

# Nachhaltige und verträgliche Instandsetzung auf der Grundlage von Diagnose und Modellierung

o.Univ.Prof.Dr.Dr.J.Dreyer , TU Wien , Inst.f.Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz

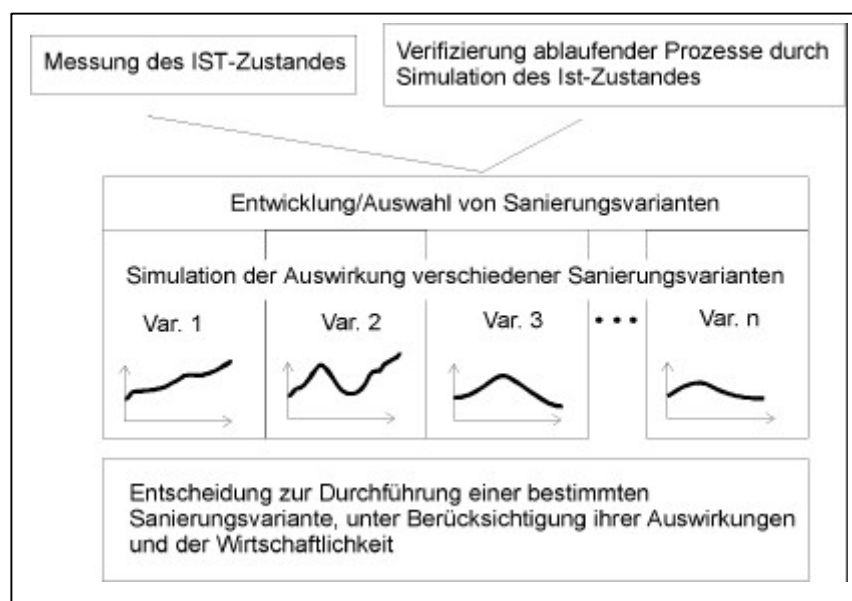
## 1. Einleitung

Viele existierende Gebäude weisen einen unzureichenden Wärmeschutz auf. Das führt zu einem unbehaglichen Innenklima, zu erhöhten Wärmeverlusten und Energiekosten und auch zu starken Umweltbelastungen durch Schadstoffe, Rauch- und Abgase. Deshalb sollte bei Instandhaltungs- und Sanierungsarbeiten stets geprüft werden, ob und wie eine Verbesserung des Wärmeschutzes möglich ist. In einigen Fällen wird ein unzureichender Wärmeschutz nicht so hoch bewertet wie ein die Bausubstanz bedrohender mangelhafter Feuchtigkeitsschutz, da die ökonomischen Effekte in vielen Fällen gering sind und hohe Amortisationszeiten haben. Wesentlich bei der Erhöhung des Wärmeschutzniveaus sind aber neben den Heizkosteneinsparungen die hygienische Qualität durch die Erhöhung der Behaglichkeit und die ökologischen Effekte durch die Verringerung der Umweltbelastung.

Der unzureichende Feuchtigkeitsschutz vieler alter Gebäude aber auch der Alterungsprozeß der Baustoffe, die häufig fehlende Instandhaltung und Veränderung der Nutzungsbedingungen und Gewohnheiten wirken sich im allgemeinen unmittelbar und sichtbar auf den baulichen und hygienischen Zustand aus. Die Feuchtigkeit kann durch unterschiedliche Prozesse, wie Frost-Tau-Wechsel, chemische Korrosion, biologische Besiedlung, Stoffaus- und Stoffumlagerung u.a. zur Zerstörung der Stoffmatrix, zu Festigkeitsverlusten, zur Veränderung thermischer und hygrischer Eigenschaften, zur Herausbildung heterogener Strukturen, zur Beeinträchtigung der Nutzung und zu anderem mehr führen. Deshalb gefährdet ein mangelhafter Feuchtigkeitsschutz unmittelbar den Bestand und sollte möglichst unverzüglich verbessert werden.

Bei der Sanierung von Gebäuden mit neuen Baumaterialien und Techniken ist eine genaue Kenntnis des Zustandes der Konstruktionen und der Wechselwirkung mit der Umgebung von großer Bedeutung. Die Wärmedämmeigenschaften, der Feuchtezustand, Salzgehalte und Festigkeiten müssen bekannt sein, um die Entscheidung treffen zu können, welche Sanierungsmaßnahmen zu einer nachhaltigen Verbesserung des Gebäudezustandes führen werden.

**Bild 1:**  
**Ablaufschema zur**  
**Evaluierung von**  
**Sanierungsvarianten**  
**durch Verknüpfung**  
**experimenteller**  
**Methoden und**  
**rechnergestützter**  
**Simulation**



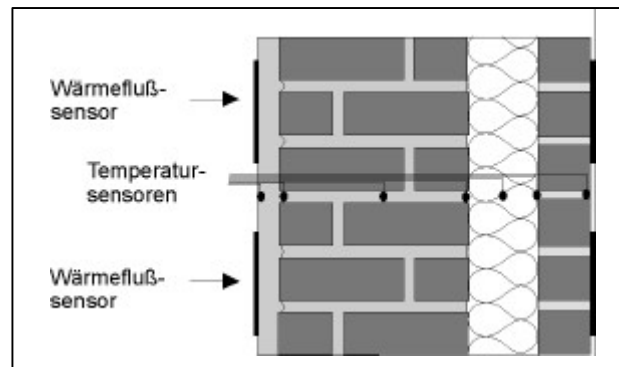
Bei der Erstellung der Prognose, wie sich verschiedene Sanierungsvarianten auswirken werden, sind diagnostische Untersuchungen und rechnergestützte Simulationen von großem

Wert. Mit ihrer Hilfe kann die Wechselwirkung der Baukonstruktionen mit ihrer Umgebung realistisch nachgebildet und damit analysiert werden.

## 2. Diagnose von Gebäuden in Vorbereitung einer Instandsetzung

### 2.1. In-situ- Bestimmung des Wärmeschutzes von Gebäuden

Zur Messung des Wärmedurchlaßwiderstandes einer Wand wurde ein sogenanntes Hilfswandverfahren entwickelt, das auch bereits in Normen ([1], [2]) definiert ist. Eine neue Möglichkeit der In-situ-Messung stellt die Messung des Temperaturfeldes bei beliebigen klimatischen Bedingungen an mehreren Stützstellen im Innern der Konstruktion dar.



**Bild 2:**  
**Meßaufbau zur ortsaufgelösten**  
**Messung des Wärmedurchlaß-**  
**widerstandes**

Damit ist eine abschnittsweise Messung der Wärmeleitfähigkeit möglich. Durch Messung der zeitabhängigen Entwicklung des Temperaturfeldes aufgrund der Schwankungen der Außen- und Innenlufttemperatur und der Sonnenstrahlung auf die Außenoberfläche ist es ebenso möglich, die thermischen Eigenschaften der Baustoffe zu bestimmen. Der Geräte- und Zeitaufwand ist meistens geringer als bei den herkömmlichen Verfahren. Im Detail ist diese Methode in den Arbeiten [3,4,5] beschrieben.

Mit diesem Verfahren wurden eine Reihe von Objekten in Deutschland, speziell in Mecklenburg/Vorpommern untersucht. Aufgrund der geringen Wärmedämmung und den daraus resultierenden feuchtetechnischen Problemen gab es bei den untersuchten Objekten einen erhöhten Sanierungsbedarf. Die dabei gewonnenen Meßergebnisse sind auszugsweise in Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1: In-situ-Werte der untersuchten Wandaufbauten**

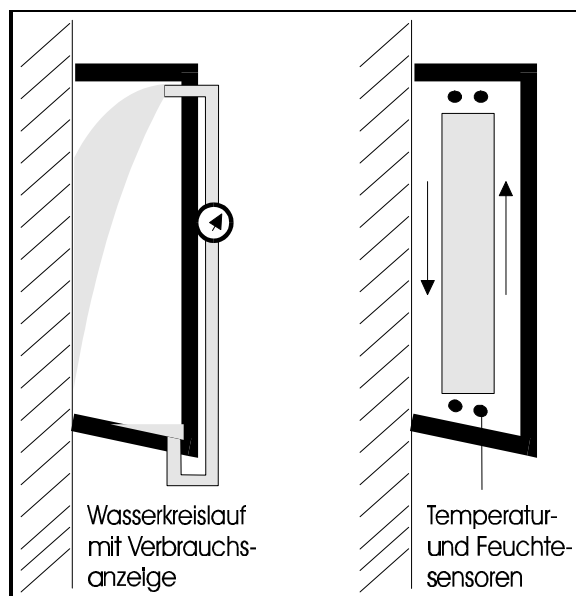
Wandaufbau	Druckfestigkeit	U-Wert	Feuchtegehalt
	N/mm <sup>2</sup>	W / m <sup>2</sup> K	M-%
Verputztes Ziegelmauerwerk	15 - 25	1,7-2,5	1 - 4
Kunststoffbeschichtung Porenbeton Innenputz	1,4 - 3,6	0,7-1,6	1 - 40

### 2.2. Meßtechnische Beurteilung des Witterungsschutzes von Fassaden

Der Feuchtigkeitsschutz vieler Altbauten muß instandgesetzt werden, da die Feuchtigkeitsgehalte vieler Fassaden durch Witterungsbelastung zu hoch sind. Beim Vorliegen eines Fassadenschadens ist häufig die Frage zu beantworten, ob ausgebessert oder erneuert werden muß. Dabei ist zu prüfen, ob der Feuchtehaushalt der Fassade in Ordnung ist oder ob die hygrischen Eigenschaften so ungünstig sind, daß die Wand zu hohe Feuchtebelastungen

aufnimmt. Im letzteren Fall ist in der Regel eine Erneuerung der äußeren Fassadenseite erforderlich oder diese ist durch Beschichtung, Verkleidung oder Hydrophobierung zu verbessern.

Zur Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten und der äquivalenten Luftschichtdicke gibt es Standardmeßmethoden, die aber nur an Proben des Beschichtungs-, Putz- oder Wandmaterials angewendet werden können. Deshalb wurde ein zerstörungsfreies Insitu-Meßverfahren zur Bewertung der Funktionstüchtigkeit einer Fassade entwickelt. Es besteht aus einer Beregnungseinheit und einem Verdunstungsmesser. Mit der Beregnungseinheit wird ein definierter Wandabschnitt besprüht, die eindringende Wassermenge aus dem Verbrauch gemessen und die Wasseraufnahme der Fassade quantitativ geprüft. Nachdem über eine angemessene Meßzeit die Fassade durchfeuchtet wurde, wird mit dem Verdunstungsmessgerät untersucht, wie der Verdunstungsprozeß abläuft. Man erhält Kennzahlen für das Wasseraufnahme- und das Verdunstungsvermögen, daß heißt zum Feuchtigkeitshaushalt.



**Bild 2: Meßgeräte zur Prüfung der Wasseraufnahme und der Verdunstungsfähigkeit von Fassaden**

Der linke Teil zeigt in schematischer Darstellung einen Beregnungsprüfer, bei dem eine zeitabhängige Registrierung der von der Fassade aufgenommenen Wassermengen möglich ist.

Der rechte Teil zeigt ebenfalls in schematischer Darstellung ein Verdunstungsmessgerät, bei dem ein Luftstrom über die zu prüfende Fassade geführt wird und der Feuchtegehalt der Luft vor und nach dem Überströmen der Fasadenoberfläche vermessen wird.

### 2.3. Untersuchung von Kondensationsprozessen an und in Bauteilen

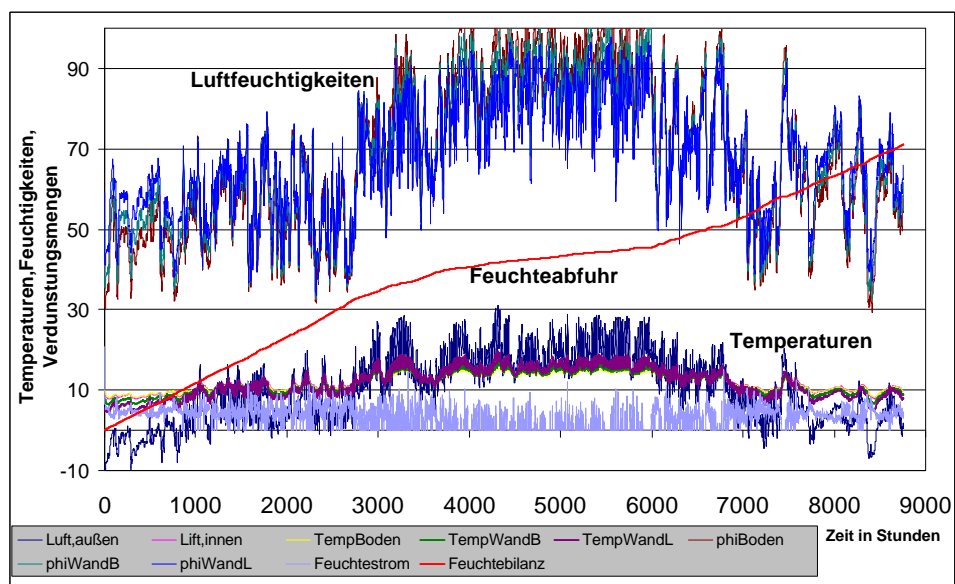
Oberflächenkondensat tritt dann auf, wenn die Oberflächentemperatur unter der Taupunkttemperatur der angrenzenden Luft liegt. Dabei ist zu beachten, daß diese Erscheinung meist nur zeitweilig auftritt.

An folgenden Merkmalen kann Oberflächenkondensat erkannt werden:

1. Verfärbung von Bauteilen, speziell hinter Bildern, Möbeln oder Schränken, die an Außenwänden stehen, in Leibungsbereichen von Fenstern, in Schlafzimmern und Hausfluren, in Paterre-Wohnungen usw..
2. Schimmelbefall (die befallenen Stellen müssen nicht unbedingt besonders feucht sein).
3. Mangelhafte Belüftung wird festgestellt.
4. Hohe Feuchteproduktion durch Feuchtigkeitsquellen, wie z.B. Gas- oder Ölöfen, anfallende große Wäskemengen, Bauteile mit hohen Feuchtigkeitsgehalten durch aufsteigende Feuchtigkeit bzw. durch Eindringen von Regenfeuchtigkeit.
5. Holz wird selten durch Kondenswasser direkt feucht. Es nimmt eher die Feuchtigkeit durch den Kontakt mit Bauteilen auf, auf denen sich Kondenswasser gebildet hat.
6. Der Feuchtigkeitsgehalt an der Wandoberfläche ist höher als im Inneren der Wand.

Die Tauwasserbildung hängt von der Raumlufttemperatur, den Oberflächentemperaturen und der Luftfeuchtigkeit ab. Für Untersuchungen zur Oberflächenkondensation ist es ratsam, nicht nur mit Meßwerten zu arbeiten, sondern auch die möglicherweise auftretenden Luftfeuchtigkeiten zu berechnen. Mittels einfacher Modelle zum Feuchtehaushalt eines Raumes kann man die Feuchtebilanz und auftretende kritische Zustände beschreiben, so daß eine Simulation von ablaufenden Prozessen möglich wird, wie es in Bild 3 veranschaulicht wird. Gerade bei der wärmeschutztechnischen Sanierung von Gebäuden durch Wärmedämmung, Ersatz der Einscheibenfenster durch hochdämmende und dichtschießende Mehrscheibenfenster und Verwendung geregelter Niedrigtemperaturheizungen können Kondensationserscheinungen auftreten, die auf das Wechselspiel von Temperatur, Feuchtigkeitsproduktion und Luftwechsel zurückzuführen sind.

**Bild 3:**  
**Simulation der**  
**Jahres-**  
**Temperatur**  
**und**  
**Luftfeuchtig-**  
**keitszustände**  
**in einem Raum**  
**mit hoher**  
**Feuchtigkeits-**  
**belastung**  
**durch feuchte**  
**Bauteile**

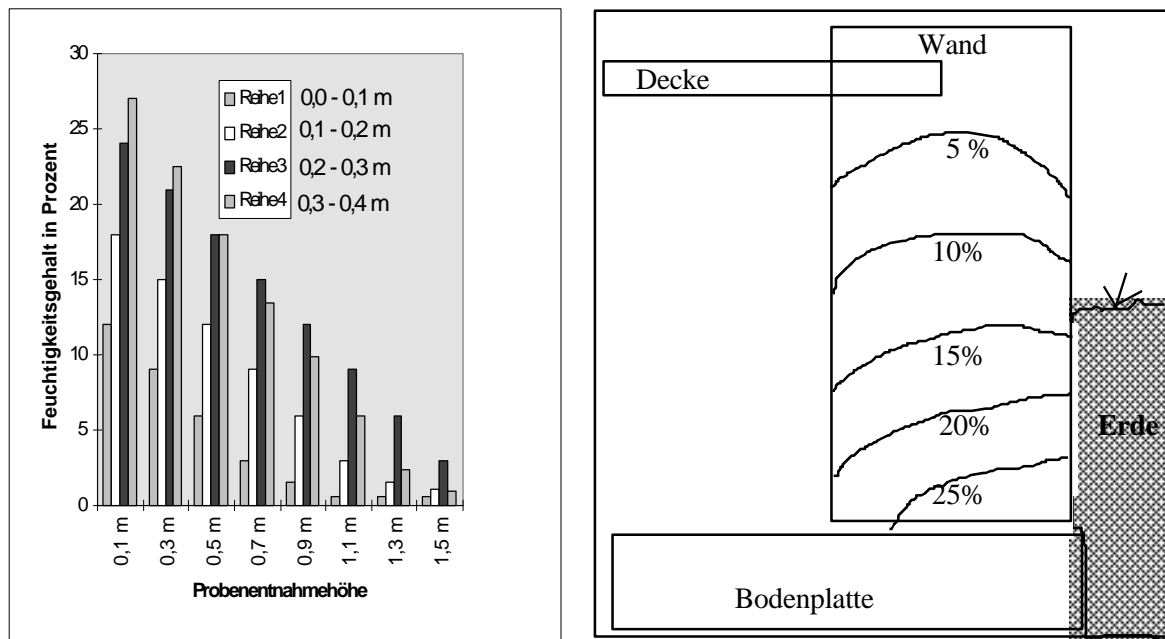


Kernkondensat ist Kondenswasser, das in einem Bauteil auftritt. Das Vorhandensein von Kernkondensat über einen längeren Zeitraum kann zu Korrosion und Zerstörung von Baustoffen führen, was möglicherweise die Standsicherheit und Tragfähigkeit von Bauteilen nachteilig beeinflusst, auch der Wärmedämmwert verschlechtert sich. Bei der Sanierung von Altbauten ist stets zu prüfen, welche neuen Zustände durch die Sanierungsmaßnahme auftreten können und ob kritische Feuchtigkeitsbelastungen eintreten können. Für jede Sanierungsmaßnahme ist stets der Nachweis zu führen, daß sich nur zulässige Kondenswassermengen bilden und daß diese im Verlaufe eines Jahres wieder verdunsten können. Generell gilt, daß die Schichten von innen nach außen immer diffusionsoffener werden sollen. Dadurch kann man gewährleisten, daß sich kein Kondenswasser bildet und das auf unterschiedliche Weise befeuchtete Konstruktionen auch wieder austrocknen können.

## 2.4. Diagnose aufsteigender Feuchtigkeit

Das Schadensbild aufsteigender Feuchtigkeit kann durch verschiedene Begleit- und Folgeschäden, wie Salzausblühungen, Putzschäden u.ä. sehr unterschiedlich ausfallen. Typisch für die aufsteigende Feuchtigkeit ist der oftmals hohe Salzgehalt an der Wandoberfläche. Sichtbar wird dies durch Ausblühungen auf der Oberfläche. Beim Verdunsten bleibt das Salz auf der Verdunstungsoberfläche zurück. Oftmals zeigen sich auch feuchte Stellen, welche bei höherer Luftfeuchtigkeit größer und bei niedriger Luftfeuchtigkeit kleiner erscheinen, da die Salzablagerungen hygroskopisch wirken. Die feuchten Stellen verfärben sich teilweise, zeigen aber keinen Schimmelfall durch die hemmende Wirkung der konzentrierten Salze. Um die Feuchtigkeitsbelastung richtig einschätzen zu können, müssen

die Feuchtigkeitsverteilungen im Mauerwerk gemessen werden. Für diesen Zweck muß man an hinreichend vielen Stellen Feuchtigkeitsgehalte ermitteln. Feuchtigkeitsmessungen nur an den Oberflächen betroffener Bauteile sind häufig nicht aussagefähig genug. Dies liegt daran, daß an der Oberfläche die Feuchteabgabe durch Verdunstung erfolgt und dadurch niedrigere Feuchtwerte vorgetäuscht werden. Deshalb ist es eigentlich immer notwendig, auch Tiefenprofile der Feuchtigkeitsverteilung zu ermitteln, wie es das folgende Bild 4 zeigt. Durch die gewonnenen Daten ist eindeutig die Ursache der Durchfeuchtung zu bestimmen.



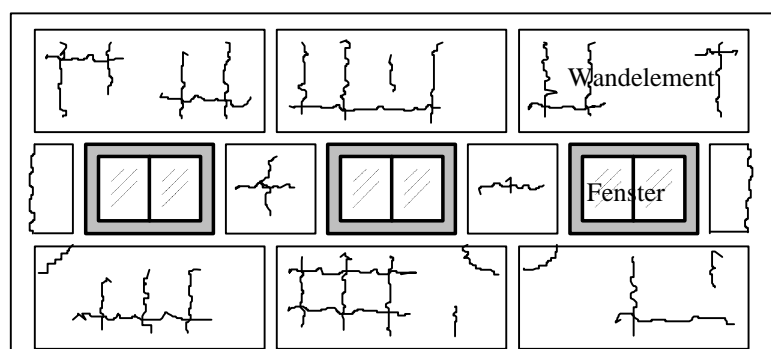
**Bild 4: Horizontale Feuchteprofile einer Kelleraußenwand und Darstellung als Feuchtigkeitsverteilung im Falle einer Durchfeuchtung durch aufsteigende Feuchtigkeit**

### 3. Instandsetzungsbeispiele

#### 3.1. Sanierung von Porenbetonwänden

Zur Sanierung von geschädigten Porenbetonaußenwänden, wie sie in Bild 4 dargestellt sind, wurden umfangreiche Voruntersuchungen zur Festigkeit, Durchfeuchtung und zur Ursache der Risse durchgeführt.

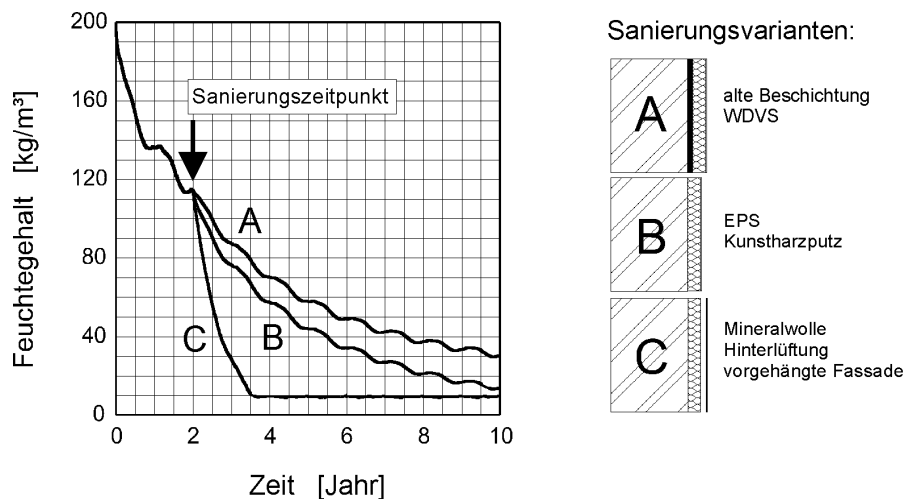
**Bild 4 : Schematische Darstellung von geschädigten Porenbetonfassaden**



Es zeigten sich eine Reihe von Mängeln durch hygri-sches Schwinden der feuchten Bauteile, einen bauphysikalisch ungünstigen Wetterschutz und die hohe thermische Belastung. Bei den untersuchten Porenbetonelementen handelt es sich um Porenbeton mit niedriger Festigkeit. Eine Instandsetzung mit einem Wärmedämmverbundsystem mit geeigneten und überprüften Systemen erschien aber möglich. Zu beachten waren allerdings die teilweise hohen Feuchtigkeitsgehalte, deren Verdunstung durch das Dämmsystem nicht verlangsamt

werden sollte. Durch ein nach außen diffusionsoffenes System kann bei einem hinterlüfteten Wärmedämmsystem die 10 bis 100-fache Wassermenge im Vergleich zu einer äußeren Kunstharzputzbeschichtung verdunsten. Mit Hilfe der Meßdaten und durchgeführten Simulationsberechnungen wurde die Auswirkung verschiedener Sanierungsvarianten auf den Austrocknungsverlauf studiert. In Bild 5 sind die Austrocknungsverläufe der drei untersuchten Varianten dargestellt. Das Belassen der alten Beschichtung behindert die Austrocknung sehr stark und führt demzufolge zur größten Austrocknungsdauer. Ihre Entfernung ist aber nur sinnvoll, wenn durch eine Hinterlüftung ein Austrocknen nach außen unbehindert möglich ist. Dies ist bei der Variante C realisiert. Die Dauer bis zum Erreichen der Ausgleichsfeuchte dauert in diesem Fall nur mehr ca. zwei Jahre.

**Bild 5:**  
Austrocknungsverlauf der Porenbetonwand für drei verschiedene Sanierungsvarianten



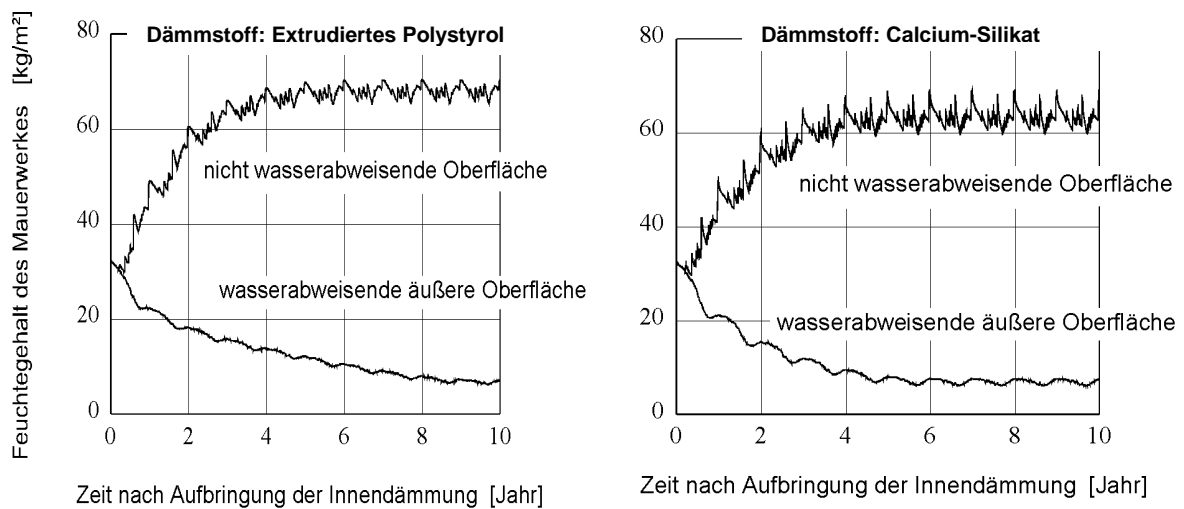
### 3.2. Sanierung von Ziegelmauerwerk mit einer kapillaraktiven Innendämmung

Bei der Verbesserung des Wärmedämmzustandes von steinsichtigem Ziegelmauerwerk ohne Veränderung der Fassade, ist der Einsatz von Innendämmungen eine mögliche Lösung. Zur Auswahl des Dämmmaterials und eventuell notwendiger begleitender Maßnahmen ist eine genaue Kenntnis der Entwicklung des Feuchtezustandes nach Durchführung der Sanierung entscheidend. Um einen realistischen Eindruck der zeitlichen Entwicklung des Feuchtezustandes einer innengedämmten Wand zu bekommen, wurden die Materialeigenschaften der Baustoffe untersucht und wiederum Simulationsberechnungen [6] durchgeführt. Durch solche Berechnungen kann der Wärme- und Feuchtetransport in Baukonstruktionen unter realen Klimabedingungen beschrieben werden. Innendämmungen können zur Kondenswasserbildung in der Konstruktion führen. Durch kapillare Feuchtetransportprozesse kann dieses Kondenswasser in einigen Fällen unschädlich abgeführt werden. Dazu eignen sich kapillarleitfähige Dämmstoffe. Tabelle 2 zeigt in einer Gegenüberstellung Polystyrol als Dämmstoff ohne kapillare Leitfähigkeit (Wasseraufnahmekoeffizient  $A=0$ ) und Calcium-Silikat als Dämmstoff mit kapillarer Leitfähigkeit ( $A= 1,6 \text{ kg / m}^2 \text{ s}^{1/2}$ )

**Tabelle 2: Wärmeleitfähigkeit, Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl und Wasseraufnahmekoeffizient von extrudiertem Polystyrol und Calciumsilikat.**

Dämmstoff	$\lambda$	$\mu$	A
	W / m K	-	$\text{kg / m}^2 \text{ s}^{0.5}$
EPS	0.04	40	-
Kapillaraktive Dämmung	0.05	3	1.6

Die Untersuchung der beiden Dämmstoffe bringt ein wichtiges Ergebnis. Zusätzlich zum Kondenswasser ergibt sich eine Belastung durch Witterungsfeuchtigkeit. Durch eine Innendämmung verringert sich die Verdunstung nach innen. Das kann bei Schlagregenbelastung zu höheren Feuchtigkeiten in den Außenwänden führen. In Bild 6 sind die Ergebnisse der Berechnung der Mauerwerksfeuchte dargestellt. Erkennbar ist, daß es in den Fällen mit einer nicht wasserabweisenden Oberfläche zu einer Erhöhung des Feuchtegehaltes des Mauerwerkes kommt. Dies wird durch die Verringerung der Austrocknungsmöglichkeit nach innen und durch die geringere Temperatur des Mauerwerkes verursacht. Im Fall der wasserabweisenden äußeren Oberfläche, z.B. durch Hydrophobierung, zeigt sich, daß es nicht zu einer Akkumulierung des kondensierenden Wassers kommt. Dies steht im Kontrast zu den herkömmlichen Berechnungsverfahren nach Glaser, da diese Verfahren den Kapillarwassertransport nicht berücksichtigen und damit die Austrocknungsmenge in diesem Fall unterschätzt wird.

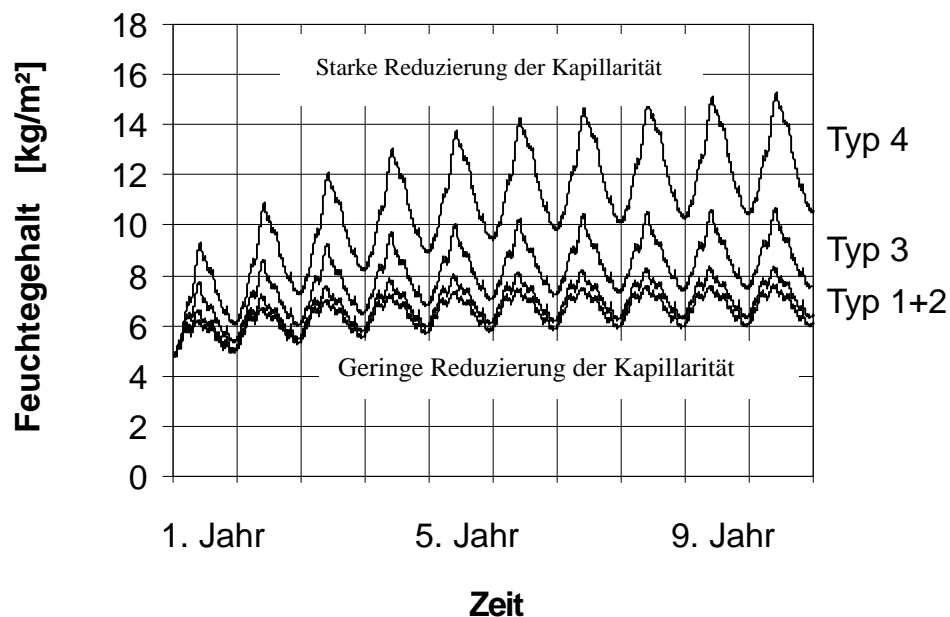


**Bild 6 : Zeitliche Entwicklung der Mauerwerksfeuchte**

### 3.3. Sanierplatte für feuchte und salzbelastete Wände

Die Sanierung von Wänden mit hohen Feuchtigkeitsgehalten und Salzbelastungen erfordert spezielle Maßnahmen, da durch eine Maßnahme der Feuchtigkeitsaustrag eher vergrößert als verringert werden sollte und mittransportierte Salze keine baustoffzerstörenden Prozesse entwickeln dürfen. Eine erfolgreiche Maßnahme ist die Verwendung von Sanierputz, ein Putz, der Salze über längere Zeit zerstörungsfrei einlagern kann, der aber auch die Verdunstung behindern kann. An der TU - Wien wurden Versuche durchgeführt, kapillarleitfähige Innendämmsysteme als Sanierplatte zu verwenden [7]. Damit eine Dämmplatte für diesen Zweck verwendet werden kann, muß das Material die Eigenschaft haben, durch eine nicht zu geringe Kapillarleitung und eine hohe Verdunstungsfähigkeit eine große Feuchtigkeitsabfuhr zu ermöglichen und mittransportierte Salze über längere Zeit zerstörungsfrei einlagern zu können. Damit eine kapillarleitfähige Platte Salze einlagern kann, ohne daß an der Oberfläche Salzausblühungen oder Zerstörungen auftreten, müssen die kapillaren Eigenschaften der Platte so verändert werden, daß Salze im Platteninneren auskristallisieren können, ohne die Platte zu zerstören und der Salztransport zur Oberfläche unterbunden wird. Dies kann auf unterschiedliche Weise bewirkt werden, z.B. durch komplette Hydrophobierung, durch Teilbehandlung mit unterschiedlichen Verteilungen und Gradienten oder durch Reduktion des Feuchtigkeitstransports durch Verringerung der Wasseraufnahme der Platte. Durch diese Veränderung der Eigenschaften können sich auch Veränderungen im Feuchtigkeitshaushalt

ergeben. Deshalb müssen zusätzlich zur Art und Weise der Salzeinlagerung und der Salzbelastung solcher Platten auch die Einflüsse auf den Feuchtigkeitshaushalt untersucht werden. Bild 7 zeigt den Feuchtigkeitshaushalt eines Innendämmsystems mit behandelten und somit salz widerstandsfähigen Platten. Durch Kondensation und Verdunstung verändert sich der Feuchtigkeitsgehalt. Haben die Innendämmplatten die Eigenschaft, entstehende Feuchtigkeit durch Kapillartransport und Verdunstung abzuführen, so bleibt der Feuchtigkeitsgehalt niedrig, wird diese Eigenschaft verringert, so kann der Feuchtigkeitsgehalt steigen.



**Bild 7 : Zeitabhängiger Feuchtigkeitsgehalt in einer Wand bei Verwendung von Innendämmsystemen mit unterschiedlichen Eigenschaften.**

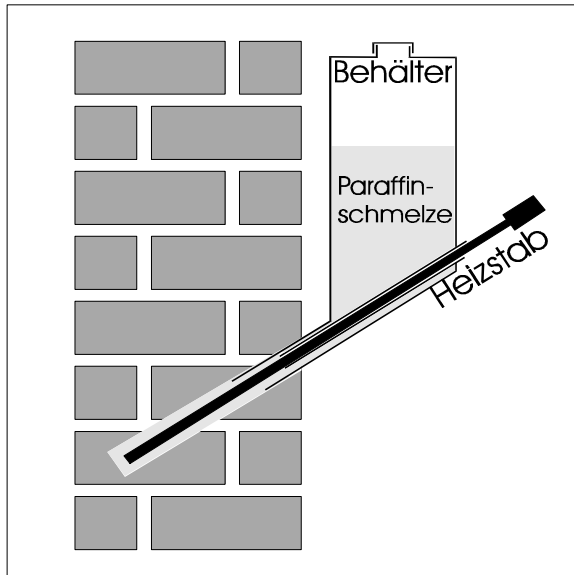
Die Darstellung veranschaulicht klar, daß nicht alle Behandlungen, die eine Platte salz widerstandsfähig machen, sich eignen. Die Beeinflussung der kapillaren Leitfähigkeit, wie sie bei den Typen 3 und 4 vorgenommen wurde, kann den Feuchtigkeitshaushalt so stören, daß der Feuchtigkeitsgehalt sich über Jahre kontinuierlich erhöht. Solche Behandlungen erweisen sich als ungünstig. Die Behandlungsarten 1 und 2 zeigen günstige Eigenschaften, da durch diese Behandlung der Feuchtigkeitshaushalt ausgeglichen bleibt und trotzdem eine Salzresistenz erreicht wird.

Die entwickelten Systeme wurden in umfangreichen Laboruntersuchungen getestet, wobei sich die vorliegenden Aussagen bestätigten. Ebenfalls in der Praxis durchgeführte Testsanierungen, z.B. Schloß Zell an der Pram, verlaufen bis jetzt sehr erfolgreich. Dem Ziel, eine optimale Einstellung kapillarleitfähiger Innendämmplatten zu erreichen, die sich auch für die Instandsetzung nässe- und salzgeschädigter Bauteile bestehender Gebäude eignet, sind wir durch die vorliegenden Untersuchungen ein deutliches Stück näher gekommen.

### 3.4. Entwicklung von Injektionsverfahren

Für die Errichtung nachträglicher Feuchtigkeitssperren gegen aufsteigende Feuchtigkeit in Mauerwerken existieren verschiedene Verfahren, bei denen das Schutzmittel mit oder ohne Druck eingebracht wird bzw. mechanische Methoden. Diese Verfahren beruhen auf unterschiedlichen Wirkprinzipien. Die Kapillaren werden hydrophobiert, verstopft oder getrennt, so daß ein kapillarer Feuchtigkeitstransport in diesem Bereich nicht mehr stattfinden kann.

Eine mögliche und bisher erfolgreich angewendete Methode zur nachträglichen Mauerwerksabdichtung ist die thermisch induzierte Porenfüllung mit Paraffin [8,9,10]. Wird Paraffin als porenschließendes Mittel verwendet, muß die Penetration durch eine Warmbehandlung unterstützt werden, da Paraffin nur im flüssigen Zustand durch kapillare Kräfte oder durch Druckunterstützung penetrieren kann. Deshalb muß das zu behandelnde Mauerwerk vorher oder begleitend auf eine Temperatur oberhalb der Schmelztemperatur des Paraffins aufgeheizt werden. Dieser Heizprozeß ist gleichzeitig ein Verdampfungs- und damit



**Bild 8 : Paraffininjektion zum Aufbau einer nachträglichen Feuchtigkeitssperre**

Trocknungsprozeß für das nässegeschädigte Mauerwerk. Paraffin ist kein definierter Stoff, sondern eine Zusammensetzung aus Kohlenwasserstoffmolekülen mit unterschiedlicher Kettenlänge und Verzweigungen. Es mußte deshalb ein Spezialparaffin, eine geeignete Extraktion mit geringer Viskosität und hoher Kapillarkraft, durch Destillation aus dem Rohstoff gewonnen werden, das in kapillar aktive Poren eindringen kann und einen sicheren Porenverschluß bewirkt. Dieses Spezialparaffin ist ein absolut umweltverträgliches Mittel, dessen Einsatz zu keiner hygienischen oder ökologischen Belastung von Bewohnern und Umwelt führt. Über das Funktionsprinzip dieses Verfahrens

wurde bereits mehrfach berichtet [8-10]. Um eine kontrollierte, aber intensive Erwärmung des Mauerwerks bei relativ niedrigen Temperaturen zu erreichen und gleichzeitig eine kontinuierliche Injektionsmittelzufuhr zu sichern, so daß das zu versiegelnde Mauerwerk stets die maximal mögliche Paraffinmenge aufnehmen kann, wurde eine Behältertechnik entwickelt. Bild 8 zeigt eine Darstellung der Injektionsvorrichtung. Bei den bisher durchgeführten Sanierungsmaßnahmen und Untersuchungen wurden bemerkenswerte Ergebnisse erreicht. Durch die Warmbehandlung wurde die Feuchtigkeit aus durchfeuchteten Wänden fast vollständig ausgetrieben, so daß sie nach der Paraffininjektion verputzt, gestrichen, d.h. in den normalen Nutzungszustand versetzt werden konnten. Eine Nachtrocknung ist nicht notwendig. Die Paraffinimprägnierung bewirkte eine extrem starke Verminderung der Wasseraufnahme. Wie Untersuchungen an der amtlichen Prüfanstalt für Steine und Erden Clausthal-Zellerfeld, der Technischen Universität Hamburg-Harburg und an der Technischen Universität Wien belegen, verringerte sich die Wasseraufnahme auf Werte unter ein (1) Prozent. Über die Standzeit der Trockenlegung mit Paraffin existieren Ergebnisse über vor 30 Jahren vorgenommene bauliche Maßnahmen ohne ein Nachlassen der Wirkungen. Auf Freilandversuchsstrecken laufen Untersuchungen zu biologischen Wirkungen auf paraffinimprägnierten Steinen. Es zeigen sich weder Begrünungen noch sonstige Veränderungen an den imprägnierten Teilen. Das vollständige Fehlen von Wasser in den porentief gefüllten Steinen läßt keine bzw. nur extrem verlangsamte biologische Wirkungen zu. Die hydrophobierende Wirkung des Paraffins hat einen schmutzabstoßenden Oberflächeneffekt. Untersuchungen zur Steinfestigkeit zeigten, daß durch die vollständige Porenfüllung der Verwitterungsprozeß unterbunden wird. Die Paraffinfüllung bewirkt weiterhin einen Anstieg der Druckfestigkeit von maroden, teilweise bereits geschädigten Steinen. Dabei konnten Festigkeitserhöhung von etwa 30 Prozent erreicht werden kann.

#### 4. Zusammenfassung

Viele Gebäude weisen einen unzureichenden Wärme- und Feuchtigkeitsschutz auf. Neben den Fragen der Instandsetzung und Heizkosteneinsparung sind auch hygienische Qualität, Behaglichkeit und ökologische Effekte wesentlich. Für eine nachhaltige Sanierung sind bei Instandsetzungen diagnostische Untersuchungen und eine angemessene Projektierung mit bauphysikalischen Simulationsrechnungen erforderlich.

In der Arbeit werden diagnostische Verfahren zur Beurteilung des Wärmeschutzes erläutert. Zur Beurteilung des Witterungsschutzes wird ein Meßprinzip vorgestellt, mit dem der Feuchtigkeitshaushalt von Fassaden direkt gemessen werden kann. Bei der Beurteilung des Innenklimas ist es häufig schwierig, die Einflüsse von Sanierungsmaßnahmen, Nutzer und Außenklima richtig einzuschätzen. Es wird gezeigt, daß mit Simulationsverfahren eine hinreichend genaue Beurteilung möglich ist. Zur Bewertung von Feuchtigkeitsbelastungen durch eindringende Erdfeuchtigkeit sind hinreichend genau die Feuchtigkeitsverteilung zu bestimmen, um die Ursachen eindeutig zu verifizieren.

Zur nachhaltigen Sanierung werden einige ausgewählte Beispiele geschildert, wie man aus diagnostischen Daten mit Hilfe von Simulationen das bauphysikalische Verhalten von Bauteilen prognostizieren kann. Für die Sanierung von Gasbetonelementen werden die Ergebnisse einer Variantenuntersuchung präsentiert. Der Wärmeschutz denkmalgeschützter Fassaden kann mit Innendämmsystemen verbessert werden. Es wird gezeigt, daß mit kapillarleitfähigen Dämmstoffen Kondensationsfeuchtigkeiten wirkungsvoll abgeführt werden können, so daß Kumulationseffekte nicht auftreten. Die Untersuchungen zeigen weiterhin eine wichtige Wechselwirkung zwischen Witterungsschutz und Innendämmung. Zur Sanierung von feuchtigkeits- und salzgeschädigtem Mauerwerk wird eine neu entwickelte Sanierplatte und ein Paraffininjektionsverfahren vorgestellt.

#### 5. Literatur :

- [1] ISO/DIS 9869 „Thermal insulation - Building elements - in-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance“
- [2] prEN 1934:1995 „Masonry - Measurement of thermal resistance - Hot box method using heat flow meter“
- [3] J.W. Dreyer, In situ Measuring of thermophysical properties of building materials and wall constructions, Insulation Materials: Testing and Applications: Third Volume, ASTM STP 1320, Graves and Zarr, Eds., American Society for Testing and Materials, 1997
- [4] J.W. Dreyer, D. Nicklas; In-situ-Messung des Wärmedurchlaßwiderstandes geschichteter Bauteile; Bauphysik; Vol.14; 1992; Heft 3
- [5] J.W. Dreyer, D. Nicklas; Experimentelle Untersuchung wärmetechnischer Eigenschaften von geschichteten Konstruktionen, Gesundheitsingenieur 113 (1992) Heft 1
- [6] H.M. Künzel, Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters, Dissertation Universität Stuttgart, 1994
- [7] J. Dreyer, C. Hecht: *Entwicklung einer Innendämmplatte für salz- und nässegeschädigte Bauteile*; WTA-Schriftenreihe. Heft 20 (1999), S. 187-197
- [8] J. Dreyer: Thermisch induzierte Injektion von feuchtegeschädigten Wänden mittels Paraffin, Bautenschutz + Bausanierung 14, 22-28 (1991)
- [9] L. Franke, H. Bentrup: Paraffininjektionsverfahren zur Trockenlegung von Mauerwerk - Beurteilung der Wirksamkeit; B + B 16, 5-8 (1993)
- [10] J. Dreyer: Conservation of Buildings by Filling of the Pores with Paraffin, IABSE - Symposium San Francisco, Part 2, 1223-1228 (1995)