagregen verursachte Schäden nur dort auftreten. Schlagregen aus dem Osten oder Norden ist selten (wenn auch möglich!). Auch Windturbulenzen, verursacht durch die Umgebungsbebauung, können eine Rolle spielen.
- In der Regel sind die oberen Bereiche von Wänden stärker betroffen als die unteren Bereiche. Daher werden Probleme mit Regeneinwirkung, wenn überhaupt, weiter oben im Gebäude deutlicher und intensiver.

- Die Feuchtigkeit wird oft von der Außenseite des Gebäudes in die Wand hinein transportiert. Demzufolge sollte die Feuchtigkeit möglichst auch im Wandinneren gemessen werden. Wenn nur an der Wandoberfläche Feuchtigkeit vorhanden ist, ist es unwahrscheinlich, dass es sich um eindringenden Schlagregen handelt.

6.2 Aufsteigende Feuchte

6.2.1 Beschreibung

Aufsteigende Feuchte tritt meistens bei älteren Gebäuden bei einem Defekt oder einer fehlenden horizontalen oder vertikalen Abdichtung in Verbindung mit Grundwasserkontakt auf. Feuchte aus dem Boden wird dann von den porösen Materialien des Fundaments kapillar aufgenommen und steigt in den Wänden auf. Bei Gebäuden, die in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts oder in jüngerer Zeit errichtet wurden, ist die Wahrscheinlichkeit, dass aufsteigende Feuchte auftritt, geringer, wenn auch immer noch möglich, meist aufgrund von Fehlern beim Bau.

Das Schadensbild zeigt sich meist als horizontales Band im Bereich des Kellers und Erdgeschosses. Die Feuchte kann ungefähr bis zu einer Höhe von etwa einem Meter aufsteigen, in Gegenwart von Salzen und dichtem Putz noch höher. In der Wandmitte steigt die Feuchte meist höher auf, wenn die äußeren Bereiche des Mauerwerks austrocknen können (Bild 4, zweites Bild).

Aufsteigende Feuchte führt zu Materialverschleiß, ist die Ursache erhöhter Energieverluste und wirkt sich negativ auf das Innenklima aus.

6.2.2 Untersuchung

Am häufigsten tritt aufsteigende Feuchte an Außenwänden auf, aber auch Innenwände können davon betroffen sein (je nachdem, wo der Grundwasserspiegel liegt, und je nach Art des Bodens). Wenn sich unter dem Gebäude ein belüfteter Keller befindet, sollten die Wände im Erdgeschoss weniger (oder gar nicht) von aufsteigender Feuchte betroffen sein.

Mittels Feuchtemessungen lässt sich festzustellen, ob aufsteigende Feuchte tatsächlich vorhanden ist. Wände mit aufsteigender Feuchte sind an der Oberfläche am trockener als im Wandinneren. Die Feuchte ist ferner im Sockelbereich am Höchsten und nimmt mit der Höhe ab.

Es ist wichtig zu beachten, dass nicht alle horizontalen Feuchtebander durch aufsteigende Feuchtigkeit verursacht werden.



Bild 10 Aufsteigende Feuchte an einer Innenwand (links) und an einer Außenwand (rechts)

- **Hygroskopische Salze:** Oft zeigen sich solche Salze als zufällige, unregelmäßige feuchte Flecken. In vielen Fällen sind sie aber auch als horizontales feuchtes Band sichtbar und erwecken so den Eindruck aufsteigender Feuchte. In solchen Fällen sollte man den Feuchtegehalt des Mauerwerks in einer bestimmten Tiefe (z. B. 10 cm) messen. Wenn hygroskopische Salze die Ursache für die feuchten Stellen sind, sollte dort der Feuchtegehalt des Mauerwerks niedrig

sein, was darauf hindeutet, dass es sich nicht um aufsteigende Feuchte handelt. Ein Salzbestimmungstest kann bestätigen, dass zu viele hygroskopische Salze vorhanden sind. Bei einem einfachen Test mit günstigen Teststreifen sollte man vor allem auf das Vorhandensein von Nitrat- oder Chlor-Ionen achten, da diese Ionen am ehesten in hygroskopischen Salzen zu finden sind.

- **Putzbrücken:** Befindet sich eine horizontale Abdichtung am Wandsockel, aber der Putz an der Wand kommt mit dem feuchten Mauerwerk unter der Sperre in Berührung, wird der Putz nass und transportiert Feuchte über die Abdichtung hinweg, wieder in Form eines horizontalen Bandes. Die Höhe dieser Zone beträgt in der Regel maximal 20-30 cm, viel weniger als der übliche 1-Meter-Wert bei tatsächlich aufsteigender Feuchte. Dies ist ein wichtiges Anzeichen dafür, dass es sich um eine Putzbrücke handelt. Außerdem sollte der Wassergehalt des Mauerwerks hinter dem Putz nicht sehr hoch sein (mindestens niedriger als der Wassergehalt des Putzes selbst).



Bild 11 Rein visuell ist es nicht immer einfach, die Feuchtigkeitsquelle zu erkennen. Links aufsteigende Feuchte, rechts hygroskopische Salze

- **Spritzwasser** kann in Form eines horizontalen Streifens feuchte Wandsockel verursachen und so den Eindruck von aufsteigender Feuchtigkeit erwecken. Die Höhe der feuchten Zone ist nicht sehr hoch (max. 30 cm), sodass sich Spritzwasser und aufsteigende Feuchtigkeit unterscheiden lassen. Eine visuelle Inspektion der Außenwand kann diese Annahme bestätigen: Wenn im Sockelbereich kein oder nur ein unzureichender Schutz gegen Spritzwasser vorhanden ist oder keine Dachrinne vorhanden ist (was zu übermäßigem Spritzwasser führt), ist es durchaus möglich, dass es sich um ein Spritzwasser handelt und nicht um ein Problem mit aufsteigender Feuchte.
- **Wärmebrücke im Sockelbereich:** Der Sockelbereich kann im Winter ein etwas kälterer Bereich sein, wodurch sich die Wahrscheinlichkeit von Kondensation und/oder Schimmelbildung erhöht. Das kann sich im Schadensfall als horizontales Band aus Schimmelpilzen äußern (Bild 10). Dieser Streifen ist in der Regel viel niedriger als ein Meter. Außerdem ist der Wassergehalt der Wand sehr niedrig: Die Feuchtigkeit befindet sich an der Oberfläche der Wand und nicht im Inneren.

6.3 Hygroskopische Feuchte und hygroskopische Salze

6.3.1 Beschreibung

Die meisten Baumaterialien können eine beträchtliche Menge an Wasser speichern. Unter üblichen raumklimatischen Bedingungen, ungefähr 20°C und bis zu 65% relativer Luftfeuchte, nimmt eine Wand keine große Menge Wasser auf. In diesem Feuchtebereich spricht man von hygroskopischer Feuchte. Die Menge hygroskopisch gespeicherter Feuchte kann allerdings deutlich zunehmen, wenn die Baumaterialien hygroskopische Salze enthalten.

Solche Salze können aus den Materialbestandteilen selber oder aus einer externen Quelle stammen (Regen, aufsteigende Feuchte, industrielle oder landwirtschaftliche Quellen) und erhebliche Mengen an zusätzlichem Wasser anziehen.

Die Feuchteverteilung nähert sich dann der dritten und vierten Grafik in Bild 4 an und äußert sich in sichtbaren feuchten Flecken oder Materialzerstörung. Werden die Salze aus dem Außenbereich eingetragen, z. B. durch Streusalze, wird sich das Feuchteprofil auf der Außenseite ausbilden.

Ist der Wassergehalt hoch genug, gehen die Salze wieder in Lösung und können noch höher transportiert werden, wo sie sich anreichern und mehr Wasser anziehen. Dies kann zu einer Feuchteverteilung führen, wie sie in der dritten Grafik in Bild 4 dargestellt ist.

Wenn in Wasser gelöstes Salz austrocknen (z. B. weil das Innenklima trockener wird), kristallisiert das Salz an der Oberfläche aus, was an sich keine Materialzerstörung darstellt. Dagegen kann es im Falle einer Kristallisation in den Materialporen zu Schäden durch Absprengungen kommen (Bild 12 rechts).



Bild 12 Hygroskopische Feuchte und Salze auf einer Außen-(links) und Innenwand (Mitte); rechts: Salz kristallisiert an der Oberfläche aus

6.3.2 Untersuchung

Feuchte Flecken, die auf hygroskopische Feuchte zurückzuführen sind, können praktisch überall auftreten: innen, außen, in der Nähe des Wandssockels, im Obergeschoss eines Gebäudes, an Innen- oder Außenwänden, ... Das Erscheinungsbild kann regelmäßig sein (d. h. ein "Band", siehe 6.2) oder unregelmäßig, als Flecken. Manchmal mit sehr scharfen Rändern, manchmal mit unscharfen. Ihr Aussehen ändert sich: sie werden größer, wenn die relative Luftfeuchte zunimmt, und werden kleiner (oder verschwinden sogar ganz), wenn die relative Luftfeuchte abnimmt. Oft sind diese (Salz-)Flecken auf Feuchteprobleme in der Vergangenheit zurückzuführen, kombiniert mit Verunreinigungen durch Meerwasser, Tausalze oder zersetzende organische Verbindungen (verrottende Pflanzen, Abwasser, Tiere, Urin, Fäkalien, ...).

Es muss betont werden, dass hygroskopische Salze in allen Bauteilen vorhanden sein können, verursacht durch:

- Dachprobleme (Wasser, das zersetzte Moose, Fäkalien oder Kadaver enthält; oft im Zusammenhang mit früheren Problemen mit Dachrinnen und Regenrohren oder durch Tiere auf Dachböden),

- Grundwasser (aufsteigende Feuchte, die durch organisches Material mit Salzen belastet ist oder durch Kanalisationswasser),
- eindringendes Regenwasser (insbesondere in Küstenregionen),
- frühere Nutzungen des Gebäudes: Ställe, Misthaufen, Lagerräume für Düngemittel, etc.,
- die Baumaterialien selbst, insbesondere bei recycelten (und nicht gut gereinigten) Ziegeln oder Steinen, die aufgrund ihrer früheren Verwendung mit Salz belastet sind

In den meisten Fällen ist das Mauerwerk hinter den feuchten Stellen trocken, da sich die Feuchte hauptsächlich an der Oberfläche befindet. Daher kann der Eindruck entstehen, dass die Wände sehr feucht sind, auch wenn dies normalerweise nicht der Fall ist. Um das Vorhandensein von Salzen zu bestätigen, kann ein Salzbestimmungstest durchgeführt werden um festzustellen, ob zu viele hygroskopische Salze vorhanden sind. Auch hier ist bei einem vereinfachten Test mit Teststreifen auf das Vorhandensein von Nitrat- oder Chlor-Ionen zu achten, da diese Ionen am ehesten in hygroskopischen Salzen zu finden sind.

In Ausnahmefällen kann hygroskopische Feuchte sehr reichlich vorhanden sein. Genauere Messungen die zeigen, um welche und wie viel hygroskopische Salze es sich handelt (oder nicht), sind komplexer als "einfache" Messungen und bedürfen der Messung von Probekörpern in einem Labor.

6.4 Wärmebrücken (Kondensation, Schimmel)

6.4.1 Beschreibung

Wärmebrücken sind Zonen an Innenwandflächen, in denen die Oberflächentemperatur niedriger ist als in den umgebenden Bereichen. Im Bereich von Wärmebrücken führen die niedrigeren Temperaturen zu lokal erhöhter Oberflächenfeuchte und können Schimmelbildung bis hin zu Oberflächenkondensation hervorrufen. Wärmebrücken werden durch die Konstruktion oder einen Materialwechsel hervorgerufen.

Wärmebrücken lassen sich in der Regel nicht gänzlich vermeiden, aber ihr Effekt kann durch flankierende Maßnahmen begrenzt werden. Beispielsweise ist jede Ecke eines Gebäudes eine konstruktive Wärmebrücke, da die innere Wandfläche, viel kleiner ist als die äußere Fläche. Daher wirkt sich ein kaltes Außenklima auf eine viel größere Fläche aus.

Stahlträger einer Decke, die die Außenwand durchdringen und auf denen noch ein Balkon aufliegt oder eine nach außen durchdringende Betondecke wären Beispiele für konstruktive bzw. materialbedingte Wärmebrücken, da Stahl und Beton eine wesentlich höhere Wärmeleitfähigkeit als ein Mauerziegel aufweisen. In der Folge kühlen beide den angrenzenden Wandbereich erheblich ab.

Kondenswasserbildung und Schimmelbildung werden oft als zwei eng miteinander verbundene Phänomene bezeichnet. Es ist jedoch durchaus möglich, dass Kondensation ohne Schimmelbildung auftritt. Umgekehrt können Schimmelpilze auftreten, ohne dass Kondensation vorhanden ist. Schimmelpilze benötigen keine vollständig mit Wasserdampf gesättigte Luft: Solange die relative Luftfeuchte ausreichend hoch ist (ab ca. 70%), können sich in Abhängigkeit von der Temperatur und der Dauer Schimmelpilze bilden. Andererseits tritt Kondensation nur dann auf, wenn die Luft vollständig gesättigt ist, was aber auch innerhalb eines sehr kurzen Zeitraums der Fall sein kann. Wenn diese Zeitspanne ausreichend kurz ist und keine Nährstoffe vorhanden sind, entwickeln sich keine Schimmelpilze, selbst wenn reichlich Kondenswasser vorhanden ist.



Bild 13 Schimmel/Kondensation im Bereich von Wärmebrücken

6.4.2 Untersuchung

Schimmel, feuchte Flecken oder Wassertropfen lassen sich leicht identifizieren. Sie befinden sich oft

- hinter oder unter großen Gegenständen (Möbel, Teppiche, ...),
- auf offensichtlich kalten Oberflächen wie (Einfach-)Verglasungen,
- in Sockelbereichen oder Ecken, die zu charakteristischen, "hyperbolisch-förmigen" kalten Zonen mit Kondensation oder Schimmel führen können (Bild 13) und
- an sonstigen Wärmebrücken wie oben beschrieben.

7 Analyse der Ergebnisse

7.1 Durch Feuchte verursachte Schadensbilder

In diesem Teil werden typische Schadensbilder, die auf zu hohe Feuchtegehalte hinweisen können, etwas genauer beschrieben. Im Anhang A 1 sind dazu viele Beispiele mit Fotos zu finden.

Biologische Schäden auf der Fassade (siehe z. B. Anhang A 1, Case 4):

- Algen, Flechten, Bakterien (meist als schwarze Bereiche sichtbar): Obwohl sie Wasser benötigen, um sich zu entwickeln und zu wachsen, deutet ihr Vorhandensein nicht immer auf ein ernstes Feuchteproblem hin. Sie können auftreten, wenn die Umstände „günstig“ sind (keine direkte Sonneneinstrahlung, hohe Umgebungsfeuchte während ausreichend langer Zeiträume).
- Moose, Pilze, Schimmel oder höhere Pflanzen: Ihr Vorhandensein deutet fast immer auf ein ernstes Feuchteproblem hin. Besonders das Vorhandensein höherer Pflanzen ist Anzeichen einer ernsthaften Feuchtebelastung, da sie viel Feuchte über einen längeren Zeitraum benötigen. Außerdem können ihre Wurzeln eine Vorschädigung schnell vergrößern.

Biologische Schäden in Innenräumen

Das Vorhandensein von sichtbaren Verfärbungen oder einem optisch erkennbaren Bewuchs ist unerwünscht und deutet auf ein Problem hin, das dringend Aufmerksamkeit erfordert, dem Gebäude, aber auch der Gesundheit der Menschen im Inneren des Gebäudes zuliebe. Falls ein schimmeliger Geruch vorhanden ist, aber keine sichtbaren Anzeichen erkennbar sind, sollte man in

Erwägung ziehen, hinter Tapeten, unter Teppichen oder Vinylbodenbelägen, hinter Möbeln oder Wandverkleidungen und sogar unter Bodenfliesen zu suchen.

- Schimmel entsteht bei Feuchte in der Wand, aber auch bei Problemen mit dem Innenklima des Gebäudes (hohe Luftfeuchte über ausreichend lange Zeiträume), sei es allgemein im Gebäude oder in der Nähe von kälteren Bereichen (Wärmebrücken).
- Pilze benötigen viel Feuchte. Wenn diese vorgefunden werden, sind die Wände, Decken, etc. zu feucht. In der Nähe befindliche Holzelemente müssen gründlich untersucht werden, da sie wahrscheinlich beschädigt sind und einen Teil ihrer Festigkeit verloren haben.

Korrosion von Eisen

An der Außenseite eines Gebäudes ist die Korrosion von (ungeschütztem) Eisen unvermeidlich, da Feuchte (unter dem Einfluss von Regen oder Wasserdampf) immer vorhanden ist. Im Inneren eines Gebäudes deutet Korrosion in der Regel auf ein zu feuchtes Innenraumklima hin, was zu einer oberflächlichen Korrosion führt. Wenn die Korrosion weiter als oberflächlich geht, insbesondere an Teilen, die mit Wänden in Berührung kommen, ist dies ein ernstes Anzeichen dafür, dass es ein intensiveres Feuchteproblem in der Wand gibt, das z. B. durch Regenwasserinfiltration oder aufsteigende Feuchte verursacht wird.

Abblättern, Abbröckeln, Pulverisieren, Rissbildung

können eine Folge von diversen Abbauvorgängen sein, die überwiegend mit Feuchte zusammenhängen:

- Zersetzung von Putzen auf Gipsbasis auf der Innenseite eines Gebäudes als eine mögliche Folge von zu feuchter Innenluft. Dieser Schaden kann auch durch das Vorhandensein von Salzen im Putz, wiederum in Kombination mit kritisch hoher Luftfeuchte, oder Feuchte in der Wand verursacht werden.
- Zersetzung von Natursteinen, Ziegeln, Mörteln oder anderen mineralischen Mauerbildnern durch die Einwirkung von:
 - Frost-/Tauwechsel: Normalerweise tritt dies nur in den äußeren Bauteilschichten und in Kombination mit einer feuchten Wand auf. Bei ungenutzten und damit meist auch unbeheizten Gebäuden können Frost- und Tauwechsel auch raumseitig auftreten.
 - Salzausblühungen: Durch wiederholte Befeuchtungs- und Trocknungszyklen werden Salze gelöst und rekristallisieren. In Abhängigkeit von den Randbedingungen (Temperatur, Luftfeuchte und Wind) und den Baumaterialien können diese Salze an der Oberfläche (siehe nächster Punkt) oder im Inneren von Materialien auskristallisieren und verursachen bei letzterem Strukturschäden im Material.

Beschädigung der Deckschichten (innen oder außen)

- Abblättern von Beschichtung: meist durch Salzkristallisation hinter der Farbschicht oder durch Frost an der Grenzfläche zwischen der Farbe und dem darunterliegendem Material.
- Schäden an Putzen in Form von Rissen, Verlust des Zusammenhalts, Abblättern, etc. meist durch Salze oder Frost.
- Abblättern der Tapete: in der Regel wegen des sich auflösenden Klebers, wenn er nass wird. Zudem ist zu beachten, dass bei sehr diffusionsdichten Anstrichen und PVC-Tapeten hinter dieser Schicht hervorragende Wachstumsbedingungen für mikrobiellen Bewuchs gegeben sein können (Bild 14).



Bild 14 Schimmelwachstum hinter einer entfernten PVC-Tapete (Quelle: Wiss J. Elstner Associates, Inc.)

Sichtbare Feuchte

- Sichtbare Tropfen werden meist durch ein zu feuchtes Innenklima und/oder Wärmebrücken verursacht. An Außenflächen ist dies ganz normal. Auf Innenflächen ist dies meist eine Folge von
 - zu großer Feuchteproduktion im Gebäude (z. B. durch menschliche Aktivitäten oder ausgeprägte Feuchtequellen),
 - unzureichender Belüftung,
 - dichten Oberflächen
 - und/oder dem Vorhandensein von (zu) kalten Oberflächen.
- Eindringendes Wasser, das von der Wand ins Gebäudeinnere "fließt", kann beim Vorhandensein von Rissen in Kellerwänden aufgrund von (zeitweise anliegendem) Grundwasser vorkommen. Oberhalb des Erdreichs ist dies sehr selten. Auf dieses Problem wird nicht näher eingegangen, da es in einem Gebäude, auch wenn es sich in einem mittelmäßigen Zustand befindet, nicht auftritt. Natürlich ist das Vorhandensein solcher Infiltrationen völlig inakzeptabel. Bei stetigem Tröpfeln sind zu überprüfen:
 - Lecks in Wasser- und Abwasserleitungen oder Heizrohren
 - Lecks oder Verstopfungen von Dachrinnen oder Fallrohren
 - Undichtigkeiten in Dächern
 - große Risse in Fassaden oder Öffnungen, durch die relativ große Wassermengen in die Konstruktion eindringen können, insbesondere bei Fassaden, die nach Süden, Südwesten oder Westen ausgerichtet sind
 - Beschädigte oder fehlende Abdichtungen zwischen Wänden und Fenster- oder Türrahmen
 - Beschädigte oder fehlende Abdichtungen zwischen Dächern, Terrassen und Wänden, Schornsteinen, ...
 - Im Rahmen einer Vor-Ort-Begehung kann die Wasseruhr der Hauptwasserleitung überprüft werden: der Zählerstand darf sich zwischen Eintreffen und Verlassen des Gebäudes nicht verändern
- Feuchte Bereiche, wo die Materialoberfläche dunkler ist, können durch hygroskopische Feuchte verursacht werden, die von Salzen im Mauerwerk adsorbiert wird. In diesem Fall sollte die Feuchte überwiegend oberflächlich sein. Für den Fall, dass diese Flecken durch eine

externe Feuchtequelle verursacht werden, befindet sich die Feuchte tiefer in der Wand, möglicherweise über die gesamte Wanddicke.

7.2 Fassadenmaterialien, die Feuchteprobleme beeinflussen oder verschärfen

Bestimmte Materialien können teilweise oder vollständig verhindern, dass Feuchte aus dem Mauerwerk effizient austrocknen kann und somit ein bereits bestehendes Feuchteproblem verstärken.

Die Trocknung von Mauerwerk wird im Wesentlichen von zwei Parametern beeinflusst:

- **Kapillarbewegung von flüssigem Wasser** in den Poren von Materialien. Infolgedessen wird in dichten Materialien die Trocknung langsamer sein. Aber auch in Materialien mit einer offeneren Porenstruktur, die mit einem wasserabweisenden Mittel (z. B. Hydrophobierung) behandelt wurden, ist die Kapillarbewegung von Feuchte erschwert, was zu einer langsameren Trocknungsrate führen kann.
- **Wasserdampfdurchlässigkeit** von Materialien, im Mauerwerk und an dessen Oberflächen. Je mehr ein Material den Transport von Wasserdampf blockiert, desto langsamer trocknet es aus.

In den meisten Fällen befindet sich die Feuchte bevorzugt im Mörtel eines Mauerwerks, da Mörtel oft mehr Kapillarporen aufweisen als z. B. Ziegel oder Natursteine. Dies ist jedoch keine allgemeingültige Regel, es gibt Ausnahmen.

Es ist wichtig, dass eine Fassade so konzipiert ist, dass sie nur ein Minimum an Wasser aufnimmt und ein Maximum an Trocknung zulässt. Denn auch bei einer völlig regensicheren Fassade kann eine Feuchtebelastung auftreten. Zum Beispiel durch Lecks in Dachrinnen, Dächern oder Rissen in der Fassade oder ihren Schutzschichten.

Die folgenden Materialien und Verfahren beeinflussen die Trocknungsgeschwindigkeit eines Mauerwerks negativ:

- Altes Mauerwerk, das mit modernem, **dichtem Zementmörtel** neu verfugt wurde. Die Trocknung von altem Mauerwerk (d. h. Mauerwerk, das mit Mörteln auf der Basis von hydraulischem Kalk oder Kalkhydrat errichtet wurde, was bei den meisten Gebäuden, die vor ca. 1930 errichtet wurden, der Fall ist) erfolgt in der Regel hauptsächlich über den Mörtel. Ein Mauerwerk, das mit einem dichten Zementmörtel neu verfugt wurde, blockiert diese Art der Trocknung nachhaltig.
In seltenen Fällen werden alte Mörtelfugen gestrichen (oft mit Ölfarben) oder es werden kleine, diffusionsdichte Elemente (z. B. Glas, Fliesen) an ihnen befestigt. Das behindert zusätzlich die Trocknung des Mauerwerks.
- Auftragen eines **wasserabweisenden Produkts**. Die Eindringtiefe solcher Produkte beträgt ungefähr 8-12 mm. In dieser Schicht unterbinden sie die Kapillarbewegung von Wasser und verhindern so das Eindringen von Regen. Um den gewünschten Effekt zu erzeugen sollten (1.) Produkte gewählt werden, die die Trocknung so wenig wie möglich beeinträchtigen, d.h. der Diffusionswiderstand sollte durch diese Produkte möglichst nicht erhöht werden. Die Hydrophobierungsmittel sollten ferner (2.) auf die jeweilige Fassade abgestimmt sein, die sich (3.) in einem guten Zustand befinden sollte. Daher müssen die Fugen oft vor deren Anwendung neu verfugt werden. Zudem sollten (4.) Feuchtequellen beseitigt werden.
Es ist zu beachten, dass die Wirksamkeit dieser Mittel je nach Produkt und Material alle 5 bis 15 Jahre überprüft und bei Bedarf erneuert werden muss. Die Wasseraufnahme lässt sich mit den in Kapitel 8.2 vorgestellten Methoden zur w-Wert Bestimmung beurteilen.

- **Putze** haben je nach Beschaffenheit und Zusammensetzung einen positiven oder negativen Einfluss auf den Wassergehalt in Fassaden und deren Trocknungsverhalten.
 - Putze mit hohem Zementanteil reduzieren die Trocknung des darunterliegenden Mauerwerks. Ihr negativer Effekt kann dadurch verstärkt werden, dass sie oft Schwindrisse aufweisen und somit Wasser in das Mauerwerk eindringen lassen. Diese Feuchtemengen sind nicht sehr groß, aber in Kombination mit einem die Trocknung blockierenden Putz kann es zu einer Feuchteanreicherung hinter dem Putz kommen.
 - Putze auf Basis von hydraulischem Kalk oder Kalkhydrat weisen in der Regel bessere Trocknungseigenschaften auf. Die Tatsache, dass solche Putze oft weniger Schwindrisse aufweisen, verbessert ihre Leistung beim Schutz einer Fassade vor Schlagregen.
- **Lacke** oder andere **Beschichtungen**. Je nach Zusammensetzung können Beschichtungen die Trocknungsgeschwindigkeit kaum bis sehr stark beeinflussen.
 - Anstriche, wie z. B. Kalk-, Silikat- und Siloxanfarben, sind als Schichten zu betrachten, die die Trocknungsgeschwindigkeit wenig beeinflussen.
 - Die meisten organischen Farben, wie z. B. Acrylfarben, verringern die Trocknungsgeschwindigkeit mäßig bis deutlich, wobei der Effekt mit der Anzahl und Dicke der aufgetragenen Farbschichten zunimmt.
 - Bestimmte organische Farben, wie z. B. Epoxid- oder Polyurethanbeschichtungen (auch sehr häufig als Graffitienschutz eingesetzt) blockieren nahezu jeden Dampftransport. Auch Ölfarben sind als sehr dampfdicht zu betrachten und verlangsamen somit die Trocknung einer Wand erheblich.
- **Wasser- oder dampfdichte Fassadenverkleidungen**, die mit einem Mörtel auf das darunterliegende Mauerwerk aufgebracht werden (Verkleidungen, die durch einen Hohlraum von der darunterliegenden Struktur getrennt sind, sind ausgeschlossen). Üblicherweise werden solche Verkleidungen mit dichten, dauerhaften Materialien ausgeführt, wie z. B. dichten Kalksteinen, Marmor, Granit und manchmal auch "exotischeren" Materialien wie Glas- oder Kunststoffplatten. Oft haben solche Fassadenverkleidungen schmale Fugen, die sich wie Lecks verhalten können.
- **Bituminöse Fassadenverkleidungen**, die auf Fassaden geklebt werden. Solche Verkleidungen waren vor ein paar Jahrzehnten sehr beliebt und sind oft mit einer Mauerwerksimitation versehen. Sie reduzieren die Trocknungsrate einer Fassade auf nahezu null. Eine Entfernung ist nicht unbedingt sinnvoll, da es fast unmöglich ist, alle Spuren des Teers/Bitumens zu entfernen, mit dem die "Platten" an die Fassade geklebt wurden. Dies kann dazu führen, dass nach der Entfernung dieser Bitumenbahnen die gesamte äußere Schicht des Mauerwerks entfernt werden muss. Eine zusätzliche externe Wärmedämmung kann der beste Weg sein, mit solchen Verkleidungen umzugehen.
- **Glasierte Ziegel** blockieren den gesamten Wasserdampftransport und beeinflussen somit das Trocknungsverhalten eines Mauerwerks negativ. Da der größte Teil der Trocknung durch den Mörtel erfolgt (sofern es sich um einen kalkbasierten Mörtel handelt), hat das Mauerwerk trotzdem noch erhebliche Trocknungsmöglichkeiten. In modernerem Mauerwerk (ab den 1930er Jahren) mit dünneren Fugen und dichterem Fugenmörtel können solche glasierten Ziegel ernsthafte Probleme in Bezug auf das Trocknungsverhalten des Mauerwerks verursachen.
- In ähnlicher Weise können glasierte **Fliesen**, dichte (aber unglasierte) Fliesen oder **Mosaik**, das Trocknungsverhalten des Mauerwerks sehr negativ beeinflussen. Solche Fassadendekorationen haben in der Regel einen weiteren gravierenden Nachteil: Haben sich in den feinen

Fugen Risse gebildet dringt von außen mehr Feuchte ein als austrocknen kann. Bei solchen Wandverkleidungen wurden deshalb häufig Schäden beobachtet.

Idealerweise sollten alle Materialien, die einen negativen Einfluss auf die Trocknungs-geschwindigkeit der Wand haben, entfernt und ggf. durch ein anderes Material ersetzt werden, das sich günstiger auf die Trocknung auswirkt, aber dennoch die Fassade vor Schlagregen schützen kann. In vielen Fällen ist dies nicht möglich, insbesondere wenn es sich um eine denkmalgeschützte Fassade handelt. In solchen Fällen stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- maximaler Schutz des Mauerwerks gegen weiteres Eindringen von Feuchte (z. B. aufsteigende Feuchte).
- Anstreben maximaler Trocknung zum Innenraum durch Aufbringen von diffusionsoffenen Beschichtungen, Tapeten oder (Kalk-)Putzen auf der Raumseite oder bei gravierenden Feuchteproblemen Sanierputz; Verkleidungen sollten nicht angebracht werden.
- Begrenzung der Raumluftheuchte bzw. Nutzung
- Die Anbringung einer Innendämmung kann in solchen Fällen gelegentlich problematisch sein, da auch sie die Trocknungsrate der Wand verringert. In Abhängigkeit von den Bedingungen vor Ort kann es angebracht sein, nur eine geringe Dämmstärke oder sogar keine Innendämmung zu wählen. Hygrothermische Simulationen können in solchen Fällen Klarheit verschaffen.

Die Ausführung von Mörtelfugen hat einen Einfluss auf das Eindringen von Feuchte in das Mauerwerk. Bauphysikalisch ideale Mörtelfugen sind bündig mit den Steinen. Solche Mörtelfugen werden aber oft als architektonisch "langweilig" empfunden und durch tiefer liegende Fugen (Schattenfugen) oder höher liegende, gewölbte Fugen ersetzt. Letztere sind zwar weniger effizient beim Schutz der Fassade vor Regen (da der Wasserfilm auf der Fassadenoberfläche langsamer abläuft), aber sie sind immer noch besser als die tieferen Fugen.

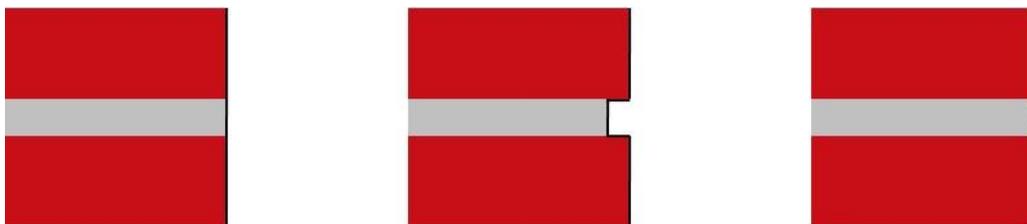


Bild 15 Typische Ausführungen für Mörtelfugen: links bündig mit der Wand, in der Mitte eine Schattenfuge, links davon eine Gewölbefuge

8 Messmethoden

Neben dem Auftreten der bereits vorgestellten Schadensbilder gibt es weitere Gründe, bei denen eine Feuchtemessung sinnvoll sein kann. So sind z. B. ein zeitweise unbeheiztes Gebäude, eine fehlende Kellerabdichtung oder viele Risse im Mauerwerk Anzeichen, die einen hohen Wassergehalt und damit Feuchteschäden vermuten lassen oder hervorrufen können.

8.1 Messen des Wassergehalts

Es gibt verschiedene Methoden zur Messung des Feuchtegehalts mit unterschiedlichen Anforderungen und Genauigkeiten. Grundsätzlich wird zwischen indirekten (zerstörungsfreien) und direkten (zerstörenden) Messmethoden unterschieden (siehe Bild 16). Bei den direkten Messmethoden, deren Genauigkeit höher ist, müssen Materialproben unterschiedlicher Größe entnommen werden. Indirekte Methoden sind weniger genau, zerstören aber nicht kleine Bereiche der Fassade. Die folgende Zusammenstellung ist nicht vollständig, sondern listet gängige Methoden auf. Kapitel A 2 im Anhang gibt eine kleine Einführung in deren Anwendung.

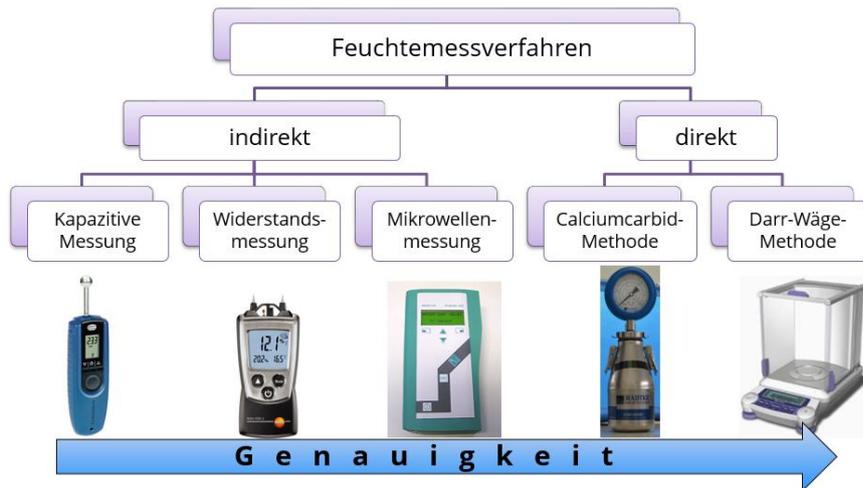


Bild 16 Geräte zur Messung von Feuchte

Je nach Gebäudezustand empfiehlt es sich, zumindest Vergleichsmessungen zwischen trockenen und feuchten Wandabschnitten mit einer einfachen, oberflächennahen indirekten Methode durchzuführen.

Zerstörungsfreie Methoden weisen zwar je nach Methode eine unterschiedliche Genauigkeit auf, können aber immerhin Hinweise auf die Feuchtequelle geben:

- Bei aufsteigender Feuchte findet man in den unteren Bereichen zu hohe Feuchtwerte, wobei diese mit dem Vorhandensein von Salzen und nicht unbedingt mit dem Vorhandensein von tatsächlicher Feuchte zusammenhängen können (Bild 4).
- Wenn die höchsten Werte in einer Höhe von etwa 1 oder 2 Metern gemessen werden, ist dies ein deutlicher Hinweis darauf, dass ein "Salzband" vorhanden ist (Bild 4). Dies ist sehr typisch bei aufsteigender Feuchte. Dieses Phänomen bleibt bestehen, wenn die Quelle der aufsteigenden Feuchte beseitigt wurde. Es kann daher notwendig sein, eine Kontrollmessung mit einer zerstörenden Methode oder eine Salzbestimmung durchzuführen.

Destruktive Methoden sind aufwändiger, ermöglichen aber klarere Erkenntnisse:

- Bei aufsteigender Feuchte sind die Feuchtwerte im Inneren der Wand am höchsten und nehmen nach oben ab. Oberhalb von einem Meter Höhe sollen sie unter 3 M% (Dabei handelt es sich um einen Erfahrungswert) liegen.

Tab. 2 Übersicht über verbreitete Verfahren zur Messung des Feuchtegehalts

	Nicht zerstörend			Zerstörend	
	Kapazitive Messung	Widerstandsmessung	Mikrowellenmessung	Calciumcarbid-Methode (CM)	Darr-Wäge-Methode
Methode	elektrisch	elektrisch	elektrisch	chemisch	gravimetrisch
Messung vor Ort durchführbar?	ja	ja	ja	ja	nein
Quantitative Beurteilung möglich?	nein	nein	ja, teilweise	ja	ja
Genauigkeit	Ungenau, nur qualitativer Vergleich	Bei mineralischen Baustoffen ungenau, nur qualitativer Vergleich, vergleichsweise genau bei Holz	Vergleichsweise genau	Vergleichsweise genau ($\pm 3\%$)	Sehr genau ($\pm 0,5\%$)
Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> + Werte sofort verfügbar + Vor-Ort-Messung möglich + Keine Materialentnahme + Preiswerte Messtechnik + Rastermessung möglich <ul style="list-style-type: none"> - Nur Unterscheidung trockener und feuchter Bereiche möglich - Nur oberflächennahe Messungen (bis ca. 4 cm Tiefe) 	<ul style="list-style-type: none"> + Werte sofort verfügbar + Vor-Ort-Messung möglich + Keine Materialentnahme + Preiswerte Messtechnik + Ergänzende Messung tiefer liegender Bauteilschichten (mit Bohrungen) möglich <ul style="list-style-type: none"> - Nur Unterscheidung trockener und feuchter Bereiche möglich - Messtiefe abhängig von Elektrodenlänge (meist bis ca. 3 cm Tiefe) 	<ul style="list-style-type: none"> + Werte sofort verfügbar + Vor-Ort-Messung möglich + Keine Materialentnahme + Messung unterschiedlicher Baustoffschichten möglich (bis zu 80 cm) + Rastermessung möglich <ul style="list-style-type: none"> - Indirektes Messverfahren - Kostenintensive Messtechnik 	<ul style="list-style-type: none"> + Werte sofort verfügbar + Vor-Ort-Messung möglich + Anerkanntes Messverfahren (geeignet für Gutachten u.a.) + Preisgünstige Messtechnik <ul style="list-style-type: none"> - Mäßige Genauigkeit - Probenentnahme notwendig - Ergebnis nur für beprobte Bereiche 	<ul style="list-style-type: none"> + Hohe Messgenauigkeit + Standardisiertes, allgemein anerkanntes Messverfahren + Als Kalibriermethode für andere Verfahren anwendbar <ul style="list-style-type: none"> - Werte nicht sofort verfügbar - Keine Vor-Ort-Messung - Probenentnahme notwendig - Ergebnis nur für beprobte Bereiche
Messprinzip	Kondensator-Prinzip, d.h. Messung unterschiedlicher Dielektrizitätskonstanten ϵ : für nicht leitende Stoffe ϵ ca. 2-10, für Wasser ϵ ca. 80 Je höher der Feuchtegehalt, desto höher elektrische Leitfähigkeit und Zunahme der Dielektrizitätskonstante	Einbringen von Elektrodenstippen in das Material (Eindrücken, Einschlagen) und Anlegen von Strom, Messung des Widerstandes bzw. der Leitfähigkeit, trockene Baustoffe zeigen hohen Widerstand, feuchte zeigen geringen Widerstand	Dielektrisches Messverfahren, einseitige Aufbringung der Messköpfe auf das Messgut, Wellen werden beim Durchqueren des Materials reflektiert und messtechnisch erfasst, Dielektrizitätskonstanten ϵ für nicht leitende Stoffe ϵ ca. 2-10, Wasser ϵ ca. 80	Entnahme von Materialproben, Wägung, Zerkleinerung und Vermischung mit Calciumcarbid in einem Druckbehälter, => Menge des Acetylgases (wird über Messung des Druckanstieges ermittelt) erlaubt Rückschluss auf Feuchtegehalt der Probe	Entnahme von Materialproben, Wägung der feuchten Probe, luftdichte Verpackung und Transport ins Labor, Trocknung bis zur Massekonstanz, erneute Wägung der Probe, Wassergehalt entspricht Massendifferenz zwischen feuchter und trockener Materialprobe
Mögliche Messfehler	<ul style="list-style-type: none"> • Auswahl der Messstelle und Anzahl nicht-repräsentativ • Unzureichender Kontakt zwischen Sensor und Messoberfläche (z.B. Unebenheiten) • Kombination versch. Materialien in der Wand, z.B. Leitungsrohre • Inhomogene Materialien • Salzbelastung (erhöht Feuchte) • Unpassende Materialkurven als Grundlage für die Auswertung 	<ul style="list-style-type: none"> • Auswahl der Messstelle und Anzahl nicht-repräsentativ • Kombination versch. Materialien in der Wand, z.B. Leitungsrohre • Inhomogene Materialien • Salzbelastung (Erhöhung der Feuchte) • Unpassende Materialkurven als Grundlage für die Auswertung • Temperatureinfluss nicht berücksichtigt 	<ul style="list-style-type: none"> • Auswahl nicht-repräsentativer Messstellen • Unzureichender Kontakt zwischen Sensor und Messoberfläche (z.B. Unebenheiten) • Materialkombinationen in der Wand, z.B. Leitungen • Inhomogene Materialien 	<ul style="list-style-type: none"> • Messung zu kleiner oder nicht-repräsentativer Proben oder Entnahme an nicht-repräsentativen Bereichen • Unvollständige Reaktion durch ungenügenden Kontakt mit Calciumcarbid • Verdunstung der Materialfeuchte durch Wärmeentwicklung bei Bohrung 	<ul style="list-style-type: none"> • Messung nicht-repräsentativer Proben oder Entnahme an nicht-repräsentativen Bereichen • Verdunstung der Materialfeuchte durch Wärmeentwicklung falls gebohrt wird

Tab. 3 Übersicht über verbreitete Verfahren zur Messung der kapillaren Wasseraufnahme

	Nicht zerstörend				Zerstörend
	Benetzungstest	Prüfröhrchen nach Karsten	Prüfplatte nach Franke	Wasseraufnahmemessgerät WAM 100 B	Messung im Labor
Messung vor Ort durchführbar	ja	ja	ja	ja	nein
Quantitative Beurteilung möglich?	nein	ja, mit großen Ungenauigkeiten	ja, mit Ungenauigkeiten	ja	ja
Zeitaufwand	sehr gering	gering	gering	mittel	groß
Bewertung	+ Ergebnis sofort verfügbar + Vor-Ort-Test möglich + Keine Materialentnahme + Preiswerte Testmethode + Testfläche unbegrenzt + Testbedingung entspricht realen Bedingungen (kapillares Saugen horizontal, kein hydrostatischer Druck des Wassers) - Nur sehr grobe Einschätzung möglich - Großer Einfluss der Umgebungsbedingungen auf Ergebnis	+ Werte sofort verfügbar + Vor-Ort-Messung möglich + Keine Materialentnahme + Preiswerte Messmethode + Messung von Mörtel- und Steinverbund möglich + Rastermessung möglich + Testbedingungen entsprechen ungefähr realen Bedingungen (horizontales, kapillares Saugen, aber hydrostatischer Druck durch Wassersäule) - Geringe Messgenauigkeit - Sehr kleine Fläche pro Messung erfassbar (runde Fläche mit 3-5 cm Durchmesser) - Großer Einfluss der Messbedingungen auf Ergebnis	+ Werte sofort verfügbar + Vor-Ort-Messung möglich + Keine Materialentnahme + Preiswerte Messmethode + Messung von Mörtel- und Steinverbund gleichzeitig möglich + Rastermessung möglich + Testbedingungen entsprechen ungefähr realen Bedingungen (horizontales, kapillares Saugen, aber hydrostatischer Druck durch Wassersäule) - Geringe Messgenauigkeit - Kleine Fläche pro Messung erfassbar (Rechteckfläche mit 25 mal 8,3 cm) - Großer Einfluss der Messbedingungen auf Ergebnis	+ Sehr hohe Messgenauigkeit + Werte schnell verfügbar + Vor-Ort-Messung möglich + Keine Materialentnahme + Das Verhalten der gesamten Wand wird ermittelt + Große Messfläche (Rechteckfläche 30 mal 40 cm) + Testbedingungen entsprechen realen Bedingungen (kapillares Saugen horizontal, kein hydrostatischer Druck) - Erhöhter Kostenaufwand - Einfluss der Messbedingungen auf Ergebnis (teilweise rechnerisch korrigiert) - Aufwand vor-Ort vergleichsweise größer und länger dauernd	+ Sehr hohe Messgenauigkeit + Standardisierte Messmethode - Großer Zeitaufwand - Laborausstattung erforderlich - Probenentnahme erforderlich - Erfassung der Qualität des Verbundes Mörtel-Ziegel nicht möglich - Messbedingungen entsprechen nicht realen Bedingungen (Schwerkraft wirkt entgegen Saugrichtung)
Vorgehen	Besprühen der Bauteiloberfläche mit Wasser, visuelle Bewertung des Aufsaugverhaltens in den Baustoff sowie Verteilung in Wandfläche	Befestigung der runden Prüffläche mit Kontaktmaterial (Kitt) auf Wandoberfläche, Füllen des Prüfröhrchens mit Wasser, Ablesen des Wasserstandes (Skala) in vorgegebenen Zeitschritten, Messung auf möglichst trockener Oberfläche und bei Außenlufttemperaturen über 5°C	Befestigung der Prüffläche mit Kontaktmaterial (Kitt) auf Wandoberfläche, Füllen des Prüfröhrchens mit Wasser, Ablesen des Wasserstandes (Skala) in vorgegebenen Zeitschritten, Messung auf möglichst trockener Oberfläche und bei Außenlufttemperaturen über 5°C	Befestigung der Prüfapparatur mit Kontaktmaterial (Kitt) auf Wandoberfläche, Starten des Messvorgangs mit Beregnung der Wandoberfläche und Messung des Masseverlustes), Messung auf möglichst trockener Oberfläche und bei Außenlufttemperaturen über 5°C	Unterseite einer trockenen Probe wird ständig mit Wasser kontaktiert (Wasserbad), Aufsaugen des Wassers durch kapillare Saugkraft des porösen Materials bis zur Massekonstanz, Wiegen der Probe in vorgegebenen Zeitschritten
Mögliche Messfehler	<ul style="list-style-type: none"> • Auswahl der Messstelle und Anzahl nicht-repräsentativ • Geringe Erfahrung der prüfenden Person • Großer Einfluss der Messrandbedingungen (Feuchtgehalt, Temperatur der Wand u.a.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Auswahl der Messstelle und Anzahl nicht-repräsentativ • Randbereichseinfluss sehr groß, bei unebenen Oberflächen Randkittausführung entscheidend • Großer Einfluss der Messrandbedingungen (Feuchtgehalt, Temperatur der Wand u.a.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Auswahl der Messstelle und Anzahl nicht-repräsentativ • Randbereichseinfluss sehr groß, bei unebenen Oberflächen Randkittausführung entscheidend • Großer Einfluss der Messrandbedingungen (Feuchtgehalt, Temperatur der Wand u.a.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Auswahl der Messstelle und Anzahl nicht-repräsentativ • Einfluss der Messrandbedingungen (Feuchtgehalt, Temperaturniveau der Wand u.a.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bei Einhaltung des Testprocedures sehr gering • Nicht lang genug gemessen

Für die gravimetrische oder Kalziumkarbid-Methode wird eine Probenahme mit langsamer Bohrung empfohlen, vorzugsweise in den Mörtel. Probenentnahmen aus Innen- oder Außenputzen sind zu vermeiden. Wenn es möglich ist, Innen- oder Außenputzen zu entfernen, lässt sich klar erkennen, wo Mörtelfugen sind. Die Proben können auf verschiedenen Höhen und in verschiedenen Tiefen entnommen werden.

Zur Messung des Wassergehalts bei Holz: Bei der Messung der Holzfeuchte hat sich seit vielen Jahren die Messung mit der Widerstandsmethode etabliert, d. h. der elektrische Widerstand eines Materials wird zwischen zwei, in das Holz eingebrachte Elektroden gemessen. Bei richtiger Ausführung ist diese Methode zuverlässig, wobei beachtet werden muss, dass Hölzer von Natur aus eine gewisse Streuung der Eigenschaften aufweisen, die besonders von den Wachstumsbedingungen abhängig ist. So wird eine Kiefer aus der Alpenregion andere Eigenschaften aufweisen als eine Kiefer, die in den Sandböden Brandenburgs gewachsen ist. Ferner ist dabei zu beachten, dass das Messgerät in der Lage ist, die Abhängigkeit der Messung von der Umgebungstemperatur zu berücksichtigen. Ebenso muss es möglich sein, die Holzart einzustellen.

8.2 Messen der kapillaren Wasseraufnahme der Fassade

Eines der wichtigsten Kriterien für die Planung und Auslegung von Innendämmmaßnahmen ist die Beurteilung der Schlagregenbelastung und des Schutzes der Gebäudefassaden. Ein ausreichender Schutz liegt bei einer der folgenden Bedingungen vor:

- geringer Niederschlag (s. Kapitel 3.4.1 im Teil II Fassadensanierung und Innendämmung)
- Fassaden, die praktisch keinem Schlagregen ausgesetzt sind, z. B. durch Nachbarbebauung oder wegen der geographischen Ausrichtung der Fassade
- konstruktiver Schlagregenschutz, z. B. bei großen Dachüberständen oder Vorhangfassaden
- ausreichender Transportwiderstand der Wand, z. B. bei dickem Mauerwerk oder bei Mauersteinen mit niedrigem Wassertransportvermögen (Tab. 6 in DIN 4108-3 [1])
- ausreichend schlagregensichere Putze und Beschichtungen (WTA MB 6-5 [2]).

Liegt dieser Schutz nicht vor, kann es notwendig sein, zusätzliche Maßnahmen wie die Sanierung der Oberfläche oder eine Hydrophobierung zu ergreifen.

Die kapillare Wasseraufnahmefähigkeit über eine Fassadenoberfläche kann durch eine entsprechende Messung ermittelt werden. In Bild 17 und der nachfolgenden Tabelle sind verschiedene Messgeräte für die kapillare Wasseraufnahme aufgeführt und kurz erläutert.

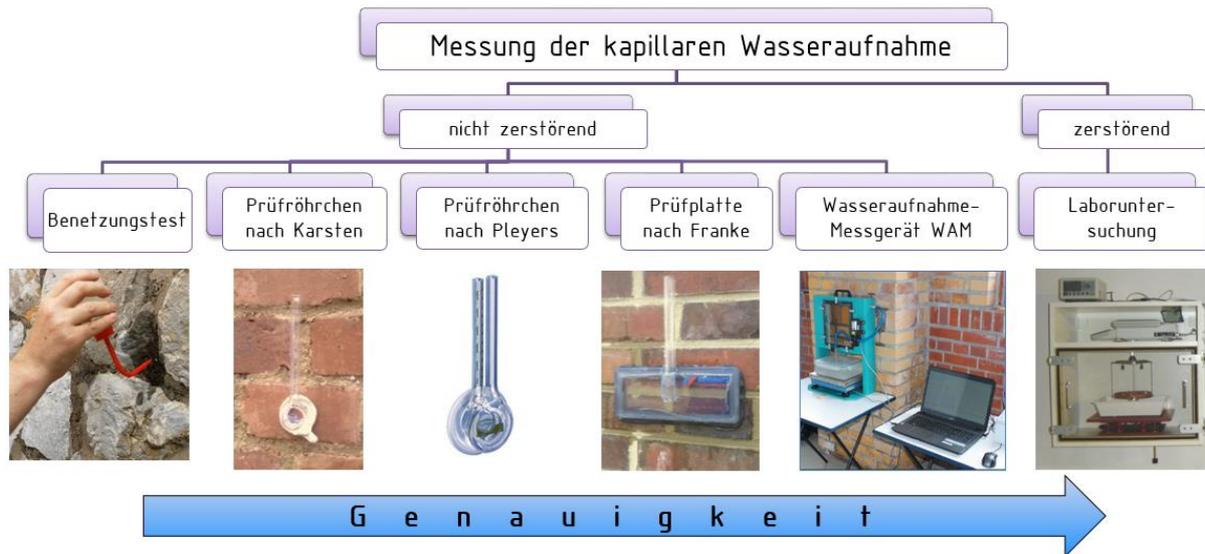


Bild 17 Übersicht über gängige Messverfahren zur Wasseraufnahmefähigkeit von Gebäudeoberflächen

Je nach geforderter Genauigkeit kann entweder eine orientierende Abschätzung (Befeuchtungstest, Prüfröhrchen oder Prüfplatte) oder eine exakte Messung (z. B. kontrolliertes Wasseraufnahmegerät oder Labormessung) durchgeführt werden. Es ist darauf zu achten, dass repräsentative und ausreichend viele Messungen durchgeführt werden, d.h. dass mehrere Fassadenbereiche abgedeckt werden. Generell gilt, je kleiner die Prüffläche des Gerätes ist, desto mehr Messungen sind erforderlich. Daraus leiten sich unterschiedliche Anwendungsfelder für die einzelnen in-situ Messmethoden ab, begründet durch die unterschiedliche Genauigkeit. Eine Entscheidungshilfe dazu aus [3] ist nachfolgend in Bild 18 dargestellt. Eine Übersicht mit einer Bewertung der verschiedenen Verfahren findet sich in Tabelle 3 auf Seite 24.



Bild 18 Entscheidungshilfe zur Auswahl einer geeigneten in-situ w-Wert-Messmethode

Wenn erste, einfache Versuche ergeben, dass der Schlagregenschutz eines Mauerwerks nicht ausreichend ist, empfiehlt sich eine Labormessung, für die Materialproben erforderlich sind. Die entnommenen Proben können für weitere Messungen verwendet werden, um z. B. die geeignete Konzentration im Falle einer adaptiven Hydrophobierung zu ermitteln.

8.3 Messen des Raumklimas

Bei einer Begutachtung vor Ort ist es meist hilfreich, das Raumklima zu messen. Eine hohe Raumfeuchte ist oft ein Grund für Feuchteschäden. Das Erkennen einer hohen Raumfeuchte ist aber nur der erste Schritt. Es ist notwendig, die Ursachen zu finden, um deren Beseitigung planen und ausführen zu können. Die möglichen Ursachen für eine hohe Feuchtebelastung in Wohnungen sind vielfältig:

- nicht ausreichende Belüftung (im Winter)
- zu starkes Lüften an feucht-warmen Sommertagen ("Sommerkondensation") von Räumen mit kalten Wänden (z. B. im Kellergeschoss). Die feucht-warme Außenluft schlägt sich dann auf die Wandoberflächen nieder.
- Raumnutzung mit hoher Feuchteentwicklung (z. B. viele Bewohner, viele Pflanzen, häufig trocknende Wäsche, Küche usw.)

Im Rahmen des Projektes wurde ein einfaches und kostengünstiges Messsystem konzipiert, welche neben der Messung des Raumklimas auch zur Überwachung der Feuchteentwicklung in Konstruktionen verwendet werden kann. Eine genaue Beschreibung befindet sich im (englischen) Schlussbericht „IN2EuroBuild - Einheitlicher europäischer Leitfaden für die Innendämmung von Bestandsbauten und Baudenkmälern“ unter Kapitel 7 „Smart monitoring system“. Eine Selbstbauanleitung ist angehängt.

8.4 Salzmessungen

Salze weisen ein hohes, potentielles Schadenspotenzial auf und erfordern je nach Gehalt besondere Maßnahmen. Über die Anwendung von Innendämmsystemen auf salzbelasteten Wänden liegen noch wenige Erfahrungen vor. Erst in jüngster Zeit erscheinen Innendämmsysteme auf dem Markt, die auch auf salzbelastetem Mauerwerk zugelassen sind. Die ersten Beobachtungen sind vielversprechend, eine Langzeitbewährung dieser Systeme steht allerdings noch aus.

Zunächst sollte die Quelle der Salzbelastung in Erfahrung gebracht werden, liegt z. B. eine ehemalige Stallnutzung vor oder eine fehlende Horizontalsperre, werden Streusalze im Sockelbereich eingesetzt usw. Eine qualitative Grobabschätzung zur Salzbestimmung kann zunächst vor Ort oder im Büro mit Hilfe von preiswerten Teststreifen vorgenommen werden. In vielen Fällen ist es ausreichend, mit halbquantitativen Methoden den Anionengehalt zu bestimmen. Ist eine höhere Genauigkeit erforderlich lassen sich von den vor Ort entnommenen Proben der Gesamtsalzgehalt und die Salzzusammensetzung im Labor zu messen.

Bei höheren Salzkonzentrationen kann eine genaue Kenntnis des Salzgehalts und der Salzart für die Sanierungsplanung von entscheidender Bedeutung sein, weswegen eine Fachkraft hinzugezogen werden sollte. Viele Systemanbieter von Abdichtungs- bzw. Sanierungssystemen verfügen über entsprechende Analysemöglichkeiten zur Bestimmung der vorkommenden Schadsalze und bieten diese Leistung preiswert oder umsonst an.

Gemäß den Angaben in Tab. 4 und Tab. 5 in [4] kann beurteilt werden, ab welcher Größenordnung Maßnahmen erforderlich sind:

Tab. 4 Bewertung der Salzbelastung eines Altputzes oder einer langfristig unverputzten Mauerwerksoberfläche in 0 – 2 cm Tiefe aus WTA-Merkblatt 2-9 [4]

	M.-%, bezogen auf die Trockenmasse der Proben		
Sulfate *)	< 0.5	0.5 – 1.5	> 1.5
Chloride	< 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5
Nitrate	< 0.1	0.1 – 0.3	> 0.3
Leichtlösliche Anionen **)	< 0.5	0.5 – 1.5	> 1.5
Gesamtsalzgehalt ***)	< 0.75	0.75 – 2.25	> 2.25
Wertung der Salzbelastung	gering	mittel	hoch
*) Besteht die Salzbelastung ausschließlich aus einem mittleren bis hohen Sulfatgehalt, sollten zur Beurteilung auch die Kationen Calcium, Magnesium, Natrium und Kalium bestimmt werden **) Summe aus Sulfat-, Nitrat- und Chloridgehalt. ***) Bestimmt über die spezifische Leitfähigkeit des wässrigen Aufschlusses, hier wirken sich auch nicht analysierte Ionen aus			

Tab. 5 Bewertung der Salzbelastung einer zuvor freigelegten Mauerwerksoberfläche in 0 – 2 cm Tiefe aus WTA-Merkblatt 2-9 [4]

	M.-%, bezogen auf die Trockenmasse der Proben		
Sulfate *)	< 0.1	0.1 – 0.5	> 0.5
Chloride	< 0.05	0.05 – 0.2	> 0.2
Nitrate	< 0.03	0.03 – 0.1	> 0.1
Leichtlösliche Anionen **)	< 0.1	0.1 – 0.5	> 0.5
Gesamtsalzgehalt ***)	< 0.15	0.15 – 0.75	> 0.75
Wertung der Salzbelastung	gering	mittel	hoch
*) Besteht die Salzbelastung ausschließlich aus einem mittleren bis hohen Sulfatgehalt, sollten zur Beurteilung auch die Kationen Calcium, Magnesium, Natrium und Kalium bestimmt werden **) Summe aus Sulfat-, Nitrat- und Chloridgehalt. ***) Bestimmt über die spezifische Leitfähigkeit des wässrigen Aufschlusses, hier wirken sich auch nicht analysierte Ionen aus			

8.5 Weitere Messungen

Ergänzend können **thermografische Untersuchungen** von Bauteilen und Bauteilanschlüssen durchgeführt werden. Damit lassen sich „unsichtbare“ Wärmeverluste und deren Ursachen identifizieren. Dazu gehören Wärmebrücken, Luftundichtigkeiten, Fehlstellen und Hohlräume in der Konstruktion. Auch lokal auftretende Feuchteschäden können in manchen Fällen mit Hilfe der Thermografie aufgespürt werden. Je nach Einsatzziel ist bei einer Thermografie auf die Einhaltung bestimmter Randbedingungen zu achten. Beispielsweise ist es sinnvoll Außenaufnahmen ohne direkte Sonneneinstrahlung, also vor Sonnenaufgang oder nach Sonnenuntergang durchzuführen und es sollten größere Temperaturunterschiede vorliegen (> 15 Kelvin). Darüber hinaus ist zu beachten, dass alle thermografischen Verfahren sehr sensitiv auf die Emissionsgrad reagieren, dies

bedeutet das z. B. blanke Metalloberflächen vor einer korrekten Messung einer Vorbehandlung („Malerkrepp“ oder Speziallack) bedürfen. Bei größeren Glasflächen (Fensterflächen, Wintergärten) ist darauf zu achten, dass sich Wärmequellen nicht in der Oberfläche „spiegeln“, da dies ebenfalls die Messung verfälscht.

Ein **Endoskop** ermöglicht es, Teile der Konstruktionen nur durch ein kleines Bohrloch zu untersuchen. Ohne größere Teile einer Konstruktion öffnen zu müssen, kann geprüft werden, ob sich Luftschichten in einem Wandaufbau befinden oder ob es Schäden in Deckenhohlräumen gibt. Das Sichtfeld ist allerdings eingeschränkt und vom Gerät abhängig.

Messung der Schlagregenintensität: wird im Rahmen der Vorbereitung und der Vor-Ort Begehung nicht klar, welche Ausrichtung des Gebäudes die größte Schlagregenbelastung erfährt und in welcher Größenordnung diese liegt, ist es möglich, die Schlagregenbelastung der Fassade zu messen. Hierzu haben sich einfache Schlagregenschlagmessplatten [5] bewährt.

9 Literatur und Links

- [1] DIN 4108-3. (2018). Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- [2] WTA-Merkblatt 6-5. (2014). Innendämmung nach WTA II - Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer Berechnungsverfahren. München: Fraunhofer IRB Verlag.
- [3] Haindl K, Schöner T, Zirkelbach D, Fitz C. Was ist bei Karsten & Co. zu beachten? Bautenschutz + Bausanierung, (2017) Heft 3, S. 33-37
- [4] WTA-Merkblatt 2-9. (2020). Sanierputzsysteme. München: Fraunhofer IRB Verlag.
- [5] Schöner T, Hevesi-Toth T, Zirkelbach D, Fitz C. (2018) IN-SITU Messgerät zur Bestimmung der Schlagregenintensität, IBP-Mitteilung 561, 45
- [6] https://www.researchgate.net/profile/Mario-Stelzmann/publication/330566777_Praxisleitfaden_Schlagregenschutz_von_Fassaden/links/62c8c44fd7bd92231fa34560 am 14.7.2022
- [7] Stelzmann S. (2020) Entwicklung und Validierung eines Verfahrens zur Untersuchung des Schlagregenschutzes von Fassaden denkmalgeschützter Bestandsgebäude, Dissertation, Fraunhofer IRB-Verlag

Appendix

A 1 *Beispiele für typische, feuchtebezogene Schadensbilder*

Dieses Kapitel enthält eine Reihe von Beispielen für feuchtebezogene Schäden. Unabhängig von der Durchführung von Innendämmmaßnahmen sollten die meisten der vorgestellten Probleme angegangen werden, da sie den Wert eines Gebäudes mindern und Schäden auslösen können. Jedes der folgenden Schadensbeispiele wird kurz beschrieben und es werden geeignete Untersuchungsmethoden aufgezeigt. Anschließend wird auf die Ursache und eine mögliche Lösung eingegangen.

Die folgende Aufzählung geht nur auf die häufigsten Fälle. In der Praxis können abweichende oder weitere Gründe für die Schäden oder deren Behebung auftreten. Im Zweifelsfall sollte eine Fachkraft hinzugezogen werden.

Anmerkung: Es kann zu Überschneidungen zwischen den verschiedenen Themen kommen, da ein konkret vorliegendes Schadensbild von mehreren Ursachen ausgelöst worden sein kann: durch einen Abbauprozess, eine Feuchtequelle und manchmal ist es nur das physische Erscheinungsbild eines Abbauprozesses.

Gruppe 1 Typische feuchtebedingte Schadensbilder

Bei der ersten Gruppe von Schadensbeispielen handelt es sich um feuchtebedingte Schäden, deren Schadensursache abgestellt werden muss. Anschließend sollte die Wand austrocknen, bevor eine Innendämmung angebracht wird.

Die folgenden Fälle werden erörtert:

- Abblättern von Ziegeln oder Putz in Außenbereichen
- Abblättern von Ziegeln oder Putz im Inneren
- Schimmelbildung im Inneren von Gebäuden
- Wachstum von Algen/Bakterien/Schimmel/Moos
- Herausdrücken von Mörtelfugen
- Zersetzung (Absanden) von Mörtelfugen
- Zersetzung (Absanden) von Ziegeln oder Natursteinen
- Schäden an schützenden Deckschichten
- Ablösung von Oberflächenschichten von Baumaterialien
- Zersetzung von Materialien durch Salze

Fall 1 Abblättern von Ziegeln oder Putz in Außenbereichen

Die Oberfläche eines Ziegels, Mörtels und Putzes verliert die Festigkeit und bröckelt allmählich ab oder bricht in größeren Stücken ab. Putz haftet nicht mehr auf dem Untergrund.



Von der Oberfläche her bröckeln die Ziegel ab



Keine Haftung zwischen Putz und Untergrund.
Der Putz bröseln ab

UNTERSUCHUNG

Vorsichtiges Klopfen mit einem Hammer, Feuchtesmessung der Wand, Messung des Salzgehalts

MÖGLICHE URSACHEN

- Übermäßiger Feuchtegehalt (verursacht durch Spritzwasser, aufsteigende Feuchte) in Kombination mit geringer Frostbeständigkeit.
- Zu hoher Salzgehalt kann das Schadensbild verschlimmern. Mögliche Salzquellen sind Tausalze, Salze aus dem Boden oder aus der Nutzung.
- Bindemittel wird ausgewaschen.

LÖSUNGEN

- Finden und Beseitigen der Feuchte- (und Salz-)Quelle.
- Ersetzen defekter Ziegel, Wiederherstellung der Fugen oder Putzschichten. Wenn möglich, sollten widerstandsfähigere Materialien verwendet werden.

BEMERKUNG

Wenn die Schadensursache beseitigt werden kann, ist eine Innendämmung möglich.

Fall 2 Ablättern von Ziegeln oder Putz im Inneren

Die Oberfläche der Materialien verliert ihren Zusammenhalt: Abplatzen, Abblättern, Ablösen von der Oberfläche.



Putzschäden aufgrund von eindringendem Schlagregen



Beschichtung und Putz blättern ab

UNTERSUCHUNG

Vorsichtiges Klopfen mit einem Hammer, Feuchtemessung der Wand, Messung des Salzgehalts

URSACHE(N)

Feuchte zu hoch, Salzgehalt zu hoch, Putz/Mörtel/Beschichtung zu dampfdicht.

MÖGLICHE LÖSUNGEN

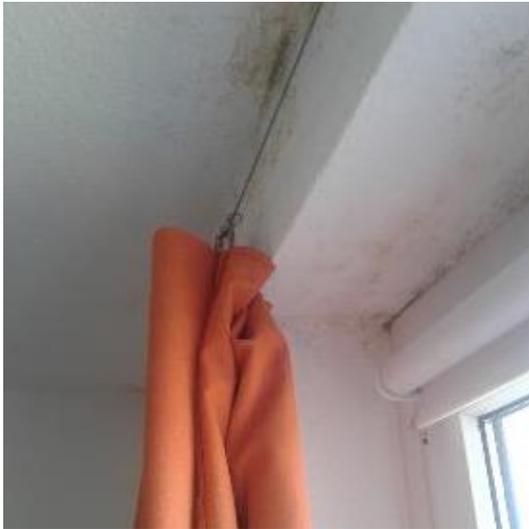
- Feuchtequelle finden und beseitigen, wenn möglich und notwendig, ist der Salzgehalt reduzieren.
- Fugen, Putzschicht oder Beschichtung sanieren. Beschichtung oder Putz mit geringerem Dampfwiderstand verwenden oder einen salzpuffernden Putz aufbringen (falls keine Dämmung angebracht wird).

BEMERKUNGEN

- Diese Schäden sind hauptsächlich auf die Einwirkung von Feuchte, möglicherweise in Verbindung mit Salzen, zurückzuführen. Wenn die Feuchtequelle beseitigt werden kann, kann eine Wärmedämmung angebracht werden.
- Das Vorhandensein von Salzen auf der Innenseite des Gebäudes ist mit einer Innendämmung vereinbar, wenn die Dämmung kapillar nicht aufnahmefähig ist oder wenn die Dämmung für die Aufnahme von Salzen ausgelegt ist. Bei ungeeigneten Dämmsystemen kann es zu Schäden in der Dämmung oder Austreten von Salz kommen.
- Vor der Anbringung von Innendämmung sollten Gipsputze entfernt werden. Putze auf Kalk- oder Zementbasis können verbleiben wenn sie in gutem Zustand sind. Bestimmte (insbesondere zementhaltige) Putze können den Kapillar- und Dampftransport teilweise blockieren, was vorteilhaft sein kann oder nicht.

Fall 3 Schimmelbildung im Inneren von Gebäuden

Sichtbare rote, braune, gelbe, weiße, grüne oder schwarze Flecken, möglicherweise hinter Tapeten oder Verkleidungen. Im Allgemeinen auf Oberflächen, die mit dem Außenbereich oder dem Boden in Berührung kommen. Typischer muffiger Geruch von "nasser Erde".



Schimmel durch Wärmebrücken (Fensteröffnung und Deckenanschluss)



Schimmelbildung aufgrund niedriger Oberflächentemperatur in einer Ecke einer ungedämmten Wand

UNTERSUCHUNG

Sichtprüfung, Feuchtemessung der Wand, Analyse der Schimmelpilzart, Überwachung des Raumklimas, Messung der Oberflächentemperatur (z. B. IR-Kamera)

URSACHE(N)

Schimmelpilzwachstum tritt auf Oberflächen mit erhöhter Feuchte auf. Mögliche Gründe:

- Aufsteigende Feuchte, eindringender Schlagregen, undichte Dachrinnen oder Fallrohre
- Erhöhte relative Luftfeuchte (hohe Feuchteproduktion / unzureichende Lüftung)
- Wärmebrücken

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Beseitigung der Feuchteursache.
- Verbesserung des Innenklimas (geringere Feuchteproduktion, bessere Belüftung).
- Verbesserung der Wärmebrücken, meist durch zusätzliche Dämmung. Hier ist eine fachgerechte Planung notwendig, sonst verschlechtert sich die Situation in seltenen Fällen.

BEMERKUNGEN

Schimmel kann eine ernsthafte Bedrohung für die Gesundheit darstellen und sollte deshalb vermieden werden. Die Beseitigung schwerwiegender Schimmelschäden sollte einer Fachfirma überlassen werden, da schimmelpilzbelasteter Staub auch gesundheitsgefährdend sein kann. Bei größeren Feuchteschäden, z.B. bei Havarien, kann der *Echte Hausschwamm* oder ähnliche holzersetzen Pilze Holz befallen. In diesem Fall sind Fachleute hinzuzuziehen.

Fall 4 Wachstum von Algen/Bakterien/Schimmel/Moos

Sichtbare Bedeckung der Außenoberflächen in diversen Farben (schwarz, grau, grün, rot, ...)



Grünes Algenwachstum



Wachstum von Bakterien
über Fenstersturz



Algen- und Mooswachstum wegen
eines defekten Fallrohrs

UNTERSUCHUNG

Untersuchung des Aufbaus und der Materialeigenschaften, Feuchtemessung der Innenwand, allgemeine Feuchtediagnostik

URSACHE(N)

Hohe, länger anhaltende Feuchte auf der Außenoberfläche, meist an nach Norden ausgerichteten Fassaden oder verursacht durch Regen, Kondensation oder anderen Feuchtequellen. Die Architektur des Gebäudes und seine Ausrichtung spielen hier eine wichtige Rolle.

MÖGLICHE LÖSUNGEN

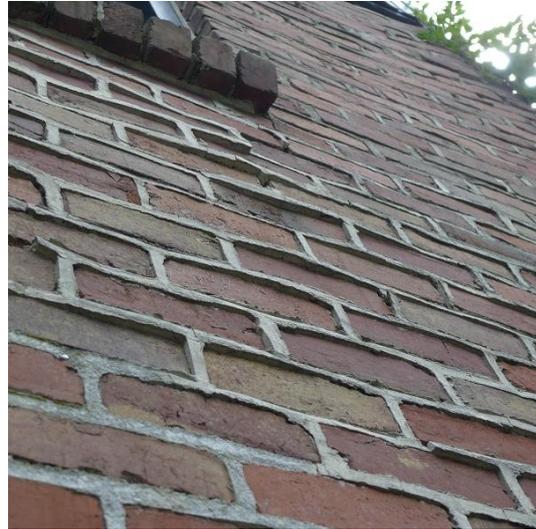
- Verringerung der Feuchtebelastung (z. B. unzureichende Detailplanung der Fensterbänke, defekte Dachrinnen oder Gesimse).
- Manchmal ist es nicht möglich, die Feuchtebelastung zu verringern (z. B. Kondensation an der Außenwand durch natürliche Abkühlung während der Nacht). In solchen Fällen kann eine präventive Biozidlösung aufgetragen werden, die allerdings negative Folgen für die Umwelt hat. Enzymatische Reiniger sind vergleichsweise umweltschonend.
- Ein neuer Putz mit geringer Wasseraufnahme kann aufgrund seiner feuchte- und wärmespeichernden Eigenschaften vorübergehend die Feuchte an der Oberfläche reduzieren und damit die Wachstumsbedingungen von Organismen verringern.

BEMERKUNGEN

Wenn derartige Organismen sehr deutlich wahrnehmbar auf Fassaden wachsen, sollte die Feuchtequelle reduziert werden, andernfalls wird die Anbringung einer Innendämmung nicht empfohlen, da sie das Wachstum weiter verstärken kann. In vielen Fällen wachsen die Organismen aufgrund von Kondensationserscheinungen an der Außenfassade, was durch Anbringung einer Innendämmung nur wenig verstärkt wird.

Fall 5 Herausdrücken von Mörtelfugen

Der Fugenmörtel wird aus dem Mauerwerk herausgedrückt.



UNTERSUCHUNG

Analyse des Fugenmörtels, allgemeine Feuchtediagnostik

URSACHE(N)

- Die Neuverfugung war nicht tief genug.
- Der neue Fugenmörtel blockiert das Austrocknen des Mauerwerks, wodurch es feuchter wird. Wenn der darunterliegende Fugenmörtel frostempfindlich ist, kann er gefrieren, aufquellen und den außenliegenden Mörtel herausdrücken. In solchen Fällen weist der Fugenmörtel ein spezifisches Rissmuster auf.

MÖGLICHE LÖSUNGEN

Sanierung des Fugenmörtels unter Berücksichtigung folgender Aspekte:

- Die Tiefe sollte mindestens 1 cm, idealerweise 1,5-mal der Höhe der Fuge betragen.
- Es sollte ein strapazierfähiger Mörtel verwendet werden, der trotzdem die Trocknung des Mauerwerks möglichst wenig reduziert.
- Der Fugenmörtel sollte auf den Bettungsmörtel speziell abgestimmt werden, besonders bei historischen Gebäuden.
- Etwaige Feuchteprobleme sollten so weit wie möglich behoben werden.

BEMERKUNGEN

Es ist nicht einfach, einen kompatiblen Fugenmörtel zu finden, weshalb eine Laboranalyse erforderlich sein kann. Gleichzeitig darf er die Trocknung möglichst wenig behindern. In den meisten Fällen ist es möglich, das Mauerwerk so zu sanieren, dass die Austrocknung effizienter wird und somit eine Innendämmung angebracht werden kann.

Fall 6 Zersetzung (Pulverisierung/Abblättern) von Mörtelfugen

Zersetzung des Fugenmörtels durch Salze, Frost, Gipsbildung oder andere Ursachen (einschließlich Vögel, Insekten, ...) sowie Kombinationen dieser Phänomene.



UNTERSUCHUNG

Analyse des Salzgehalts, Feuchtediagnose, in einigen Fällen eine Mörtelanalyse

URSACHE(N)

- Auswirkungen von Feuchte und Frost auf den Mörtel (vor allem, wenn die Zusammensetzung nicht optimal ist)
- Salzabbau (mit oder ohne Feuchteinfluss)
- Gipsbildung aufgrund von saurem Regen, der den Mörtel unter der Gipskruste zersetzt
- Auswaschen des Bindemittels
- In seltenen Fällen Zersetzung durch Insekten oder Vögel

MÖGLICHE LÖSUNGEN

Sanierung des Fugenmörtels unter Berücksichtigung folgender Aspekte:

- Die Tiefe sollte mindestens 1 cm, idealerweise 1,5-mal der Höhe der Fuge betragen.
- Es sollte ein strapazierfähiger Mörtel verwendet werden, der trotzdem die Trocknung des Mauerwerks nicht behindert.
- Etwaige Feuchteprobleme sollten so weit wie möglich behoben werden.
- Bei einer hohen Salzkonzentration sollte das Salz möglichst entfernt werden. Es ist ratsam, eine regelmäßige Wartung einzuplanen, da eine Verschlechterung erneut auftreten kann.

BEMERKUNGEN

Es ist nicht einfach, einen kompatiblen Fugenmörtel zu finden, weshalb eine Laboranalyse erforderlich sein kann. Der Fugenmörtel muss mit dem Bettungsmörtel kompatibel sein. Wenn das Mauerwerk mit einem dauerhaften Mörtel saniert werden kann, kann die Verwendung von Innendämmung in Betracht gezogen werden.

Fall 7 Zersetzung (Pulverisieren, Ablättern) von Ziegeln oder Natursteinen

Zersetzung des Fugenmörtels durch Salze, Frost, Gipsbildung oder andere Ursachen (einschließlich Vögel, Insekten, ...) sowie Kombinationen dieser Phänomene.



Zersetzung von Naturstein im Sockelbereich durch Nässe und Frost



Zersetzung von Ziegeln aufgrund von hoher Nässe und Frost

UNTERSUCHUNG

Analyse des Salzgehalts, Feuchtediagnose

URSACHE(N)

Einwirkung von Frost, Salzen, Gipsbildung, bestimmten Insekten, Moos, ... Dieser Abbau findet in der Regel nur in Gegenwart von Feuchte und möglicherweise anderen feuchtefördernden Materialien statt (z. B. ein altes Mauerwerk, das mit einem zementhaltigen Mörtel neu verfügt wurde).

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Ein zugrundeliegendes Feuchteproblem sollte so weit wie möglich behoben werden (Spritzwasser, aufsteigende Feuchte usw.).
- Sanierung der Baumaterialien unter Berücksichtigung der Kompatibilität zwischen neuen und alten Baustoffen (idealerweise vergleichbare mechanische Eigenschaften, sowie Absorptions- und Trocknungseigenschaften).

BEMERKUNGEN

- Oft sind Laboruntersuchungen erforderlich, um herauszufinden, welche Art von Material verwendet wurde und welches Material es ersetzen könnte.
- Bei frostempfindlichen Materialien sollte auf eine Innendämmung verzichtet werden, auch wenn die Feuchtequelle(n) beseitigt wurden.

Fall 8 Schäden an schützenden Deckschichten

Zersetzung von Deckschichten durch Salze, Frost, Gipsbildung, UV-Bewitterung oder andere Zersetzungsmechanismen.



Frostschäden am Außenputz, die durch eine verstopfte Dachrinne entstanden sind, die den Putz aufgefeuchtet hat



Schäden an einem Außenputz, hauptsächlich wegen Salzkristallisation. Die Unterschiede in der Porosität und Porengrößenverteilung zwischen Putz, Mörtel und Ziegeln führen zu diesem spezifischen Schadensbild

UNTERSUCHUNG

Analyse des Salzgehalts, Feuchtediagnose, Analyse des Putzes oder der Beschichtung

URSACHE(N)

- Einwirkung von Frost, Salzen, Gipsbildung, Sonne, bestimmten Insekten, Moos, ...
- Der Abbau kann verstärkt werden, wenn die Schutzschichten selbst dampfdicht sind (eingedrungenes Wasser trocknet nicht aus und reichert sich im Mauerwerk an).

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Ein zugrundeliegendes Feuchteproblem sollte so weit wie möglich behoben werden.
- Wiederherstellung der Baumaterialien.
- Wenn die Deckschichten wasserdampfdicht sind, ist es ratsam, sie vollständig zu entfernen und durch ein dampfdurchlässigeres Material zu ersetzen.

BEMERKUNGEN

- Oft sind Laboruntersuchungen erforderlich, um herauszufinden, welche Art von Material verwendet wurde und welches Material es ersetzen könnte.
- Eine Innendämmung wird bei dampfdichten, äußeren Deckschichten nur nach eingehender Untersuchung (Simulation) empfohlen. Auch diffusionsoffenerer Außenputze können Wände vor Regen schützen, ohne ihr Trocknungspotenzial wesentlich zu verringern.

Fall 9 Ablösen der Oberflächenschichten von Baumaterialien

Oberflächenschichten von Materialien lösen sich ab, z. B. Salzglasuren, normale Glasuren oder wasserabweisende Schichten.



Verlust der Oberfläche durch Auftragen eines wasserabweisenden Mittels auf eine feuchte und salzbelastete Wand



Verlust der Salzglasur durch Frost des feuchten Materials hinter der dichten Deckschicht

UNTERSUCHUNG

Analyse des Salzgehalts, Feuchtediagnose, Analyse der Wasseraufnahmefähigkeit der Wand

URSACHE(N)

- Abplatzen meist durch Frost oder Salze in Verbindung mit zu hoher Feuchte.
- Da kein Austrocknen durch die dichten Oberflächenschichten möglich ist, kann es zu einem Auffeuchten kommen, wenn über den Mörtel oder Risse Feuchte seitlich eindringt.

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Ein zugrundeliegendes Feuchteproblem sollte so weit wie möglich behoben werden.
- Sanierung der Baumaterialien.

BEMERKUNGEN

- Die Oberflächenschicht hat eine Schutzfunktion. Wenn sie partiell beschädigt ist, kann Feuchte in das Material eindringen und den Schaden vergrößern.
- Bei übermäßigen Schäden kann der Ersatz beschädigter Materialien unpraktisch, teuer und (z. B. bei denkmalgeschützten Gebäuden) unerwünscht sein. In solchen Fällen kann das Problem zumindest verlangsamt werden, wenn die Feuchtequelle beseitigt wird.
- Technisch kann es sich als sinnvoll erweisen, die dampfdichte Oberfläche der gesamten Wandfläche gleichmäßig durch Abschleifen zu entfernen. In den meisten Fällen wird diese Maßnahme aufgrund des historischen Wertes der Fassade nicht akzeptiert werden.
- Wenn die Oberfläche dampfdicht ist, kann eine Innendämmung auch nach einer Sanierung des Mauerwerks riskant sein.

Fall 10 Zersetzung von Materialien durch Salze

Feuchtflecken oder Auskristallisieren von Salz an Innen- oder Außenoberflächen. Beim Auskristallisieren in den Materialporen können Schäden auftreten.



Feuchtflecken aufgrund von hygroscopischen Salzen



Salzausblühungen durch das Austrocknen einer Wand

UNTERSUCHUNG

Analyse des Salzgehalts, Feuchtediagnose

URSACHE(N)

- Feuchtflecken, die durch von hygroscopischen Salzen absorbiertes Wasser verursacht werden.
- Salzkristallisation bzw. Salzausblühungen beim Austrocknen einer gelösten Salzlösung.

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Lösen der Feuchteprobleme: Sie verstärken Salzprobleme und führen mehr Salze aus dem Mauerwerk heran, (z. B. durch aufsteigende Feuchte oder Regen in Küstennähe).
- Beseitigen aller Salzquellen (z. B. Schutz des Sockels vor Tausalzen).
- Wenn möglich reduzieren des Salzgehaltes (auch wenn es noch keine allgemein anwendbare Lösung gibt).
- Anbringen einer Membran, damit die Salze nicht auf den Putz oder die Farbe auf der Innenseite der Wand gelangen können. Da dadurch das Trocknungspotenzial reduziert wird, müssen unbedingt alle Feuchtequellen entfernt werden.
- Anbringen von salzpuffernden Putzen. Diese müssen unter Umständen gewartet oder nach einiger Zeit (je nach Produkt und Untergrund nach 5-25 Jahren) ersetzt werden.
- Kontrolle der relativen Luftfeuchte im Gebäude, so dass die Salze immer im gleichen Zustand bleiben. In Wohngebäuden kann das anspruchsvoll und teuer sein.

BEMERKUNGEN

Innendämmung ist im Prinzip mit Salzen im Mauerwerk vereinbar: Salzschaeden werden nicht wesentlich verschlimmert. Wenn die Dämmung kapillar nicht aufnahmefähig ist, keinen direkten Kontakt mit der Wand hat oder von vornherein für Salze ausgelegt ist, kann sie sogar von Vorteil sein, da Salzausblühungen auf der Innenoberfläche nicht mehr möglich sind.

Gruppe 2 Schäden, die das Vorhandensein von Feuchte in Wänden beeinflussen können

Die zweite Gruppe von Schadensbeispielen betrifft Schäden, die den Feuchtegehalt in Wänden beeinflussen können. Diese Schäden können durch Feuchte verursacht werden oder auch nicht, aber ihr Vorhandensein hat definitiv einen negativen Einfluss auf die Feuchte in der Wand. Derartige Schäden sollten vor Anbringung einer Innendämmung beseitigt werden.

Die folgenden Fälle werden vorgestellt:

- Statisch oder thermisch bedingte Dilatationsrisse
- Risse in Materialien (nicht statisch bedingt)
- Defekte äußere Dachrinnen oder Fallrohre
- Defekte interne Dachrinnen oder Fallrohre
- Schäden an schützenden Schichten im Sockelbereich
- Einfluss von beschädigten Ziegeln, Steinen oder Mörtel
- Einfluss von geschädigten Deckschichten
- Einfluss von schadhafte Fugen zwischen Mauerwerk und Fensterrahmen oder Türen

Fall 11 Statisch oder thermisch bedingte Dilatationsrisse

Deutlich erkennbare Risse (meist vertikal oder diagonal, manchmal horizontal) im gesamten Mauerwerk, oft in der Nähe von Gebäudeecken, an langen Fassaden, in der Nähe von Ecken von Fassadenöffnungen. Sie erstrecken sich über größere Flächen einer Fassade und sind in der Regel nicht auf ein einziges Material beschränkt.



UNTERSUCHUNG

Es ist zu prüfen, ob der Riss stabilisiert ist, z. B. durch nicht-quantitatives Verfolgen der Rissbewegung (z. B. durch Putz-"Zeugen"). Das Hinzuziehen eines Experten wird empfohlen.

URSACHE(N)

Bewegungen des Gebäudes aufgrund unzureichender Fundamente, keine oder zu wenige thermische Dehnungsfugen, ein Vorfall in der Vergangenheit, kürzlich durchgeführte Bauarbeiten in der Nähe des Gebäudes oder Austrocknung des Bodens, ...

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Wenn möglich und notwendig, ist die Ursache zu beheben (z. B. das Gebäude stabilisieren).
- Wenn der Riss stabilisiert ist: Instandsetzung des Mauerwerks.
- Wenn der Riss noch aktiv ist (z. B. durch jahreszeitliche/thermische Bewegungen): Eine dauerhafte Reparatur ist schwierig, da sich der Riss nach der Reparatur wahrscheinlich wieder öffnen wird. An schlagregenexponierten Fassaden ist es daher ohne eine neue Fassadenverkleidung unmöglich, das Eindringen von Schlagregen zu verhindern.

BEMERKUNGEN

- Risse können alt sein und nicht unbedingt auf ein aktuelles Stabilitätsproblem hinweisen.
- In Fällen mit schwerwiegenden Problemen kann es finanziell vorteilhafter sein, das Gebäude abzureißen und (eventuell nur einen Teil davon) neu zu errichten. Für denkmalgeschützte Gebäude ist dies natürlich keine Option.
- Fassaden mit aktiven Rissen sind nicht ausreichend wasserdicht. Das Anbringen einer Innendämmung könnte problematisch sein, es sei denn, der Riss tritt an geschützten oder nicht dem Schlagregen ausgesetzten Teilen der Fassade auf.

Fall 12 Risse in Materialien (nicht statisch bedingt)

Risse in Materialien aufgrund von Zersetzung oder Rissen, die materialimmanent sind (häufig bei Ziegeln oder zementbasierten Putzen der Fall).



UNTERSUCHUNG

Bei Putzen kann es sinnvoll sein, den Zustand des Mauerwerks hinter dem Riss zu prüfen und festzustellen, ob der Putz überhaupt noch am Mauerwerk haftet.

URSACHE(N)

- Zersetzungen jeglicher Art, häufig durch Frost-Tau-Zyklen.
- Inhärente Materialeigenschaften (z. B. einige Arten von Ziegeln, Natursteinen oder Putzen - im letzteren Fall oft aufgrund von Schwund). Diese Risse können einer weiteren Zersetzung Vorschub leisten (z. B. fortschreitende Frost-Tau-Schäden).

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Behandlung der Ursache der Zersetzung (wenn möglich).
- Ersetzen von beschädigten Materialien, möglicherweise durch ein besseres Material (unter Beachtung der Kompatibilität zwischen neuen und alten Baumaterialien).
- Risse, die auf das Verhalten des Materials zurückzuführen sind, lassen sich nur schwer behandeln: Ersetzen des beschädigten Materials (z. B. Ziegel oder Putz), Auftragen einer Farbschicht (oder Tünche) auf oder Anbringen eines mechanischen Schutzes (Verkleidung).

BEMERKUNGEN

- Das Entfernen aller rissigen Ziegel kann kostspielig sein und ist bei denkmalgeschützten Gebäuden möglicherweise nicht zulässig.
- Wasserabweisende Mittel sind bei gerissenen Materialien oft nicht wirksam. Trotz Behandlung kann die Wand feuchter werden und sogar weiterer Rissbildung Vorschub leisten.
- Die Anbringung einer Innendämmung sollte vermieden werden, wenn keine dauerhafte Lösung für das Eindringen von Wasser durch die Risse gefunden werden kann oder wenn die Risse durch eine Zersetzung der Materialien aufgrund von Frost verursacht werden.

Fall 13 Defekte Regenrinnen und Fallrohre

Sichtbare Feuchte, verfallenes Mauerwerk oder Algenwachstum entlang einer fehlenden, defekten oder verstopften Regenrinne oder eines Fallrohrs. An der raumseitigen Oberfläche der betroffenen Bereiche sind feuchte Stellen, Schimmelbildung und Holzzerstörung möglich.



Verfärbungen an einer Fassade unter einer Regenrinne



Algen und beschädigter Mörtel aufgrund eines fehlenden Fallrohrs



Wasser läuft wegen eines verstopften Rohrs über die Fassade

UNTERSUCHUNG

Prüfung von Dachrinnen- und Fallrohranschlüssen, Feuchtemessung der Wand (innen und außen)

URSACHE(N)

Wasser dringt in die Wand ein, weil eine Dachrinne oder ein Fallrohr beschädigt ist, fehlt oder verstopft ist.

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Reparatur der Dachrinne oder des Fallrohrs bzw. Beseitigung von Verstopfungen.
- Kollateralschäden ausbessern (z. B. ausgewaschene Mörtelfugen).
- Trocknungsmaßnahmen durchführen, falls erforderlich.

BEMERKUNGEN

- Wenn die Sonne die Außenseite ausgetrocknet hat, sind die Schäden nur auf der Innenseite sichtbar.
- Wenn Befeuchtung längere Zeit andauert, können Frostschäden an Ziegeln, Mörtel und Putz auftreten.
- Bevor eine Innendämmung angebracht wird, müssen derartige Schäden behoben werden und die Wände müssen ausreichend trocken sein.
- Wenn die Befeuchtung lange andauert, kann die Wand mit hygroskopischen Salzen belastet sein. Daher kann es nach der Reparatur der Rohre aufgrund der Austrocknung der Wand zu Salzausblühungen kommen und es können feuchte Stellen aufgrund von hygroskopischer Feuchte zurückbleiben.

Fall 14 Defekte interne Rinnen oder Fallrohre

Teilweise abgelöste Tapete, Flecken an der Innenwand, Schimmelflecken, feuchte Wand, modriger Geruch.



Feuchte Flecken und teilweise abgelöste Tapete



Nach Entfernen der Tapete sichtbare Schimmelflecken



Ersetztes Fallrohr

UNTERSUCHUNG

Einsehen der Pläne mit Grundrissen, Feuchtemessung der Wand, ggf. Tapeten entfernen, Öffnen der Wandkonstruktion, evtl. Oberflächentemperaturmessung

URSACHE(N)

Wand wird durch innen verlaufendes, defektes Fallrohr befeuchtet.

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Reparatur des Fallrohrs und eventueller Kollateralschäden (beschädigte Wand, Decke ...).
- Falls erforderlich, Trocknungsmaßnahmen durchführen.

BEMERKUNGEN

- Ein gutes Verständnis des Gebäudes und seiner Installationen ist erforderlich, da diese Feuchtequelle mit einem Schaden verwechselt werden könnte, wie z. B. dem Vorhandensein einer Wärmebrücke (im vorliegenden Fall unwahrscheinlich, da das Fenster zu weit entfernt ist), einer zu hohen Luftfeuchte im Raum (im vorliegenden Fall unwahrscheinlich, da der Schaden sehr lokalisiert ist).
- Vor Anbringung einer Innendämmung muss der Schaden behoben werden, die Wände müssen ausreichend trocken sein.

Fall 15 Schäden an schützenden Schichten im Sockelbereich

Absanden, Abblättern, Rissbildung, Ablösen von Materialien. Oft kann die Schädigung aufgrund der hohen Feuchte- und Salzbelastung sehr intensiv werden.



UNTERSUCHUNG

Analyse des Schutzschichten, Analyse des Salzgehalts, Feuchtediagnostik

URSACHE(N)

Meistens durch die Einwirkung von Frost und/oder Salzen in Verbindung durch ein ursächliches Feuchteproblem, z. B. aufsteigende Feuchte, Spritzwasser oder weil der Boden zur Wand hin geneigt ist.

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Jedes zugrundeliegende Feuchteproblem sollte behoben werden, z. B. aufsteigende Feuchte.
- Defekte Bereiche und Materialschichten sind zu ersetzen. Möglicherweise müssen Materialien mit einer geringeren Wasseraufnahme und einer höheren Frostbeständigkeit verwendet werden.
- Am Wandsockel kann ein besserer Spritzwasserschutz (z. B. durch ein Kiesbett) erforderlich sein.
- Ggf. sind Trocknungsmaßnahmen an der Innenseite durchzuführen.

BEMERKUNGEN

- Der Wandsockel erfordert besondere Aufmerksamkeit, da er in hohem Maße Feuchte und Salzen ausgesetzt ist. Ein angemessener Schutz vor Spritzwasser ist notwendig, damit die Feuchte nicht tief in die Wand eindringen kann.
- Bei der Anbringung einer Innendämmung ist ein wirksamer Spritzwasserschutz erforderlich. Die Mindesthöhe eines Spritzwasserschutzes beträgt 30 cm.

Fall 16 Einfluss von beschädigten Ziegeln, Steinen oder Mörtel

Absanden, Abblättern, Rissbildung, Ablösen von Fassadenmaterialien.



Saurer Regen zersetzt Kalkstein



Beschädigte Mörtelfugen

UNTERSUCHUNG

Analyse des Salzgehalts, Feuchtediagnostik

URSACHE(N)

Meistens durch die Einwirkung von Frost, Salzen oder saurem Regen, manchmal in Verbindung mit einem weiteren Feuchteproblem. Beschädigte Steine werden poröser, haben eine unregelmäßige Oberfläche und nehmen daher mehr Wasser auf, wodurch sich das Ausmaß von Feuchteschäden weiter erhöht.

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Zugrundeliegende Feuchteprobleme sollten behoben werden (z. B. aufsteigende Feuchte).
- Wiederherstellung mit verträglichen Materialien (ausreichend haltbar, so dass der Rest des Mauerwerks nicht beschädigt wird). Möglicherweise müssen Materialien mit besseren Eigenschaften verwendet werden.
- Wenn die Qualität der Fassadenmaterialien unzureichend ist, kann eine Schutzschicht (wie Farbe, Putz oder ein wasserabweisendes Produkt) einen positiven Einfluss haben.

BEMERKUNGEN

- Bei einer "konservierenden" Fassadensanierung (d. h. Erhaltung und Festigung des derzeitigen, jedoch geschädigten Zustands) kann die Wasseraufnahme durch die Fassade erhöht sein. Dies muss bei der Planung einer Innendämmung beachtet werden.
- Da Mörtel leichter zu reparieren ist als Ziegel oder Steine, kann es in einigen Fällen sinnvoll sein, selbstauflösende Mörtel zu verwenden. In diesem Fall kann der Mörtel viel Feuchte aufnehmen, um die Steine zu schützen, hat aber möglicherweise eine geringere Haltbarkeit. In solchen Fällen ist die Pflege der Mörtelfugen von größter Bedeutung, da Mörtelfugen die Fassade auch vor dem Eindringen von Regenwasser schützen.

Fall 17 Einfluss von geschädigten Deckschichten

Poröse, abblätternde, sich ablösende, rissige Deckschichten (Anstriche oder Putze). Geschädigte Deckschichten schützen die Fassade nicht mehr richtig.



Schadhafte mineralische Beschichtung



Schadhafte diffusionsdichte, Beschichtung

UNTERSUCHUNG

Abklopfen (hohler Klang, ablösen), Analyse des Salzgehalts, Feuchtediagnose

URSACHE(N)

- Beschichtungen zersetzen sich prinzipiell auf ähnliche Weise wie Ziegel, Steine oder Mörtel: durch Frost, Salze, sauren Regen in Verbindung mit Feuchte.
- Bei (organischen) Anstrichen kann die Einwirkung von UV-Strahlung zu einer Schädigung führen.

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Jedes zugrundeliegende Feuchteproblem muss behoben werden. Dies kann im Falle einer durch Salze verursachten Schädigung schwierig sein. Hier ist eine häufige Wartung der Deckschicht erforderlich. Ein alternativer Fassadenschutz kann besser geeignet sein.
- Bei Putzen sind alle beschädigten Bereiche zu entfernen und die Fugen zu füllen (oft wird der gesamte alte Putz entfernt und ersetzt). Der Putz kann gefestigt werden, um Rissbildung zu verhindern.
- Bei Beschichtungen werden in der Regel alle losen Bereiche entfernt (oder die gesamte Beschichtung), dann wird die Fassade neu beschichtet. Die neue Beschichtung muss zum Untergrund und eventuell vorhandener Altbeschichtung kompatibel sein (kann durch kompetente Vertreter von Herstellern überprüft werden).
- Nach dem Entfernen einer alten Farbe oder eines alten Putzes sollte die Möglichkeit erwogen werden, eine möglicherweise dampfdichte Schicht durch eine dampfdurchlässigere zu ersetzen.

BEMERKUNGEN

- Eine Wand mit einer dampfdurchlässigen Deckschicht, die die Wand vor dem Eindringen von Regenwasser schützt ist für eine Innendämmung geeignet.
- Wenn die Deckschicht dampfdicht ist, sollte eine Innendämmung erst nach einer genaueren Untersuchung (Simulation) angebracht werden.
- Bei beschädigten, dampfdichten Schichten kann Regenwasser eindringen, trocknet aber kaum aus, was zu Feuchtesammlungen in der Fassade führen kann.

Fall 18 Einfluss von schadhaften Fugen zwischen Mauerwerk und Fensterrahmen oder Türen

Die flexible Verbindung zwischen Fensterrahmen und Wand wird undicht, so dass Regenwasser eindringen kann, insbesondere bei windigem Wetter.



Eindringen von Wasser über undichte Fugen zwischen Fenster und Wand

UNTERSUCHUNG

Bewertung der Flexibilität der Fugenmasse, Prüfung auf Risse zwischen Fuge und Rahmen/Mauerwerk

URSACHE(N)

Veränderung der Fuge durch UV-Strahlung oder Ermüdung (aufgrund von Temperaturschwankungen und Ausdehnung des Fensterrahmens). In Ausnahmefällen haben Vögel die Fuge beschädigt.

MÖGLICHE LÖSUNGEN

Vollständige Entfernung der Fuge und Ersatz durch neue Fugenmasse, möglichst aus einem haltbareren Material und mit einer höheren Flexibilität.

BEMERKUNGEN

- Da durch eine verwitterte Fuge erhebliche Mengen an Feuchte eindringen können, ist eine regelmäßige Kontrolle von Fugen erforderlich (empfohlen alle 3 Jahre, auch wenn die erwartete Lebensdauer einer ordnungsgemäß ausgeführten Fuge viel länger sein sollte).
- Geschädigte Fugen können in Verbindung mit einer Innendämmung noch problematischer sein, da die eindringene Feuchte möglicherweise nicht mehr von innen sichtbar ist, sondern sich hinter der Dämmung oder in der Wand ansammelt. In diesem Fall ist eine Inspektion der Fuge besonders wichtig, denn nur so lässt sich eindringendes Regenwasser durch die Fuge erkennen.

Gruppe 3 Fassadenelemente und -merkmale, die Feuchteprobleme beeinflussen oder verstärken können

Bestimmte Fassadenmerkmale oder -elemente können sich negativ auf das Vorhandensein von Feuchte in den Wänden auswirken. Es ist logisch, sie anzupassen, wenn sie Schäden verursachen. Aber auch wenn sie (noch) keine Schäden verursachen, kann es möglich sein, dass durch eine Innendämmung die Möglichkeit von Schäden erhöht wird, da sich das Trocknungspotenzial normalerweise verringert. Um dies zu verhindern, ist es ratsam, diese Fassadenelemente oder Details zu verändern oder zu schützen, um das Risiko künftiger Schäden zu verringern.

Folgende Fälle werden erörtert:

- Geneigte Fassaden
- Fensterbänke
- Art oder Form der Mörtelfugen
- Fassadenverkleidungen, Decksteine und Gesimse

Fall 19 Geneigte Fassaden

Es kann vorkommen, dass Fassaden konstruktionsbedingt oder aufgrund von Verformungen nicht senkrecht sind, was zu einem verstärkten Eindringen von Regenwasser in die Wand führen im Vergleich zu einer senkrechten Wand.



Nicht senkrechter, unterer Teil einer Fassade, dem Niederschlag ausgesetzt



Verfärbung einer geneigten Fassade aufgrund von Bakterienwachstum, verursacht durch Regenwasser, das von einem Dach ohne Dachrinne abläuft. Die Bakterien sind weniger das Problem als vielmehr ein Symptom der hohen Regenwasserbelastung

FOLGEN

- Verstärktes Eindringen von Regen, wenn die Fassade aus kapillar leitfähigen Materialien besteht. Wenn solche Fassaden mit dichten, nicht kapillaren Materialien verkleidet sind, bieten sie einen ausreichenden Schutz vor Regenwasser.
- Vergrößertes Risiko der Schädigung (bei Fassaden mit wasserleitfähigen Materialien) und erhöhtes Wachstum von Bakterien, Algen und Moos

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Im Falle einer verformten Fassade muss diese gegebenenfalls nach Rücksprache mit einem Ingenieur oder Architekten stabilisiert werden.
- Verbesserung des Schutzes vor Regenwasser, indem das Dach oder andere Schutzelemente angepasst werden oder ein nicht kapillares Material oder ein Putz aufgetragen wird.

BEMERKUNGEN

- Der Schutz durch wasserabweisende Produkte ist bei einer nicht senkrechten Wand aus Ziegel- oder Natursteinmauerwerk als wenig wirksam anzusehen. Auf einer nicht senkrechten Oberfläche eines massiven Steinobjekts (ohne Mörtel und Fugen) kann sie sich allerdings als wirksam erweisen.
- Wenn die Menge an eindringendem Wasser nicht reduziert werden kann, ist eine Innendämmung in der Regel nicht zu empfehlen.

Fall 20 Fensterbrüstungen

Fensterbänke sollen die darunterliegende Fassade vor ablaufendem Wasser schützen. Idealerweise bestehen sie aus einem kompakten Material (kein Mauerwerk), sind von der Fassade weg geneigt, ragen aus der Fassade heraus (> 5 cm) und sind mit einer Abtropfstelle an der Unterseite sowie an beiden Seiten mit einer kleinen Aufkantung versehen. Wenn diese Anforderungen nicht erfüllt sind, ist die darunterliegende Fassade weniger gut geschützt.



Beispiel einer idealen Brüstung



Abfließendes Wasser zeigt einen weniger effizienten Schutz der nicht idealen Brüstung



Gemauerte Fensterbänke schützen die darunter liegende Wand weniger effizient

FOLGEN

- Bei einer nicht idealen Fensterbank wird ein Teil des Wassers, das vom Fenster abläuft, von der darunterliegenden Wand absorbiert. Dies kann zu höherem Wassergehalt und feuchtebezogenen Problemen sowie zum Eindringen von Wasser führen.
- Das Fehlen kleiner Aufkantung an beiden Seiten muss nicht zu negativ zu bewertet werden, da eine hohe Feuchtebelastung nur dort zu erwarten ist, wo die Fensterbank in Kontakt mit dem angrenzenden Mauerwerk steht.

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Austausch der gesamten Fensterbank
- Anbringen einer dünnen (Metall-)Fensterbank auf der bestehenden. In diesem Fall ist eine dichte Verbindung der Schwelle mit dem Fensterrahmen von größter Bedeutung.
- Anbringen eines kleinen Blechs mit Tropfkante unterhalb der Fensterbank. Das Metall sollte ausreichend tief unter der Fensterbank angebracht werden und robust sein, um Vandalismus oder anderen mechanischen Stößen standzuhalten.

BEMERKUNGEN

- Fensterbänke, die die Anforderungen nicht erfüllen, können stattdessen durch einen Balkon, eine Markise oder ähnliches geschützt sind.
- Die Innendämmung sollte auf Fälle mit guten Fensterbänken beschränkt werden. Bei gutem Schutz, günstiger Ausrichtung (wenig Regen) oder hochwertigen Fassadenmaterialien bestehen keine Bedenken.

Fall 21 Art oder Form der Mörtelfugen

Mörtelfugen schützen die Fassade vor eindringendem Regenwasser. Je nach Form der Fuge kann dieser Schutz optimal sein oder nicht. Die Fuge, die eben mit der Ziegeloberfläche ist, bietet den bestmöglichen Schutz, da sie das Regenwasser schnell ablaufen lässt.



Bei so genannten "Schattenfugen" (oder "Dudok-Fugen") läuft Regenwasser langsamer ab und das Wasser hat mehr Zeit zum Eindringen



Bei versenkten Fugen ist der obere Teil der Ziegel weniger gut gegen Regenwasser geschützt

FOLGEN

In der Vergangenheit wurden verschiedene Arten von Mörtelfugen verwendet, meist aus architektonischen oder ästhetischen Gründen. Einige von ihnen bieten einen weniger effizienten Schutz gegen Schlagregen, da sie es dem Regenwasser ermöglichen, einen größeren Bereich der Oberfläche eines Ziegels zu erreichen, insbesondere wenn die obere Oberfläche des darunter liegenden Ziegels ebenfalls dem Regenwasser ausgesetzt ist.

MÖGLICHE LÖSUNGEN

Entfernen des alten Mörtels und ersetzen durch einen neuen (der mit dem alten Bettungsmörtel kompatibel ist), wobei die Fuge vollständig aufgefüllt werden muss. In historischen Gebäuden ist dies oft nicht möglich.

BEMERKUNGEN

- Vollständig ausgefüllte Mörtelfugen oder nur leicht zurückgesetzte Fugen werden als ästhetisch weniger interessant angesehen und führen zu einer „langweiligen“, flachen Fassade. Darüber hinaus kann die Veränderung historischer Fugen, die zurückgesetzt waren, Konflikte mit dem Denkmalschutz heraufbeschwören.
- Das Entfernen von Mörtelfugen, die sich in gutem Zustand befinden, ist riskant: Es kann zu schweren Schäden an den Ziegeln führen, da der Mörtel an ihnen klebt. Wenn keine Schäden vorhanden sind, können die Fugen so belassen werden, wie sie sind.
- Beim Vorhandensein von Vorschädigungen oder erhöhter Mauerwerksfeuchte sollte eine Innendämmung nur nach eingehender Voruntersuchung (z. B. Simulation) und eventuell nur in geringer Dicke eingesetzt werden.

Fall 22 Fassadenverkleidungen, Decksteine und Gesimse

Decksteine und Gesimse sind Elemente, die das darunterliegende Mauerwerk schützen, wenn es nicht von einem Dach bedeckt ist. An sie werden ähnliche Anforderungen gestellt wie an Fensterbänke: Sie sollten mehr als 5 cm überstehen, mit einer Abtropfvorrichtung versehen sein und aus einem kompakten Material bestehen (z. B. Beton, dichte Keramik, dichte Natursteine). Die Fugen zwischen den einzelnen Elementen sollten gut geschützt sein, so dass keine Feuchte durch diese Fugen eindringen kann.



Links: Das Fehlen einer Abdeckung kann zu einem höheren Feuchtegehalt in der Wand führen. Mitte und rechts: praktikable Lösungen für die Wandverkleidung

Der Deckstein haftet nicht und bietet keinen ausreichenden Schutz. Regenwasser auf dem Deckstein wird vom Mauerwerk aufgesaugt, das geschädigt wird

FOLGEN

Wenn keine Decksteine vorhanden sind oder sie diesen Anforderungen nicht entsprechen, können über die Oberseite der Fassade erhebliche Feuchtemengen eindringen, da die Wasseraufnahme über horizontale oder geneigte Mauerwerksflächen viel größer ist. Dies kann zu Schädigungen wie Frost und biologischen Schäden führen.

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Anbringen einer Verkleidung, die den Anforderungen entspricht.
- Eine Metallverkleidung (die dieselben Anforderungen erfüllt) kann eine Option sein, wenn eine herkömmliche Wandverkleidung ästhetisch inakzeptabel ist.

BEMERKUNGEN

- Wenn keine Decksteine vorhanden sind oder sie diesen Anforderungen nicht entsprechen, wird die Anbringung einer inneren Wärmedämmung nicht empfohlen.
- Wenn keine Wandverkleidung vorhanden ist, wird das Aufbringen einer wasserabweisenden (oder wasserdichten) Beschichtung auf der Oberseite der Wand nicht empfohlen. Es hat sich gezeigt, dass in diesen Fällen die Behandlung nicht vollständig wirksam ist und überschüssiges Wasser weiterhin abläuft und in die Wand eindringt.

Gruppe 4 Fassadenmaterialien, die Feuchteprobleme beeinflussen oder verstärken können

Jedes Material hat unterschiedliche Eigenschaften hinsichtlich der Wasseraufnahme und der Trocknungseigenschaften. Je nach Anwendung bestimmter Materialien in Fassaden kann die Wasseraufnahme groß oder klein sein, und die Trocknung kann optimal oder sehr begrenzt sein. Insbesondere die Trocknungseigenschaften von Fassaden sind sehr wichtig, da sie eine optimale Ableitung der Feuchte im Mauerwerk ermöglichen.

Das Vorhandensein bestimmter Fassadenmaterialien kann die Anwendung einer Innendämmung einschränken.

Die folgenden Fälle werden erörtert:

- Mauerwerk, neu verfugt mit modernen, dichten Mörteln
- Wasserabweisende Produkte
- Deckschichten: Putze, Anstriche, Anti-Graffiti-Schichten, bituminöse Schichten (einschließlich Teer)
- Keramische Fliesen, Mosaik und andere Arten von stein- oder glasartigen Fassadenverkleidungen
- Glasierte Ziegel

Fall 23 Mauerwerk, neu verfugt mit modernen, dichten Mörteln

Mörtelfugen schützen Fassaden vor eindringendem Schlagregen, und sollen ebenso zur Austrocknung des Mauerwerks beitragen. Dabei sollten nur kompatible Fugenmörtel verwendet werden, die einen schnellen Feuchtetransport aus dem Bettungsmörtel nach außen ermöglichen. Dies wird meistens durch die Verwendung von Fugenmörteln mit ähnlicher Zusammensetzung (Bindemittel, Sandart und Verhältnis Bindemittel/Sand) wie der Bettungsmörtel erreicht.



Ein altes Mauerwerk, das mit einem Mörtel mit weißem Portlandzement als Bindemittel neu verfugt wurde. Der neue Fugenmörtel ist durch Frostschäden im älteren Bettungsmörtel herausgedrückt worden.

URSACHEN

Beim Neuverfugen mit Zementmörtel kann der alte Bettungsmörtel feuchter werden. Dies kann zu Frostschäden im Bettungsmörtel und einem anschließendem Herausdrücken des Fugenmörtels oder zur Beschädigung der Steine führen.

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Bei der Neuverfugung ist ein zum Bettungsmörtel kompatibler Fugenmörtel zu verwenden.
- Wenn ein dichter Fugenmörtel aufgetragen wurde, ist er zu entfernen und zu ersetzen.

BEMERKUNGEN

- Das Entfernen von Mörtelfugen, die sich in gutem Zustand befinden, ist riskant: Es kann zu schweren Schäden an den Ziegeln kommen, da der Mörtel an ihnen haftet. Dies gilt auf jeden Fall für moderne Mörtel, da sie gut auf Ziegeln und Naturstein haften.
- In der Vergangenheit wurden viele verschiedene Bindemittel für Mörtel verwendet. In der Regel nehmen Porosität und kapillare Wasseraufnahme mit zunehmender Hydraulizität ab. Wenn ein Mauerwerk beispielsweise einen Bettungsmörtel mit sehr hydraulischem Kalk enthält, sind die Anforderungen an einen "offenen" Fugenmörtel weniger streng, da der Bettungsmörtel selbst schon recht dicht ist.
- Die Anwendung von Wärmedämmung in Innenräumen ist im Prinzip auf die Fälle beschränkt, in denen man sicher sein kann, dass die Mörtelfugen der Wand eine gute Trocknungsfähigkeit bieten.

Fall 24 Wasserabweisende Produkte

Wasserabweisende Produkte verringern die kapillare Wasseraufnahme. Um einen guten Schutz zu erhalten, müssen derartige Produkte in der richtigen Weise (kompatibel zum Untergrund) und unter den vorgegebenen Bedingungen aufgetragen werden. Außerdem sollte der Untergrund in gutem Zustand sein, nicht zu viele Risse aufweisen und frei von überschüssigen Salzen sein.



visueller Hinweis auf das Vorhandensein eines wasserabweisenden Produkts: die Oberfläche kann nicht benetzt werden, Wasser, das von der Fassade abläuft, bildet feine Rinnsale oder Tröpfchen

GRUNDSÄTZLICHE EIGENSCHAFTEN

- Hydrophobierungsmittel verringern die kapillare Wasseraufnahme des Mauerwerks und sollten die Wasserdampfdurchlässigkeit der Materialien nicht wesentlich reduzieren.
- Je nach Produkt und Material können wasserabweisende Produkte die Trocknungsgeschwindigkeit eines Materials leicht bis deutlich verändern. Meist ist das Mauerwerk nach der Behandlung trockener, da seine Wasseraufnahme (drastisch) reduziert ist.

BEMERKUNGEN

- Feuchtequellen (aufsteigende Feuchte ...) müssen vor einer Behandlung beseitigt werden
- Eine wasserabweisende Behandlung von beschädigtem Mauerwerk oder Mauerwerk mit (zu vielen) Rissen wird nicht empfohlen. Auch nach der Behandlung dringt hier häufig Wasser ein. Aufgrund einer nicht ausreichenden Trocknungsgeschwindigkeit kann das Mauerwerk dann nach einer Behandlung noch feuchter werden.
- Eine fachgerechte, wasserabweisende Behandlung wirkt sich sehr positiv auf die Innendämmung aus, da sie den Wassergehalt der Wand deutlich senkt.
- Die Dauerhaftigkeit von Hydrophobierungsmitteln kann hervorragend sein (Jahrzehnte) oder schlecht (z. B. auf Kalksteinen mit grober Porenstruktur). Im letzteren Fall sind regelmäßige Nachbehandlungen erforderlich (Prüfen durch Karsten'sche-Prüfröhrchen).
- Wasserabweisende Mittel sind irreversibel. Wenn sich herausstellt, dass ein wasserabweisendes Produkt Schäden verursacht, sind eine sehr gründliche Restaurierung der Fassadenmaterialien oder anderer Beschichtungen (Farben, Putze, ein mechanischer Schutz) erforderlich.
- Ein etwas höherer Wassergehalt des Mauerwerks ist nicht immer ein Problem, wenn das Mauerwerk frostbeständig ist und das Gebäudeinnere nicht beeinträchtigt wird.

Fall 25 Deckschichten: Putze, Anstriche, Anti-Graffiti-Schichten, bituminöse Schichten (einschließlich Teer)

Putze und Anstriche verringern das Eindringen von Wasser in Fassaden, indem sie Risse abdichten und die Fassade gleichmäßiger machen (was einen effizienten Abfluss des Regenwassers fördert). Alte Putze (vor der Mitte des 19. Jahrhunderts) waren auf Kalkbasis. Ab Mitte des 19. Jahrhunderts setzte sich allmählich Zement durch, was zu teilweise sehr harten und dauerhaften Putzen führte, die jedoch eher dampfdicht sind und zuweilen deutliche (Schwind-)Risse aufweisen.



GENERELLE EIGENSCHAFTEN

Die Deckschicht sollte das Eindringen von Wasser begrenzen und die Trocknungsgeschwindigkeit nicht zu sehr verringern, da es immer möglich ist, dass etwas Feuchte hinter die Deckschicht gelangt. Bei einer dampfdichten Schicht kann die Feuchte kaum entweichen und sammelt sich hinter der Deckschicht und verursacht Schäden.

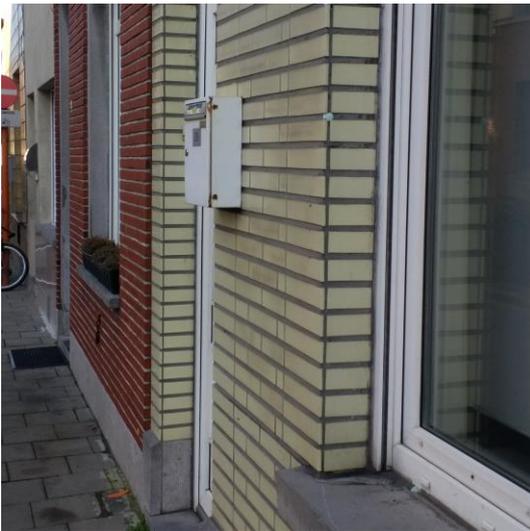
- Siloxanfarben, Silikatfarben, Kalkanstriche, ... sind in der Regel diffusionsoffen.
- Putze auf Zementbasis sind eher dampfdicht, Putze auf Kalkbasis dagegen eher dampfdurchlässig, was mit abnehmender Hydraulizität des Bindemittels zunimmt.
- Antigrffitiprodukte haben eine gute bis sehr geringe Wasserdampfdurchlässigkeit (z. B. Polyurethan-Antigrffitibesichtungen).
- Bituminöse Beschichtungen sind fast vollständig undurchlässig für Wasserdampf.

BEMERKUNGEN

- Ein dampfdichtes Material, das keine Schäden verursacht hat, kann verbleiben.
- Eine Innendämmung sollte bei einer dampfdichten Deckschicht vermieden werden. Im Idealfall wird die Schicht entfernt und durch eine dampfdurchlässige ersetzt. Ist dies nicht möglich, kann nach sorgfältiger Prüfung (z. B. durch Simulation) eine Dämmschicht aufgebracht werden, die eine Trocknung nach innen ermöglicht.
- Die meisten Deckschichten haben eine begrenzte Haltbarkeit. Nach einer gewissen Zeit können Risse entstehen, die das Eindringen von Wasser in die Fassade ermöglichen.
- Putze auf Zementbasis sind anfällig für Risse, z. B. aufgrund des Schwindens beim Aushärten. Die Dichtheit gegenüber Wasser kann durch eine zusätzliche Putzschicht oder durch eine Beschichtung der Oberfläche verbessert werden.
- Bei Anstrichen spielen sowohl die Schichtdicke als auch die Anzahl der Schichten eine Rolle (jede Schicht erhöht den Trocknungswiderstand). Da die Wände wahrscheinlich nach einiger Zeit neu gestrichen werden, ist es besser, dampfdurchlässige Farben zu verwenden, insbesondere wenn der Feuchtegehalt der Wand begrenzt bleiben soll.
- Das Entfernen von (dauerhaften) Anti-Graffiti- oder Bitumenprodukten kann sehr schwierig sein. Selbst nach einer vollständigen Entfernung wurde ein verminderter Wasserdampftransport beobachtet, da die Rückstände dieser Produkte in den Poren verbleiben und nicht entfernt werden können.

Fall 26 Keramische Fliesen, Mosaik und andere Arten von stein- oder glasartigen Fassadenverkleidungen

Verschiedene Arten von dünnen Fassadenverkleidungen, wie Natursteinplatten, Keramikfliesen oder Mosaik, werden mit Mörtel auf eine Fassade aufgebracht. Sie sind zwar wasserdicht aber gleichzeitig auch tendenziell zu dampfdicht: durch das Material selbst, aber auch durch den (in den meisten Fällen) eher dampfdichten Zementmörtel.



Glasierte Keramikfliesen (sollen glasiertes Mauerwerk imitieren)



Teilweise abgefallene, dekorative Wandfliesen (wahrscheinlich durch eindringenden Schlagregen und verursacht durch Frostschäden)

URSACHE(N)

Wände mit Fassadenverkleidungen können nicht leicht austrocknen. Zudem sind sie in der Regel nicht vollständig wasserdicht, da die (oft sehr feinen) Fugen zwischen den Fliesen, Steinplatten oder Mosaiken oft Mikrorisse aufweisen, durch die Regenwasser eindringen kann. Diese feinen Fugen zwischen Fliesen oder Natursteinplatten vollständig abzudichten, ist fast unmöglich.

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Entfernen der Fassadenverkleidung und Ersetzen durch eine Verkleidung, die eine effiziente Trocknung ermöglicht (oft nicht erwünscht, wenn die ursprüngliche Verkleidung dekorativ ist und möglicherweise unter Denkmalschutz steht).
- Verbessern der Austrocknung der Wand zum Gebäudeinneren hin.

BEMERKUNGEN

- Die Anbringung einer Innendämmung wird bei solchen Fassadenverkleidungen nicht empfohlen. Eine Begrenzung der Dicke und die Verwendung kapillaraktiver Materialien kann in einigen Fällen möglich sein.
- Wenn sich zwischen der Fassadenverkleidung (typischerweise bei einigen Verkleidungen mit großen Naturstein- oder Betonplatten) und der darunterliegenden Wand eine Luftschicht befindet, sollte eine Belüftung dieser Luftschicht sichergestellt werden, wodurch die Trocknungsfähigkeit der Wand erheblich verbessert wird. Eine Innendämmung kann in solchen Fällen möglich sein.

Fall 27 Glasierte Ziegel

Glasierte Ziegel sind fast vollständig dampfdicht. Seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts werden sehr glänzende, glasierte Ziegel mit leuchtenden Farben verwendet, meist als ästhetisches Detail, manchmal aber auch für ganze Fassaden. In den 1930er Jahren wurden Ziegel mit einer subtileren Verglasung und einer dichten und flachen Oberfläche, die jedoch nicht glänzt (und daher weniger leicht zu erkennen ist), hergestellt und oft verwendet. Manchmal lässt sich diese dünne Verglasung erkennen, weil sie abblättert.



Abblättern der glasierten Oberfläche (~1930s)



Glasierte Ziegel (~60er Jahre), die wegen Frost und begrenztem Trocknungspotenzial zerfallen



Glasierte Ziegel (frühes 20. Jhd.); das Mauerwerk kann noch durch die Fugen austrocknen

URSACHEN

Glasierte Ziegel sind dampfdicht, sodass das Trocknungspotenzial von der Art und Größe der Mörtelfugen abhängt:

- Ältere Fassaden (< 1930) haben in der Regel große Kalkmörtelfugen, die Austrocknung gut ermöglichen. Wenn glasierte Ziegel nur als ästhetisches Detail und nicht für die gesamte Fassade verwendet werden, wird die Austrocknung nur wenig reduziert.
- Neuere Fassaden (ab 1930) haben meist zementgebundene Mörtelfugen, die keine effiziente Austrocknung der Fassade zulassen. In Kombination mit glasierten Fliesen haben sie langfristig ein höheres Risiko von Feuchte- und Frostschäden.
- Fassaden mit dünnen Mörtelfugen (< 1 mm) haben praktisch kein Trocknungspotenzial.

MÖGLICHE LÖSUNGEN

- Reparatur der Fassade im Falle von Schäden
- Verringerung des Risikos des Eindringens von Wasser, z. B. durch das Ausfüllen von Schattenfugen (mit drastischen ästhetischen Auswirkungen)

BEMERKUNGEN

- Bei älteren Fassaden (< 1930) ist die Anbringung von Innendämmung in der Regel möglich, da man mit ausreichendem Trocknungspotential durch den Mörtel rechnen kann.
- Bei neueren Fassaden (> 1930) ist eine Innendämmung riskant. Sie sollte nicht angebracht werden, wenn das Mauerwerk schon Schäden aufweist. Wenn keine Schäden vorhanden sind, kann eine kapillaraktive Dämmung mit mäßiger Dicke in Betracht gezogen werden, die eine Austrocknung der Wand nach innen ermöglicht.

A 2 Hinweise zur Anwendung der Messmethoden

A 2.1 Kapazitive Feuchtemessung

Kapazitive Messgeräte ermöglichen zerstörungsfreie Feuchtemessungen in oberflächennahen Bereichen (bis zu 4 cm Materialtiefe). Die Geräte geben einen Messimpuls in das Material ab. Die Reflexion des Impulses ist abhängig vom Feuchtegehalt und wird gemessen. Die Methode ist für mineralische Baustoffe und Holz geeignet und stellt Unterschiede zwischen trockenen und feuchten Baustoffen heraus. Gelöste Salze können den Baustoff zu einem elektrolytischen Leiter machen, was zu höheren Werten führen kann. Auch Metalle verfälschen die Messungen.

Diese Methode eignet sich gut für Vergleichsmessungen, um Unterschiede zwischen feuchten und trockenen Bereichen festzustellen, gilt aber als ungeeignet für qualifizierte Feuchtemessungen. Ein weiterer gravierender Nachteil ist, dass sie auf oberflächennahe Bereiche beschränkt ist. Da die Methode zerstörungsfrei ist und es einige Faktoren gibt, die die Messungen verfälschen können, ist es ratsam, an vielen Stellen zu messen.



Bild 19 Messgeräte zur kapazitiven Feuchtemessung (links: www.gann.de, rechts: www.ahlborn.com)

A 2.2 Widerstandsfeuchtemessung

Die Widerstandsmessung ist *nahezu* zerstörungsfrei. Hierbei wird mittels zweier Elektroden, die in das Material gerammt oder gebohrt werden, Strom durch das zu messende Material geleitet. Der elektrische Widerstand bzw. die Leitfähigkeit zwischen den Elektroden wird aufgezeichnet. Der gemessene Widerstand wird in der Folge über im Gerät hinterlegte Transferkurven in eine entsprechende Materialfeuchte überführt.

Mit dieser Messmethode kann der Feuchtegehalt an der Oberfläche des Materials, aber auch mit geeigneten, langen Elektroden in tieferen Schichten des Bauteils gemessen werden. Die angezeigten Messergebnisse können unter Berücksichtigung unterschiedlicher Baustoffe in Feuchteprozente umgerechnet werden. Verfälschungen der Messergebnisse sind auch hier möglich durch ungleichmäßige Feuchteverteilung und Inhomogenitäten im Material, durch andere leitende Materialien in der Wand, z. B. Kabel, Rohre oder Putzschiene sowie durch Salze, Oberflächenbehandlungen oder schlechtem Kontakt der Elektroden mit dem Material.

Bei Holz und Holzwerkstoffen bestehen gute, langjährige Erfahrungen. Hier ist darauf zu achten, dass die Holzart und Temperatur berücksichtigt werden können. Mehrfachmessungen ermöglichen eine bessere Beurteilung der Einzelmessungen.



Bild 20 Widerstands-Feuchtemessgeräte (links: testo.com, rechts: www. trotec.de)

A 2.3 Feuchtemessung mit Mikrowellen

Auch dieses Messverfahren ist zerstörungsfrei. Dabei wird ein elektrischer Impuls in das Material abgegeben und die Reflektion ausgewertet.

Durch den Einsatz unterschiedlicher Applikatoren können verschiedene Messtiefen realisiert werden, von oberflächennah bis zu einer Eindringtiefe von 80 cm. Dies erleichtert die Identifizierung der Feuchtequelle. Aufgrund des Messprinzips mit hoher Leistung ist diese Methode praktisch unabhängig von Salz, Metalle beeinflussen die Messungen dennoch. Geräte, die mit dieser Methode arbeiten, sind recht teuer und daher nicht weit verbreitet.



Bild 21 Mikrowellen-Feuchtemessgerät mit verschiedenen Messköpfen (hf-sensor.de)

A 2.4 CM-Methode (Calciumcarbid-Methode)

Dieses chemische Messverfahren benötigt nur geringe Mengen an Material (5 bis 20 g) und eignet sich für mineralische Baustoffe. Diese werden entnommen, feucht eingewogen, mit einem Mörser vorzerkleinert und dann in einem Druckbehälter mit Stahlkugeln und einer Ampulle Calciumcarbid kräftig und ausreichend lang geschüttelt. Das in der Probe enthaltene Wasser reagiert mit dem Kalziumcarbid unter Bildung von Acetylen, wobei der Druck in Abhängigkeit von der Wassermenge stark ansteigt. Der gemessene Druckanstieg lässt Rückschlüsse auf den Wassergehalt der Probe zu. Diese Methode wird direkt vor Ort angewendet. Die Genauigkeit von ca. $\pm 3\%$ ist für baupraktische Anforderungen ausreichend genau.



Bild 22 CM-Messgerät zur Feuchtemessung (radtke-messtechnik.com)

A 2.5 Gravimetrisches Verfahren

Bei dieser klassischen, zerstörenden Methode werden Materialproben aus dem Bauwerk entnommen, vor Ort in feuchtem Zustand gewogen, luftdicht verpackt und im Labor in einem Trockenschrank getrocknet, bis die Masse konstant ist. Das trockene Material wird dann erneut gewogen. Die Massendifferenz zwischen der feuchten und der getrockneten Materialprobe gibt den genauen Wassergehalt wieder. Dieses Verfahren ist ein international genormtes Feuchtemessverfahren, erfordert keine Kalibrierung und kann aufgrund seiner Genauigkeit ($\pm 0,5\%$) vielmehr zur Kalibrierung anderer Verfahren verwendet werden.

Um eine übermäßige Erwärmung der Probe zu vermeiden, sollte bei der Entnahme von Bohrkernen die Bohrzeit so kurz wie möglich gehalten werden und bei niedriger Umdrehung durchgeführt werden, da Wasser aus der Probe verdampfen kann. Außerdem ist es günstig, größere Proben anstelle von Kernen mit kleinem Durchmesser zu entnehmen. Wenn es möglich ist, ganze Ziegel aus der Fassade zu entnehmen, sind Läufer leichter zu gewinnen als Binder. Stellen, an denen spätere Mauerdurchbrüche bei der weiteren Sanierung vorgenommen werden sollen, sind für eine Entnahme vorteilhaft. Gleichzeitig erhält man nützliche Informationen über den Mörtelzustand und den Feuchtestatus hinter dem Ziegel. Ganze Ziegel sind in einer Fassade leichter auszutauschen als Teile von Ziegeln. Oft unterscheiden sich die äußeren Steine von den Steinen im Inneren der Wand. Die äußeren Steine sind aufgrund des Kontakts mit dem Außenklima von größerer Bedeutung.

A 2.6 Benetzungstest

Die einfachste, aber äußerst subjektive Methode für einen ungefähren Eindruck des Wassereindringverhaltens ist das Benetzen der Fassade, z. B. mit einer Sprühflasche. Hiermit lässt sich allgemein feststellen, ob die Fassade stark saugfähig oder wasserabweisend ist und ob es größere Unterschiede in den verschiedenen Fassadenausrichtungen oder bestimmten Bereichen gibt. Diese Methode ist nur als erste, sehr oberflächliche Beurteilung sinnvoll.



Bild 23 Benetzungstest an einer Natursteinfassade

A 2.7 Prüfröhrchen

Eine einfache, bewährte Methode zur Vor-Ort-Messung der kapillaren Wasseraufnahme von Baustoffen und Bauteilen ist die Messung mit Wassereindring-Prüfröhrchen, z. B. Indikatorröhrchen von Dr. Karsten oder von Dr. Pleyer. Diese Methoden sind für die grobe Beurteilung von Fassaden geeignet.



Bild 24 Prüfröhrchen nach Dr. Karsten, auf Ziegelstein befestigt

Das Wassereindringprüfgerät wird mit Spachtelmasse auf die Prüffläche aufgebracht. Nach dem kontrollierten Einfüllen von Wasser in das Prüfröhrchen wird in bestimmten Abständen die aufgenommene Wassermenge dokumentiert. Die Auswertung der Messkurve zur Umrechnung in einen groben Wasseraufnahmekoeffizienten erfolgt mit einem entsprechenden Auswerteschema und in Abhängigkeit von der Saugfläche. Aufgrund der geringen Querschnittsabmessungen des Rohres, des starken Kanteneinflusses und anderer Einflüsse können insbesondere bei Ziegelfassaden mit Fugenteilen nur sehr begrenzte Aussagen getroffen werden.

Der aus den Messungen abgeleitete Wasseraufnahmekoeffizient kann für die Bewertung des Transportvermögens von flüssigem Wasser herangezogen werden. Unter [6] steht eine Datei zur Verfügung, die bei der Protokollierung des Versuchs und der Berechnung des A_w -Wertes unterstützt. Die Grundlagen für dieses Tools sind in [7] erläutert.

A 2.8 Prüfplatten

Diese Prüfplatten sind eine Weiterentwicklung der Prüfröhrchen, das Messprinzip ist das gleiche. Durch die größere Messfläche reduziert sich die Abweichung und es ist bei einem Mauerwerk die

gleichzeitige Messung von Fuge und Stein möglich. Auch hier wird die Prüfplatte mit Spachtelmasse auf die Prüffläche aufgebracht. In bestimmten Abständen wird die aufgenommene Wassermenge und der entsprechende Zeitpunkt dokumentiert, um aus der Messkurve einen groben Wasseraufnahmekoeffizienten ableiten zu können.

Durch die größere Benetzungsfläche mit einer rechteckigen Struktur in der Größe eines Standardformat-Steins plus Stoß- und Lagerfuge (25 x 8,3 cm) kann hier das gesamte System aus Stein und Fuge erfasst werden.

Auch bei dieser Methode findet ein mehrdimensionaler Flüssigkeitstransport mit hydrostatischem Druck statt, was zu höheren Ergebniswerten führt. Aufgrund der größeren Prüffläche sind hier die Randeffekte weniger stark ausgeprägt als beim Prüfrohr. Auf der anderen Seite ist es oft sehr anspruchsvoll, die Platte bei unebenen Oberflächen mit Kitt abzudichten.



Bild 25 Prüfplatte nach Franke, Messung von Stein- und Fugenanteil

A 2.9 Wasseraufnahme-Messgerät

Die exakte Messung der Wasseraufnahme einer Fassade ist nur mit wesentlich aufwändigerer und teurerer Ausrüstung möglich. Mit dem in Bild 26 abgebildeten Gerät beträgt die Benetzungsfläche 30 x 40 cm. Somit wird die Wasseraufnahme von mehreren Stein- und Fugenschichten einer Ziegelfassade gemessen.

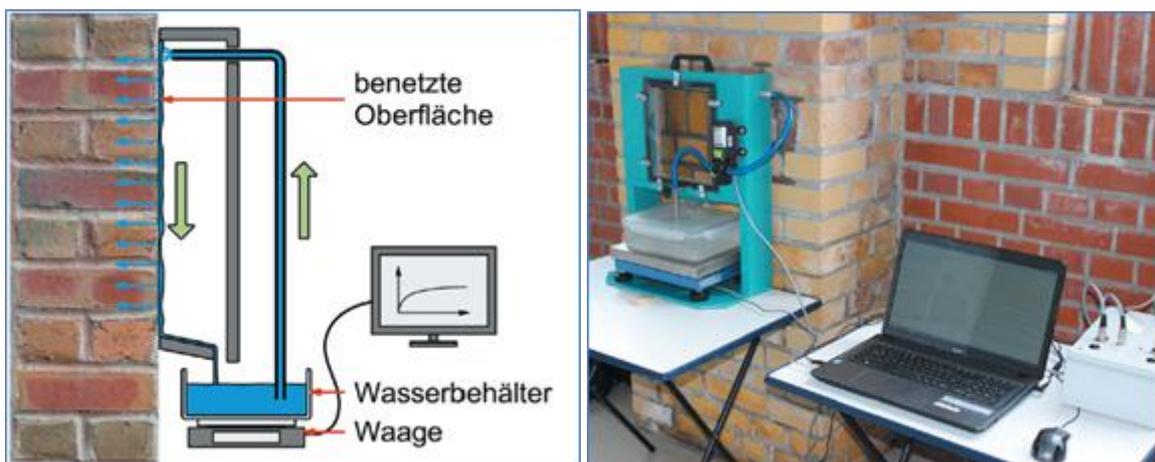


Bild 26 Wasseraufnahme-Messgerät, Messprinzip und Praxiseinsatz [hf-sensor.de]

Die Testfläche wird einem drucklosen Wasserfilm ausgesetzt, der durch einen konstanten, geschlossenen Wasserkreislauf erzeugt wird. Das Messprinzip beruht darauf, dass die Abnahme der

Wassermenge gravimetrisch bestimmt wird. Je nachdem, wie saugfähig eine Fassadenoberfläche ist, wird während der Prüfung mehr oder weniger Wasser aus dem Wasserkreislauf aufgesogen. Dies ermöglicht eine genaue, zerstörungsfreie Messung, abgesehen von einigen Schraubenlöchern. Der Einfluss des mehrdimensionalen Transports ist aufgrund der größeren Prüffläche weniger bedeutend und wird in der Berechnung des Wasseraufnahmekoeffizienten berücksichtigt. Die Genauigkeit dieses Verfahrens ist sehr hoch.

A 3 Ausrüstung und Vorbereitung einer Begehung

Im Vorfeld einer Begehung ist zunächst die Zugänglichkeit zum Gebäude bzw. Gebäudeteilen und bestimmten Bereichen sicherzustellen. Dafür können notwendig sein: Schlüssel (oder eine zuständige Person), die Entfernung von Vegetation, eine Hubarbeitsbühne, Gerüst oder Leiter.

Wenn Strom und gegebenenfalls Wasser vorhanden sein müssen, ist das ebenfalls vorher abzuklären. Ein Generator und Wasserkanister können hier andernfalls Abhilfe schaffen.

Ferner ist es auf Begehungen häufig notwendig, Arbeitsschutzkleidung zu tragen. Das kann Sicherheitsschuhe, Hose, Handschuhe, Brille, Helm und Gehörschutz umfassen.

Ansonsten sind je nach Bedarf folgende Ausrüstungsgegenstände mitzunehmen:

- Beleuchtung: Taschenlampe, Stirnlampe, Baustrahler (Akkubatterien aufgeladen?)
- Distanzmessgeräte: Meterstab/Zollstock, Bandmaß, Laser-Distanzmesser
- Analyse: Endoskop (mit Bohrer), Waage, Wasserwaage, Winkelspiegel, Lupe, Risslineal, Oberflächen-/Temperaturmessgerät, Luftfeuchtemessgerät, Materialfeuchtemessgerät
- Feuchtemessgeräte: Sprühflasche, Prüfröhrchen/Prüfplatte (mit ausreichender Knete), CM-Gerät
- Probenahme: (Verschließbare) Plastiktüten für Probekörper, Meisel/Fäustel, Hammer, Kernloch-/Bohrer, (Akku-)Bohrhammer, Zapfenschneider, Scheibenbohrer
- Dokumentation: Stifte (Bleistift/Permanentstift), Kreide, Papier, ausgedruckte Pläne (wenn vorhanden), A3-Feldrahmen/Kladde, Kamera/Smartphone, Laptop/Pad
- Sauberkeit: Handfeger, Schaufel, Lappen, Seife, Eimer, Besen, Handtuch
- Sonstiges: (Geladene) Ersatzakkus und Ladegeräte für alle Geräte, Verlängerungskabel/Verteilerdose, Strick, Gewebepband, (Akku-) Schrauber, Brecheisen, Messer, warme Kleidung (Winter), Sonnenschutz (Sommer), Verpflegung

A 4 Glossar

Endoskopie

Bei Hilfe der Endoskopie kann das Innere von Konstruktionen mit minimal invasivem Aufwand untersucht werden. Dafür wird ein Loch in eine Konstruktion gebohrt, in der die Linse eingeführt werden kann. Die Linse kann an einem starren oder flexiblen Stab bzw. Schlauch befestigt sein. Die Informationen der Linse werden auf einen Bildschirm angezeigt und lassen sich abspeichern. Für den Baubereich existieren Linsen mit einem Durchmesser von unter 10 mm.

Wasserdampfdiffusionswiderstandsbeiwert (μ -Wert)

Bei geringer relativer Luftfeuchte erfolgt der Feuchtetransport in den Poren von Materialien fast ausschließlich in Form von Wasserdampf. Erst bei höheren Luftfeuchten ab ca. 80 % kommt es parallel zu nennenswertem Flüssigwassertransport, der ab ungefähr 95 % dominiert. Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl (auch μ -faktor, μ -beiwert oder μ -Wert) eines Baustoffes ist ein dimensionsloser Materialkennwert. Sie gibt an, um welchen Faktor das betreffende Material gegenüber Wasserdampftransport dichter ist, als eine gleichdicke, ruhende Luftschicht. Mineralwolle hat beispielweise einen μ -Wert zwischen 1 und 2 und leitet demnach Wasserdampf ähnlich wie eine ruhende Luftschicht. Die Spanne ist bei Altbauziegeln sehr groß: sie fängt bei ungefähr 8 an, kann aber auch (weit) über 40 liegen.

Wasseraufnahmekoeffizient

Bei hoher relativer Luftfeuchte über 95 % erfolgt der gesamte Feuchtetransport praktisch in der Flüssigphase. Dieser Fall liegt z. B. vor, wenn eine Wand im Grundwasser steht oder wenn sie zeitweise durch Schlagregen stärker befeuchtet wird. Der Wasseraufnahmekoeffizient charakterisiert dabei die Eigenschaft eines weitgehend trockenen Baustoffes, Wasser von der Oberfläche her aufzusaugen und in den tiefer liegenden Porenraum zu transportieren. Auch der Wasseraufnahmekoeffizient ändert sich in Abhängigkeit vom Wassergehalt im Porenraum. Er wird üblicherweise in $\text{kg}/(\text{m}^2\text{s}^{0,5})$, bzw. $\text{kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0,5})$, angegeben.

IN2EuroBuild – Einheitlicher europäischer Leitfaden für die Innendämmung von Bestandsbauten und Baudenkmalern



Ablaufschema Bestandsaufnahme

Legende

- einfache Lösung, für 70-80% aller Fälle anwendbar
- Überprüfung, ggf. Maßnahmen erforderlich
- Mehraufwand, Fachplaner /-firma hinzuziehen

Vorbereitende Arbeiten der Bestandsaufnahme

- Pläne (Grundrisse/ Schnitte/ Details)
- Statische Berechnungen
- Baubeschreibungen, Fotos, Bautagebücher
- Gegebenenfalls Schadensgutachten
- Rechnungen, Belege, Leistungsverzeichnisse
- Nutzungsänderungen, durchgeführte Sanierungen
- Bauteilaufbauten (Materialdaten)
- Befragung von Nutzern, Verwaltern und Eigentümern
- Informationen in öffentlichen Archiven
- Vorhandene Anlagentechnik

