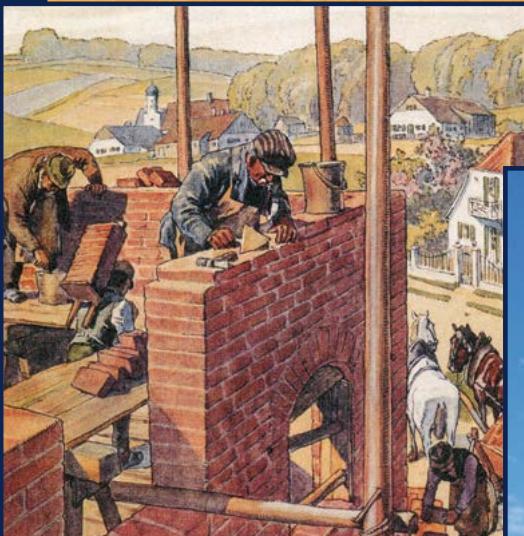


Helmut Künzel

Bautraditionen auf dem Prüfstand

**Die Entwicklung der Bauphysik
im Spannungsfeld zwischen
Tradition und Forschung**



Fraunhofer IRB ■ Verlag

Helmut Künzel

Bautraditionen auf dem Prüfstand

Die Entwicklung der Bauphysik im Spannungsfeld
zwischen Tradition und Forschung

Helmut Künzel

Bautraditionen auf dem Prüfstand

Die Entwicklung der Bauphysik im Spannungsfeld
zwischen Tradition und Forschung

Fraunhofer IRB Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8167-8996-3

ISBN (E-Book): 978-3-8167-8997-0

Redaktion: Manuela Walliér

Layout, Umschlaggestaltung: Martin Kjer

Umschlagsbild links: »Der Maurer« aus »Bauten, Dächer, Handwerker« von Walter Klein; Rechteinhaberin: H. M. Hauschild GmbH

Umschlagsbild rechts: Montage TES EnergyFacade; Rechteinhaber: Frank Lattke, Architekt BDA

Herstellung: Andreas Preising

Satz: Elstersatz, Wildflecken

Druck: freiburger graphische betriebe GmbH & Co. KG, Freiburg

Die hier zitierten Normen sind mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürfen. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© by Fraunhofer IRB Verlag, 2014

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

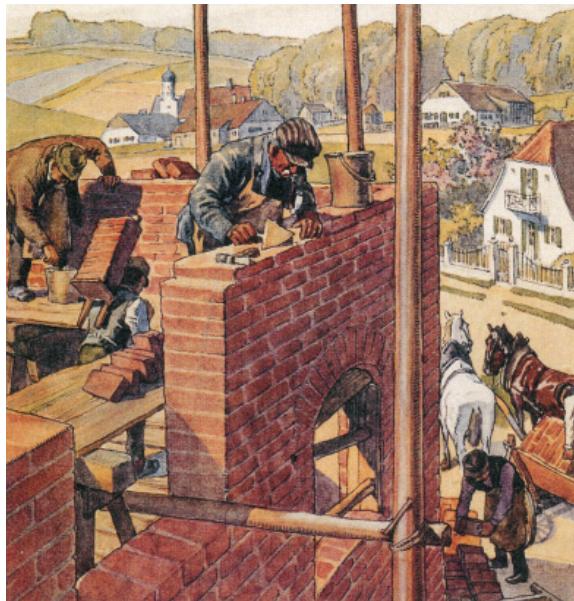
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 711 9 70-25 00

Telefax +49 711 9 70-25 08

irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de



Der Maurer.

*Wenn der Frühling wiederkehrt,
Und der Schnee verschwindet,
Ist der Maurer wieder froh,
Weil er Arbeit findet.
Früh beginnt er schon sein Werk,
Wirds im Morgen helle
Greift er nach dem Winkelmaß
Und nach seiner Kelle.
Drauf legt er Stein auf Stein,
Wirft den Kalk darüber.
Brennt das Pfeifchen in dem Mund,
Mauert er noch lieber.
Schnurgrad müssen Wände sein,
Darf drum nicht vergessen,
Mit dem Blei, dem Winkelmaß,
Oftmals nachzumessen.*

Paul Hey

aus: Walter Klein: Bauten, Dächer, Handwerker.
Bremen: H. M. Hauschild GmbH, 1996

Vorwort

Wohl in keiner Zeitepoche hat sich im Bereich des Bauens und Wohnens so vieles verändert wie seit der Mitte des 19. Jahrhunderts bis zur Gegenwart.

Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts war ein vorrangiger Gesichtspunkt die Festigkeit und Tragfähigkeit der Gebäudewände. Nicht selten kann man in alten Bauzeitschriften über den Einsturz von Gebäuden während der Bauzeit nachlesen. Neben dem zunächst hauptsächlich verwendeten Baustoff Ziegel wurden Anfang des 20. Jahrhunderts aus verschiedenen Gründen, die zu erörtern sind, andere Baustoffe und Bauarten eingeführt. Daraus folgten zunächst Probleme auf den Gebieten der handwerklichen Ausführung und der **Handwerkstechnik** allgemein.

Mit der Zunahme der Bevölkerung in den Städten durch die Industrialisierung im 19. Jahrhundert und dem dadurch bedingten engeren Zusammenleben der Menschen sowie höheren Wohnansprüchen kam mehr und mehr das ›gesunde Wohnen‹ in das Blickfeld, vor allem in Verbindung mit verschiedenen Möglichkeiten des Heizens und des Lüftens. Diese neue Richtung ging in die Literatur durch den Begriff **Gesundheitstechnik** ein.

Die weitere Entwicklung wurde durch die zwei Weltkriege in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts stark beeinträchtigt. In der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts war dafür der Nachhohlbedarf umso größer. Mit der Verwendung neuer Baukonstruktionen, insbesondere Konstruktionen aus Schichten mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften, traten Fragestellungen auf, die nicht unmittelbar das Befinden der Bewohner, sondern mehr das Funktionieren der Konstruktionen selbst betrafen (Vermeidung von Bauschäden). Auch die Wärmedämmung der Außenbauteile trat in den Vordergrund, zunächst aus Gründen der thermischen Behaglichkeit und dann vor allem zur Energieeinsparung. Es entstand der Wissenschaftszweig der **Bauphysik**.

Aufgrund dieser zeitlichen Entwicklung der Fragestellungen und Problembehandlungen wird das vorliegende Buch in drei Hauptabschnitte unterteilt, nämlich

- Handwerkstechnik,
- Gesundheitstechnik,
- Bauphysik,

wobei gewisse Überschneidungen nicht ausgeschlossen werden können.

Heute fallen alle behandelten Themen unter den Oberbegriff Bauphysik. Mit all diesen Themen habe ich mich im Laufe meiner beruflichen und nach-beruflichen Tätigkeit von mehr als 60 Jahren befasst und dabei rückschauend und durch Literaturstudien erkannt, wie manche Maßnahmen und Festlegungen von ursprünglichen Gesichtspunkten abgewandelt oder modifiziert worden sind. Unter dieser kritischen Betrachtungsweise ist der Titel des Buches »Bautraditionen auf dem Prüfstand« zu verstehen, wohl wissend, dass das hier Behandelte nicht die gesamte Bauphysik darstellt. Auch sind gewisse Ungleichheiten in der Ausführlichkeit verschiedener Themen zu erkennen, die mit dem Umfang der eigenen Arbeiten zusammenhängen, z.B. ein Schwerpunkt auf dem Gebiet der Putztechnologie.

Der Untertitel »Die Entwicklung der Bauphysik im Spannungsfeld zwischen Tradition und Forschung« hat sich erst im Laufe der Bearbeitung ergeben. Vielleicht wird das Bauen und Wohnen mehr von Traditionen, von Überkommenem, beeinflusst als andere Wissensbereiche und vielleicht macht das auch manche Umwege in der Entwicklung verständlich.

Die Darstellung eines so langen Zeitraumes, über den im Buch berichtet wird, erfordert ein Zusammensuchen und Ordnen von vielen Beichten und Bildern. Mitglieder des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP waren mir dabei behilflich, insbesondere Ingrid Großkinsky beim Auffinden vieler Bilder. Auch durch Auskünfte und Hinweise von Kollegen aus nah und fern wurde mir geholfen. Schließlich hat Manuela Wallißen vom Fraunhofer IRB Verlag Text und Bilder zu einem Ganzen schön zusammengefügt. Ihnen allen gilt mein herzlicher Dank und nicht zuletzt natürlich meiner lieben Frau für die gewährte »Frei-Zeit«, die auch anders zu verbringen gewesen wäre.

Valley, im Sommer 2013
Helmut Künzel

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
---------------	---

Entwicklungen im 19. bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts

1 Handwerkstechnik (Mauerwerk und Außenputz)	13
1.1 19. Jahrhundert bis zum Ersten Weltkrieg	13
1.2 Zwischen den beiden Kriegen	16
1.4 Richtlinien und Normen zum Außenputz	23
2 Gesundheitstechnik	25
2.1 Gesundes Wohnen	25
2.2 Feuchteschutz – Bauaustrocknung, Baufeuchte, Regenfeuchte ..	27
2.3 Wärmeschutz – Ausführung und Anforderungen	32
2.4 Heizen und Raumklima	39
2.5 Lüften und Luftwechsel	47

Weiterentwicklungen seit der Mitte des 20. Jahrhunderts (nach dem Zweiten Weltkrieg)

3 Bauphysik	59
3.1 Gründung der Freiland-Versuchsstelle Holzkirchen	59
3.2 Regenschutz durch Außenputze	60
3.3 Dispersionsanstriche und Kunstharsputze	72
3.4 Wärmedämmverbundsysteme und Wärmedämmputzsysteme ..	79
3.5 Leichtmauerwerk und Leichtputze	83
3.6 Messtechnische Ermittlung und Beurteilung der Entkopplungswirkung	87
3.7 ›Aufsteigende Feuchte	95
3.8 Luftsichten und Belüftung	100
3.9 Klimabedingter Feuchteschutz	111
3.10 Sommerlicher Wärmeschutz	115
3.11 Wasserdampfdiffusion	117

3.12	Wasserdampfsorption	118
3.13	Vollwärmeschutz und Mindestwärmeschutz	119
3.14	Lüften, Luftwechsel und Wohnungsschimmel	121
3.15	Weiterentwicklung der Messtechnik und der Rechentechnik	126
4	Beurteilung, Zusammenfassung und Folgerungen	129
	Anhang	139
	Die Entwicklung der einschlägigen Normen	139
	Literaturverzeichnis	145

Entwicklungen im 19. bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts

1 Handwerkstechnik (Mauerwerk und Außenputz)

1.1 19. Jahrhundert bis zum Ersten Weltkrieg

Bis um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert wurde zum Bau- en hauptsächlich Ziegelmauerwerk verwendetet, das eine tausende Jahre alte Tradition hatte. Bereits Vitruv schreibt im siebten Buch, 2. Kapitel, über Architektur [1], dass nicht mehr als 1½ Fuß dicke Ziegelwände üblich sind, damit »der Raum nicht zu enge werde«, die aber »nicht mehr als 1 Stockwerk tragen können« (ein römischer Fuß aus der Antike misst 29,6 cm, also etwas mehr als eine heutige Ziegel- länge). Der Vorteil eines Mauerwerks aus gleichmäßig geformten Steinen gegenüber Bruchsteinmauerwerk wird in einer Enzyklopä- die aus dem Jahr 1792 folgendermaßen beschrieben [2]: »Die irre- gulären und unförmigen Bruchsteine geben eine schlechte Mauer und eine Mauer von solchen Steinen ist schwer zu arbeiten, weil der Verband übel herauszubringen ist und weil die Steine wegen ihrer irregulären Form nicht gut aufliegen. Eine solche Mauer wird, wenn sie auch 1½ Ellen stark ist, nie die Dauer haben als eine Ziegelmauer, die nur 1 Elle stark ist. Die äu- ßerlichen Ansichten der Mauer können zwar eben gemacht werden, wenn man Steine aussucht, die wenigstens eine ebene Seite haben, inwendig aber bleiben sie allezeit höckerig und sind weniger Last und Erschütterung auszuhalten fähig als Ziegelsteinmauern. Übrigens ist zu einer solchen Mauer wegen der vielen Zwischenräume, welche die unebenen Steine verursachen, und die mit kleinen Steinen ausgefüllt werden müssen, eine große Menge Kalk nötig. Und dies macht sie kostbar.« Die Wanddicke war deshalb gleichbedeutend mit der ›Wandstärke‹, der Tragfähigkeit einer Wand (dick = stark).

Ziegelmauerwerk ist auch ein geeigneter Putzgrund: Der Ziegel schwindet nicht und seine Saugfähigkeit ermöglicht eine rasche Anfangsverfestigung des aufgetragenen Mörtels, andererseits aber auch eine günstige Feuchterückführung an den Putz mit dessen zunehmender Trocknung. Der Ziegel reguliert gewissermaßen den Feuchtehaushalt des aufgetragenen Putzes in günstiger Weise, was bei anderen Mauersteinen ggf. durch Spritzbewurf und/oder Nachfeuchten zu bewerkstelligen ist. Der Putz soll in erster Linie eine einheitliche Fassadenansicht gewährleisten, er soll Ungleichmäßigkeiten (z.B. bei

Vollziegelmauerwerk

**Verputzen von
Ziegelmauerwerk**

Bruchsteinmauerwerk) oder bei verschiedenen Materialien (z. B. Fachwerkwände) überdecken. Diese originäre Aufgabe des Putzes wird in der bereits erwähnten Enzyklopädie [2] folgendermaßen beschrieben: »*Bewerfen, Berappen, Abputzen heißt eine Mauer oder Wand mit Putz bekleiden, damit man weder die Steine noch das Holz siehet, woraus die Mauer oder Wand bestehet.*«

Steiformate

Durch Industrialisierung und Landflucht entstand im 19. Jahrhundert in den Städten eine zunehmende Wohnungsnot. Ein Grund dafür war u. a. das aufwendige Mauern mit kleinformatigen Steinen. Nach der Reichsgründung wurde 1872 für Ziegel das Reichsformat eingeführt, das die in den einzelnen deutschen Ländern gebräuchlichen, zum Teil unterschiedlichen Maße ablöste [3]. Das Reichsformat hatte die Abmessungen 250 × 120 mm (Länge × Breite) und unterscheidet sich nur gering vom heutigen Mauerziegel-Format nach DIN 105 (240 × 115 mm). Die Dicke von unverputztem Mauerwerk wurde üblicherweise nach den Steinformaten angegeben unter Berücksichtigung einer 1 cm dicken Mörtelfuge, z. B. 1-Stein dick = 25 cm, 1½-Stein dick = 38 cm, 2-Stein dick = 51 cm.

Bauen ein Transportproblem

Außerdem war das Transportieren von Baumaterial früher, bevor man gute Straßen und entsprechende Transportmöglichkeiten hatte, ein großes Problem. Gerne wurde daher Baumaterial von Abbruchbauten wieder verwendet. Nach der Säkularisation waren z. B. Steine von abgerissenen Klosterbauten ein willkommenes Material für nahe gelegene Neubauten. Bausteine des abgerissenen Klosters Wessobrunn dienten zum Wiederaufbau der durch einen Brand zerstörten Stadt Weilheim. Und das Kloster Benediktbeuern entging nur deshalb einem gleichen Schicksal, weil die Transportkosten nach München für Projekte des damaligen Hofbaurats Friedrich von Gärtner zu hoch erschienen [4]. Als Reaktion auf das Transportproblem entstand die Tendenz, von massivem Mauerwerk abzugehen und ›Hohlmauerwerk‹, das heißt Wände mit Luftsichten oder Hohlräumen zu entwickeln und zu verwenden, sogenannte Sparwände. Auch Mauersteine aus Leichtbeton (Schwemmsteine aus Bimskies oder Steine aus Hochofenschlacke) entstanden im Zuge dieser Entwicklung [5].

Vorteil von Fachwerkwänden

Die Beliebtheit des seit Jahrhunderten gebräuchlichen Fachwerkbaus ist wohl zum Teil auch auf den geringen Materialaufwand für die relativ dünnen aber ausreichend tragfähigen Wände zurückzuführen. Die Verwendung von Lehm zur Ausfachung hing sicher mit der nahen Verfügbarkeit dieses Materials aus der Baugrube zusammen. Die Wär-

medämmung war damals kein vorrangiger Gesichtspunkt, wesentlich war die Tragfähigkeit der Wände.

Über Putzschäden ist aus der Zeit des Vollsteinmauerwerks im Schrifttum nichts überliefert; die lokalen Handwerker haben sich offensichtlich auf die Bearbeitung der vorhandenen Materialien und Bindemittel nach ihren Erfahrungen eingespielt. Aber der Begriff ›Mauerfraß‹ ist in der Literatur zu finden.

Hammerl (ehem. Physikprofessor in Graz) und Kloss beschreiben in [6] den Mauerfraß, d. h. »*das immer weiter schreitende Abbröckeln der oberflächlichen Schichten des Verputzes und zuweilen auch des Ziegels selbst, wobei es mitunter zum Auftreten von weisslichen, büschelartig sich gruppierenden Kristallnadeln kommt. Verursacht wird diese Erscheinung durch das Vorhandensein größerer Mengen von salpetersauren Salzen oder Chlorcalcium im Mörtel und in den oberflächlichen Schichten der Ziegel. Diese Salze haben die Eigenschaft, beträchtliche Mengen von Wasserdampf aufzunehmen und wieder abgeben zu können. Bei nasser Witterung wird infolge der hygrokopischen Eigenschaft der Salze das Mauerwerk feucht, während bei trockener Luft die aufgenommene Wassermenge wieder abgegeben wird und die erwähnten Salze in Gestalt von Kristallnadeln für das Auge sichtbar werden. Dieses fortwährende Feucht- und Trockenwerden des Mauerwerks wirkt zerstörend auf dasselbe und führt ein allmähliches Abbröckeln der oberflächlichen Schichten herbei. Die erwähnten Salze kommen von vorneherein durch Verwendung von ungeeigneten, größeren Mengen von fauligen Substanzen enthaltendem Bauwasser in das Mauerwerk, oder sie finden nachträglich Gelegenheit einzudringen, was zum Beispiel der Fall ist, wenn durch schadhafte Abortabfallrohre Fäkalstoffe in die Umgebung austreten. Eine wirksame Abhilfe gegen den Mauerfraß ist nur schwer oder gar nicht möglich; ist der Prozess lokalisiert, so kann durch Auswechseln des ergriffenen Mauerwerks gegen neues, gesundes ein fortwährendes Weiterschreiten des Zerstörungswerkes verhindert werden.*«

Mecenseffy (ehem. Architekturprofessor in München) erwähnt in [7], »*dass bei unmittelbarer Bepflanzung am Haus, was gegen starke Besonnung im Hochsommer zweckmäßig sein kann, bedacht werden soll, die Keller- und Grundmauern gegen die Nachbarschaft fruchtbare Erde zu schützen. Die wichtigste davon ist die Bildung von Mauersalpeter (Mauerfraß) aus den faulenden Stickstoffkörpern des Humus und dem freien Kalkhydrat des Mörtels; dieses Salz ist äußerst wassersaugend und durchfeuchtet das ganze benachbarte Mauerwerk. Man führe daher die gefährdeten Teile in bestem Zementmauerwerk oder Grobmörtel [Beton, Anm. d. Verf.] aus und schütze sie*

Putzschäden

Mauerfraß und Mauersalpeter

gegen aussen durch Zementverputz und mehrmaligem Anstrich mit Asphalt oder Teer.«

Dieses Wissen ging aber zwischenzeitlich verloren, als die These eines Salzeintrags von unten her durch ›aufsteigende Feuchte‹ wegen einer fehlenden Horizontalsperre im Mauerwerk vertreten worden ist. Nach heutigem Wissen ist die Herkunft der Salze insbesondere auf die früheren hygienischen und sanitären Verhältnisse zurückzuführen (siehe auch Kapitel 3.7).

1.2 Zwischen den beiden Kriegen

Wohnungsnot, beginnende Bautätigkeit und Bauforschung

In den Jahren unmittelbar nach dem Ersten Weltkrieg war die Bautätigkeit zunächst sehr gering. Ein Fehlbedarf von einer Million Wohnungen erforderte dringendes Handeln. Insbesondere musste die Wirtschaftlichkeit des Bauens verbessert werden. Hierzu wurde 1921 der Deutsche Ausschuss für wirtschaftliches Bauen e.V. gegründet. 1927 stellte die Reichsregierung die für damalige Verhältnisse erhebliche Summe von zehn Millionen Reichsmark für Bauforschung bereit. Zur Verwaltung und Koordinierung der Aktivitäten wurde die Reichsforschungsgesellschaft für Wirtschaftlichkeit im Bau- und Wohnungswesen e.V. gegründet. In dieser Organisation war Dr. Wolfgang Triebel als Abteilungsleiter tätig, der nach dem Zweiten Weltkrieg das Institut für Bauforschung e.V. in Hannover leitete. Er hat in seinem Buch »Geschichte der Bauforschung«, auf das hier Bezug genommen wird, die Entwicklung der Bauforschung und insbesondere der Rationalisierung beschrieben, die in der Vergangenheit zu wenig berücksichtigt wurden war [8].

Sparwände

Wie bereits erwähnt, wurden nach dem Ersten Weltkrieg ›Sparwände‹ entwickelt. Drei Beispiele solcher Wände sind in Bild 1 zu sehen. Auch Hochloch- und Langlochziegel (Letztere mit horizontalen Lochreihen) entstanden damals aus diesem Gesichtspunkt. Diese Wände waren somit ursprünglich zur Gewichtseinsparung entwickelt worden, nicht primär zur Verbesserung des Wärmeschutzes, wie wir aus heutiger Sicht vermuten würden. Gegenüber einer 38 cm dicken Vollziegelwand brachten solche Wände 30 bis 40 % Materialeinsparung. Schüttbetonwände aus Leichtbeton oder Einkornbeton, in Schalungen hergestellt, und Wände aus Fertigteilen waren neue Entwicklungen. Ergebnis dieser Experimentierphase mit Sparwänden war die Erkenntnis, dass Wände aus Hochlochziegeln wirtschaftlicher

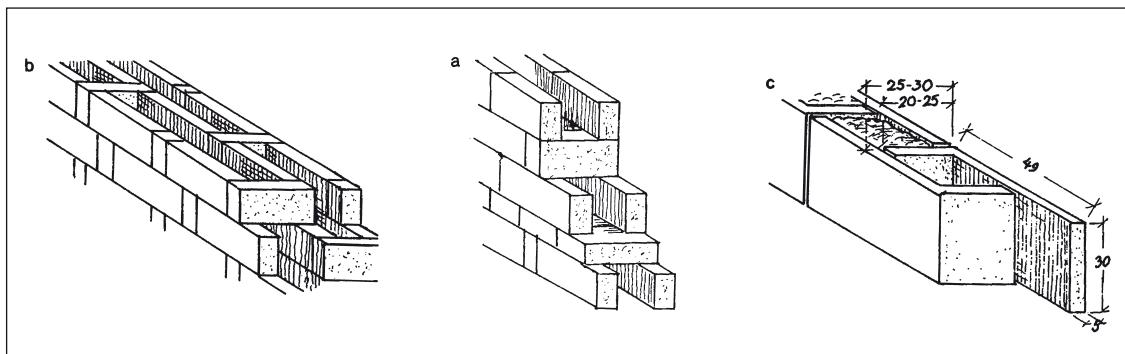


Bild 1: Drei Beispiele von Sparwänden 1920/23, nach Triebel [8]

zu verarbeiten sind als ›Schalenwände‹ und dass Hochlochziegel günstiger sind als Langlochziegel. Verblieben ist von den Sparwänden die zweischalige Wandbauart mit Luftsichtschicht oder neuerdings mit Kerndämmung als regensicheres Sichtmauerwerk, vorwiegend in Norddeutschland.

Die Aufbruchstimmung, die nach dem Ersten Weltkrieg durch die Wohnungsnot und als Reaktion auf die Baumethoden und die Architektur des 19. Jahrhunderts entstanden ist, führte zu neuen Ideen in der Architektur, die mit den Namen Mies van der Rohe, le Corbusier, Walter Gropius, Richard Döcker, Hans Scharoun und anderen in Verbindung stehen. Organisationen wie »Bauhaus« und »Werkbund« manifestieren die neue Sicht und Entwicklung. Zu den bekanntesten Baudenkmalen dieser Architektur gehören die Häuser der Weißenhof-Siedlung bei Stuttgart. Sechzehn Architekten aus fünf europäischen Ländern demonstrierten dort ihre Vorstellungen vom Wohnen der Zukunft. Es entstanden Bauten, die man als avantgardistisch bezeichnet: andere Bauformen, flache Dächer, variable Zwischenwände, Verwendung von vorgefertigten bzw. großflächigen Wandteilen. Als ein Beispiel ist in Bild 2 das Haus von Hans Scharoun abgebildet, das für uns heute – im Gegensatz zu damals – nicht außergewöhnlich erscheint. Bezeichnend für die Begeisterung und den Elan des Schaffens ist die kurze Zeit des Aufbaus der Weißenhof-Siedlung. Im Frühjahr 1926 schrieb die Stadt Stuttgart diese Mustersiedlung aus und im Winter 1927/28 konnten die Häuser bezogen werden, trotz der Neuartigkeit der Bauausführungen und der verschiedenen beteiligten Architekten!

**Bauhaus, Werkbund,
Weißenhof-Siedlung**



Bild 2: Haus der Weißenhof-Siedlung, Hözelweg 1, Architekt Hans Scharoun. Beispiel eines Einfamilienhauses, Stahlbeton-Skelettbau mit Thermosplatten-Ausfachung, außen verputzte Bimsbetondielen, innen Gipsdielen. (Foto: Karin Kirsch)

›Neues Bauen‹

Die Abkehr von konventionellen Baustoffen und Baumethoden fasste man in dem Begriff ›Neues Bauen‹ zusammen. »Die Lehre vom Neuen Bauen« war auch der Titel eines Buches, das 1932 veröffentlicht worden ist [9]. Das ›Neue Bauen‹ bestand zunächst in neuen Ideen, für deren konkrete Ausführung aber die Erfahrungen und die erforderlichen technologischen Kenntnisse fehlten. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass Bauschäden aufgetreten sind, die Nachbesserungen erforderlich machten und die Begeisterung für die neuen Methoden dämpften. In dem genannten Buch [9] wurde schon darauf hingewiesen, »dass in dem Streben, etwas Neues zu zeigen, die nötige Vorsicht außer Acht gelassen worden ist.« Man hat dies damals als ›Kinderkrankheiten‹ der neuartigen Verfahren bezeichnet. Diese Mängel wären sicher zu korrigieren gewesen, hätte nicht der Zweite Weltkrieg diese Entwicklung vorerst abrupt beendet.

Art der Schäden

Als Art der Schäden allgemein (nicht nur bei der Weißenhof-Siedlung) beschreibt Triebel in [8] u. a. Risse in Gussbetonwänden und Putzrisse bei Mauern aus Hohlblocksteinen. Das Schwinden von großformatigen Gussbetonplatten wurde nicht berücksichtigt und nicht belüftete Flachdächer sind ohne raumseitige Dampfbremse ausgeführt worden. Zur Nachbesserung mussten in manchen Fällen Wandbekleidungen oder Vormauerschalen zur Verbesserung des Regenschutzes angebracht werden bzw. Zusatzdämmungen zur Erhöhung des Wärmeschutzes.

Putzuntersuchungen auf Anregung von Prof. Graf

Die Ursache von Putzschäden an neu eingeführten Wandbauarten zu ermitteln und Richtlinien für die zweckmäßige Ausführung von Außenputzen zu erarbeiten war ein besonderes Anliegen von Prof. Otto

Graf (TH Stuttgart, Bild 3). Er veranlasste kurz vor dem Zweiten Weltkrieg Untersuchungen im damaligen Reichsgebiet zwischen Aachen bis Wien und Königsberg bis Konstanz. Beratend wirkten viele bekannte Persönlichkeiten aus dem Bereich Hochbau mit, u. a. die Professoren Hummel und Walz sowie Ministerialrat Wedler (später Wohnungsbauministerium). Die Ergebnisse und erarbeiteten Richtlinien wurden 1947 vorgestellt. Eine allgemeine Veröffentlichung erfolgte erst 1950 durch Ferdinand Kaufmann [10]. Die damalige Situation und die gewählte Vorgehensweise beschreibt Kaufmann in der genannten Veröffentlichung einleitend folgendermaßen: »*Die landschaftlich so verschiedenen Gepflogenheiten bei der Herstellung der Außenputze und die leider häufigen Schäden am fertigen Bauwerk veranlassten Professor Graf, über die Bautechnische Auskunftsstelle [Vorgängerin des Fraunhofer-Informationszentrums Raum und Bau IRB, Anm. d. Verf.] Richtlinien für die zweckmäßige Ausführung von Außenputzen aufzustellen und vorzuschlagen. Mit den zugehörigen Arbeiten wurde bereits 1941 begonnen. Nach der Sammlung des wichtigsten Schrifttums ist 1942 mit einem Fragebogen bei zahlreichen Hochbauämtern und Fachmännern die örtlich übliche Art der Putzherstellung ermittelt worden.*«

In den an 29 Stellen verschickten Erhebungsbögen wurde vor allem nach den üblichen Putzgründen, Bindemitteln, Sanden und Oberflächenbehandlungen gefragt. Eine große Bedeutung wurde damals der Kornzusammensetzung des Sandes, der sogenannten Sieblinie, zuerkannt. Richtwerte für geeignete Sandkörnungen sind in Bild 4 angegeben. Günstig sind hiernach gemischtkörnige Sande, wobei zwischen Zementputzen und Kalkputzen unterschieden wird. Mit zu feinkörnigen Sanden kann die Festigkeit und Dichte des Mörtels ungenügend werden und bei zu grobkörnigen Sanden lässt sich der Mörtel schlecht verarbeiten. Als Schlussfolgerung schreibt Kaufmann: »*Trotz großer Mannigfaltigkeit in der Art der Putze und ihrer Herstellung in großen Gebieten ist verhältnismäßig gleichartig verfahren worden. Es ist hiernach nicht aussichtslos, wenn eine weitere Vereinheitlichung und Vereinfachung angestrebt wird, damit jeweils das beste Verfahren sich durchsetzt und die Güte, das Aussehen und die Haltbarkeit der Putze den zu stellenden Anforderungen noch mehr als bisher genügen. Hierzu ist es allerdings nötig, dass die technischen Eigenschaften eines Putzes, die unter den verschiedenen Bedingungen und klimatischen Verhältnissen zu verlangen sind, eindeutiger als bisher festgelegt werden.*«

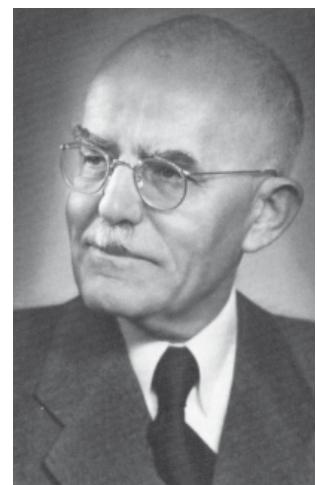
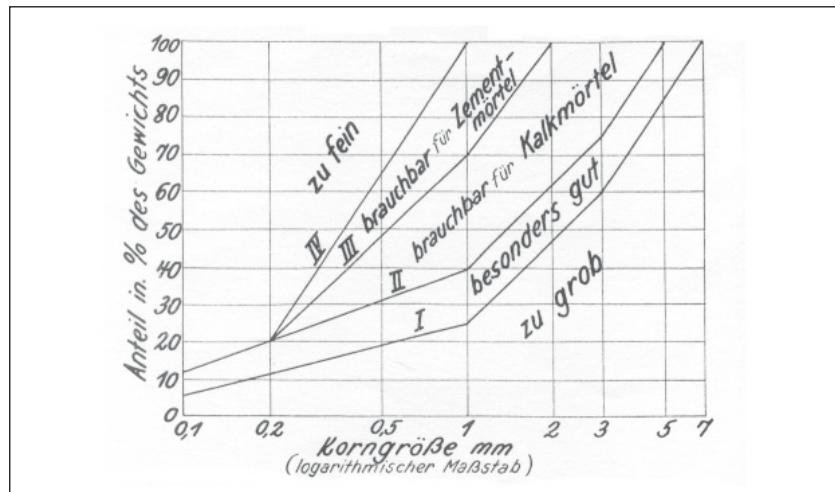


Bild 3: Prof. Dr. Otto Graf (1881–1956). Nach ihm wurde später das Materialprüfungsamt der TU Stuttgart benannt.

Bild 4: Vorschläge der Korngrößenverteilung von Putzsanden für verschiedene Putzsande, nach [10]



1.3 Situation nach dem Zweiten Weltkrieg

Weitere Ermittlungen zur Ausführung von Putzen

Das Problem Außenputz beschäftigte die Fachwelt weiterhin, weshalb 1956 vom Beirat für Bauforschung beim Bundesminister für Wohnungsbau eine besondere Arbeitsgruppe zur Koordinierung und Betreuung von Forschungsaufgaben auf dem Gebiet des Mörtels und Putzes gebildet worden war. In Abstimmung mit diesem Gremium wurden in den Jahren 1957 und 1958 in ähnlicher Weise wie zuvor von der Bautechnischen Auskunftsstelle Erhebungen in den westlichen Bundesländern durchgeführt, die von Piepenburg unter dem Titel »Entstehen und Verhalten ortsüblicher Außenputze« 1963 veröffentlicht worden sind [11]. Von neun Materialprüfämtern bzw. Bauforschungsstellen in den westdeutschen Bundesländern wurden Erhebungen über die Durchführung der Putzarbeiten an jeweils etwa fünf Bauvorhaben durchgeführt. Die Vorgehensweise beim Verputzen wurde genau erfasst sowie die Sieblinien der verwendeten Sande, die damals als ein wichtiges Kriterium betrachtet worden sind. Der Bericht stellt somit eine Bestandsaufnahme über die damaligen Verhältnisse dar und zeigt eine völlig andere Situation, als wir sie heute haben. Folgendes war – kurz zusammengefasst – das Ergebnis:

Putzausführung

- Das Mischen des Mörtels erfolgte etwa zu gleichen Teilen mit Hand und mit dem Freifallmischer, selten mit einem Zwangsmischer. Das Mischen von Hand wurde in seltenen Fällen sogar auf dem gewachsenen Boden ohne feste Unterlage durchgeführt.

- Das Zumessen der Mörtelstoffe erfolgte nach Raumteilen, wobei die Sandmenge meist durch die ›Schaufelanzahl‹ beigegeben wurde, die bei trockenem und feuchtem Sand naturgemäß zu unterschiedlichen Mengen führte. Gleichmäßige Mischungsverhältnisse waren dabei bei verschiedenen Mörtelchargen nicht zu erwarten.
- Die handwerklichen Kenntnisse und Fähigkeiten waren in den Bundesländern sehr unterschiedlich: Im Norden wurde das Verputzen von den Maurern ausgeführt, die bessere Kenntnisse im Mauern und Verfugen hatten als im Verputzen. In Süddeutschland hingegen hatte das Verputzen eine Tradition durch den eigenen Berufsstand der Gipser.

Dies sei noch ergänzt durch die Gegenüberstellung zweier Bilder von Ziegelmauerwerk aus dem Bericht und heutiger Art (Bilder 5 und 6). Dass trotz der geschilderten Verhältnisse im Großen und Ganzen keine schlechten Ergebnisse (nach damaliger Meinung) erzielt worden waren, erklärt Piepenburg folgendermaßen: »*Die Putzer haben sich auf ihren Sand eingestellt und wissen, mit welchem Mischungsverhältnis sie bei den verfügbaren Bindemitteln zu arbeiten haben. So gelingt es, mit jedem dieser sehr verschiedenen Sande einwandfreie Außenputze herzustellen.*«



Bild 5: Ziegelmauerwerk aus dem Bericht [11], dem eine schlechte Verfüllung der Stoßfugen attestiert worden ist.



Bild 6: Heutiges Ziegelmauerwerk von gleichem Flächenausschnitt wie bei Bild 5. Neben der Perimeterdämmung fällt der geringe Fugenanteil auf.

Einfluss Sieblinie Sand

Damals wurde – wie bereits erwähnt – der Kornzusammensetzung des Putzsandes große Bedeutung beigemessen. Auch bei den ersten vergleichenden Putzuntersuchungen auf dem Versuchsgelände Holzkirchen wurden Außenputze untereinander verglichen, die sich nur durch die Kornzusammensetzung der verwendeten Sande unterschieden hatten. Da der Putzmörtel damals auf der Baustelle aus im Freien gelagertem Sand hergestellt worden war, der je nach Wetter unterschiedlich nass sein konnte und daher unterschiedliche Mengen Anmachwasser benötigte, erschien die Zugabe eines Zusatzmittels zum Anmachwasser keine sichere Möglichkeit zur gezielten Beeinflussung der Saugfähigkeit eines Putzes (Bild 7). Man versuchte deshalb, die Eigenschaften des Außenputzes durch eine geeignete Sieblinie des Sandes zu optimieren. Günstig erschien ein gemischtkörniger Sand, der Mörtel mit einem dichteren Gefüge ohne zu viel Bindemittel ermöglichte gegenüber einem mehr einkörnigen Sand [12].

Mitte der 1950er-Jahre wurden deshalb in der Freilandversuchsstelle Holzkirchen (siehe hierzu Kapitel 3.1) Untersuchungen an Wänden (Wetterseiten) von Versuchshäusern durchgeführt mit am Ort hergestellten Kalkzementputzen aus folgenden Sandkörnungen:

Münchener Sand mit einer gleichmäßig verteilten Körnung zwischen 0 und 5 mm und einer Saugfähigkeit des Putzes von $w = 1,85 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$,



Bild 7: Mörtelbereitung auf der Baustelle in den 1950er-Jahren auf dem Versuchsgelände Holzkirchen. In der Mörtelpfanne wurde aus dem daneben aufgehäuften Sand mit Sumpfkalk und Zementzugabe der Mörtel gemischt.

Kölner Sand mit 90 % Körnung unter 1 mm und einer Saugfähigkeit des Mörtels von $w = 2,45 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$.

Die Ergebnisse bestätigten, dass durch die Art der Körnung die Putzstruktur und damit die Saugfähigkeit beeinflusst werden können. Die Saugfähigkeit war aber in beiden Fällen für die gegebene Regenbeanspruchung zu hoch und der Putz aus feinkörnigem Sand war deutlich rissanfälliger. (Diese Untersuchungen über den Einfluss der Sandkörnung auf die Putzeigenschaften in der Freilandversuchstelle – siehe Kapitel 3 und [46] – wurden vorgezogen, passend zu dem Thema in diesem Kapitel).

1.4 Richtlinien und Normen zum Außenputz

Die von Otto Graf veranlassten Erhebungen über das Verputzen von Mauern, quasi als Bestandsaufnahme des Ist-Zustands, führten bereits vor Erscheinen der Putznorm zu allgemeinen Richtlinien. Folgendes ist in [10] zu lesen: »Beim Auftragen des Oberputzes muß der Unterputz rauh und noch genügend feucht sein. Der Oberputz darf nicht fester als der Unterputz sein.« In den Erläuterungen zu den Richtlinien finden sich dazu folgende Erklärungen: »Meist wird verlangt, dass der Oberputz weicher und nachgiebiger sein soll als der Unterputz, damit die Wärmedehnungen, ferner das Schwinden und Quellen keine übermäßigen Spannungen verursachen.«

Über die Dichte von Außenputzen wird Folgendes vermerkt: »Die Terranova Industrie hat bewusst den porösen und luftdurchlässigen Mörtel entwickelt und empfohlen und darauf hingewiesen, dass die dichtesten Putzflächen, Zementabglättungen und mit Ölfarbe gestrichene Putzflächen häufig höchstselbständige Bewegungen ausführen und herunterfallen. Es sollte geradezu zum Prinzip werden, daß die obere Schicht nicht härter sein darf als die untere.« (Im letztgenannten Fall spielen allerdings diffusions-technische Ursachen mit eine Rolle, die damals nicht berücksichtigt worden sind).

Ähnlich war die 1951 veröffentlichte Putzregel der Arbeitsgemeinschaft für wirtschaftliches Bauen in Bremen formuliert [13]: »Bei einem zweilagigen Putz soll der Unterputz ziemlich fest sein, damit er genügend hält, und soll rasch abbinden, damit nicht zu lange mit dem Oberputz gewartet zu werden braucht. Der Unterputz soll rauh sein, damit der weniger feste und nicht zu ‚fette‘ Oberputz gut auf ihm hält.«

In diesen Fällen, die ähnlich wohl auch in anderen regionalen Darstellungen zu finden sind, werden somit unter den damaligen Gegebenheiten ein fester Unterputz und ein weicherer Oberputz empfohlen. Folgerichtig fordert die erste deutsche Putznorm DIN 18550 aus dem Jahr 1955 etwa das Gleiche, nämlich: »*Grundsätzlich gilt die Regel, dass der Unterputz mindestens so fest sein muss wie der Oberputz.*« Aus dem ›Soll‹ in der Bremen-Regel von 1951 ist allerdings ein ›Muss‹ geworden. Die gleiche Anforderung an den Putzaufbau enthält auch die Folgeausgabe der Putznorm von 1967.

Diese Regel wird kurz als Putzregel ›weich auf hart‹ bezeichnet. Sie ist – wie ausführlich dargelegt – auf ausführungstechnische und praktische Gesichtspunkte zurückzuführen und nur dadurch begründet. Demgegenüber werden in der 1985 erschienenen Folgenorm der DIN 18550 zu dem Putzaufbau ›weich auf hart‹ bauphysikalische Erklärungen gegeben, die jedoch nicht auf Untersuchungen zurückgingen, aber der Aussage einen wissenschaftlichen Hintergrund und dadurch eine größere Bedeutung gegeben haben. Dies hatte zur Folge, dass spätere Entwicklungen von Putzen, die von dieser Regel abwichen, zwar nicht verhindert, aber doch verzögert worden sind, weil sie nicht ›normgerecht‹ erschienen.

Die erwähnte wissenschaftliche Begründung zur Festigkeitsabstufung zwischen den Putzlagen sowie dem Putz und dem Putzgrund lautete in den 1985er-Normen (Teile 1 und 2): »*Die Eigenschaften der verschiedenen Putzlagen eines Systems sollen so aufeinander abgestimmt sein, dass die in den Berührungsflächen der einzelnen Putzlagen und des Putzgrundes z. B. durch Schwinden oder Temperaturdehnungen auftretenden Spannungen aufgenommen werden können. Diese Forderung kann bei Putzen mit mineralischen Bindemitteln im Allgemeinen dann als erfüllt angesehen werden, wenn die Festigkeit des Oberputzes geringer als die Festigkeit des Unterputzes ist oder beide Putzlagen gleich fest sind.*« (DIN 18550-1, Abschnitt 5.1).

Und: »*In begründeten Fällen kann ein Putzsystem gewählt werden, das von den vorstehenden Grundsätzen abweicht. Die Eignung derartiger Systeme ist durch Erfahrung zu begründen oder durch probeweise Putzausführung die langfristig zu beobachten ist, nachzuweisen. Bei der Festigkeitsabstufung zwischen dem Putzgrund und dem Unterputz ist diese Regel sinngemäß anzuwenden.*« (DIN 18550-2, Abschnitt 4)

2 Gesundheitstechnik

2.1 Gesundes Wohnen

In den bisherigen Kapiteln wurden die Änderungen von Mauerwerk und Putz gegenüber der überkommenen Bautradition geschildert, die zu dem Begriff ›Neues Bauen‹ geführt haben. Die gleichen Ursachen – nämlich Industrialisierung, Bevölkerungszunahme und Wohnungsnot – hatten auch Veränderungen in den Wohnverhältnissen zur Folge. Hinzu kamen Weiterentwicklungen auf allen Gebieten der Wissenschaft und Technik, wodurch sich für den Bereich des Wohnens zu Beginn der Jahrhundertwende der neue Begriff ›Gesundheitstechnik‹ gebildet hat.

Hygienische und gesundheitliche Unzulänglichkeiten in den vorangegangenen Zeiten waren verständliche Anlässe hierzu. Mitte des 19. Jahrhunderts wurde die Bevölkerung in mehreren deutschen Städten durch Choleraepidemien aufgeschreckt. In München wütete die Cholera in den Jahren 1836, 1854 und 1873 besonders stark und raffte Tausende dahin, darunter auch Königin Therese, Gattin von Ludwig I., nach der die Theresienwiese genannt ist, auf der jedes Jahr das Oktoberfest stattfindet. Max von Pettenkofer hat zwar die medizinische Ursache dieser Epidemien nicht erkannt, aber er hat die richtige Abhilfe gefunden, nämlich Herleitung von Trinkwasser aus dem Alpenvorland und Verbesserung der Abwasserbeseitigung in München durch Schwemmmkanalisation. Dadurch wurde München »eine der gesündesten Städte des Erdballs«. Pettenkofer erhielt schließlich an der Universität in München den ersten Hygiene-Lehrstuhl in Deutschland [39]. Über dessen Forschungen auf dem Gebiet des Lüftens wird in Kapitel 2.5 eingegangen.

Die Freude und Dankbarkeit der Menschen für die Verbesserung der hygienischen Verhältnisse geht daraus hervor, dass im Einzugsgebiet des Münchener Trinkwassers ein Denkmal für den dort einst gesprudelten Bach errichtet worden war, ein Denkmal durch einen Obelisken, wie es damals nur für gewonnene Kriege oder verdienstvolle Menschen üblich war (Bild 8). Aber schließlich entsprach die Besiegung der Cholera damals wirklich einer gewonnenen Schlacht. Dieses einmalige Denkmal für einen Bach steht aber für viel mehr: Es steht für eine neue Hoffnung im ausgehenden 19. Jahrhundert, das mit den

Cholera-Epidemien

Ein Denkmal für gutes Wasser

Bild 8: Denkmal für den Kasperlbach im Mühlthal (Mangfalltal), Gemeinde Valley bei Holzkirchen. Auf der Tafel am Fuß des Obelisken ist folgender Text eingemeißelt:

»Hier trat der sogenannte Kasperlbach, welcher zwei Mühlen trieb, zu Tage, bis derselbe zu der Wasserversorgung der Stadt München mit weiteren Quellen des Mangfallthales in den Jahren 1881–1883 gefasst und unterirdisch abgeleitet wurde«



Napoleonischen Kriegen begonnen hat, dann zu enormen Fortschritten in der Industrialisierung geführt hat (Gründerjahre), aber auch zu Wohnungsnot und Krankheit. Der Wunsch und die Hoffnung auf gesundes Wohnen bewegten damals die Menschen in zunehmendem Maße. Die Technik breitete sich auch auf den Wohnbereich aus; eine 1879 gegründete Fachzeitschrift erhielt daher den Namen »Gesundheits-Ingenieur«.

Schlechte Luft/ Frischluftfanatiker

Der Wunsch nach gesundem Wohnen war ›grenzüberschreitend‹ vorhanden. Über die Verhältnisse in England schreibt z.B. Witold Rybczynski [14]: »Unter den im 19. Jahrhundert erschienenen Büchern über die Gestaltung von Wohnhäusern gab es keines, das nicht wenigstens ein Kapitel über Lüftungstechnik und die üblichen Folgen schlechter Luft enthalten hätte. Die Engländer des viktorianischen Zeitalters waren ›ausgesprochene Frischluftfanatiker [...]‹. Um gesund zu bleiben, entflohen sie den Küchengerüchen und rauchenden englischen Kaminen, erfanden das Radfahren und Turnen und schließlich die ›Sommerfrische am Meer.‹« Der Wunsch zu gesundem Leben hatte damals auch die Gründung verschiedener Jugendbewegungen zur Folge, wie Wandervogel, Pfadfinder und andere.

Auch die Kubatur der Wohnungen wurde mit gesundheitlichen Aspekten in Verbindung gebracht. Damalige Wohnungen der ›begüterten Klasse‹ bestanden aus größeren und vor allem höheren Räumen als heute üblich. Zum einen waren die Familien einschließlich Dienstpersonal größer und zum anderen verlangten damals übliche, repräsentative, schwere Möbel größere und höhere Räume, um zur Wirkung zu kommen. Der ›domestikenlose Haushalt‹ [14] und die Kostenentwicklung machten dagegen eine Verkleinerung der Zimmer notwendig. In dem Buch »Das Einzelwohnhaus der Neuzeit« aus dem Jahr 1907 [15] wird Folgendes ausgeführt: »Große Zimmer wirken unbehaglich, man erkaufte die Wirkung des Hauptraumes zu teuer. Niedrige Räume wirken dagegen durchaus behaglich. Wir haben in der Absicht, den Bewohnern gute Luft im Zimmer zuzuführen, zur Erzielung eines großen Kubikinhalt, die Zimmer immer höher gemacht. Da aber die neueren wissenschaftlichen Untersuchungen nachweisen, dass die Luft nur bis zu mäßiger Höhe im Zimmer mit verbraucht wird, sollten wir mehr darauf bedacht sein, den nötigen Rauminhalt in der horizontalen Entwicklung zu schaffen und dafür niedriger bauen. Und da im Einzelwohnhaus die Luftmengen meist recht reichlich sind, könnte man in den meisten Fällen auch ohne Flächenvergrößerung niedriger bauen.«

Einfluss der Raumgröße auf die Luftqualität

Ein Zusammenhang zwischen der Raumhöhe und der Belegungsdichte geht auch aus folgender Formulierung in einer Schrift aus dem Jahr 1909 hervor [16]: »Während bei großen Häusern die geringste lichte Stockwerkshöhe in der Regel 3 m betragen soll, kann sie beim kleinen Hause und besonders beim Einfamilienhause – wegen der minder dichten Bewohnung – bis auf 2,85 m ermässigt werden.« Daraus geht hervor, welche Bedeutung man guter Luft in Wohnräumen beigemessen hat.

Aus den damaligen gesundheitlichen Aspekten und den jeweiligen bautechnischen Verhältnissen und Gegebenheiten sind die nachfolgend beschriebenen Entwicklungen entstanden.

2.2 Feuchteschutz – Bauaustrocknung, Baufeuchte, Regenfeuchte

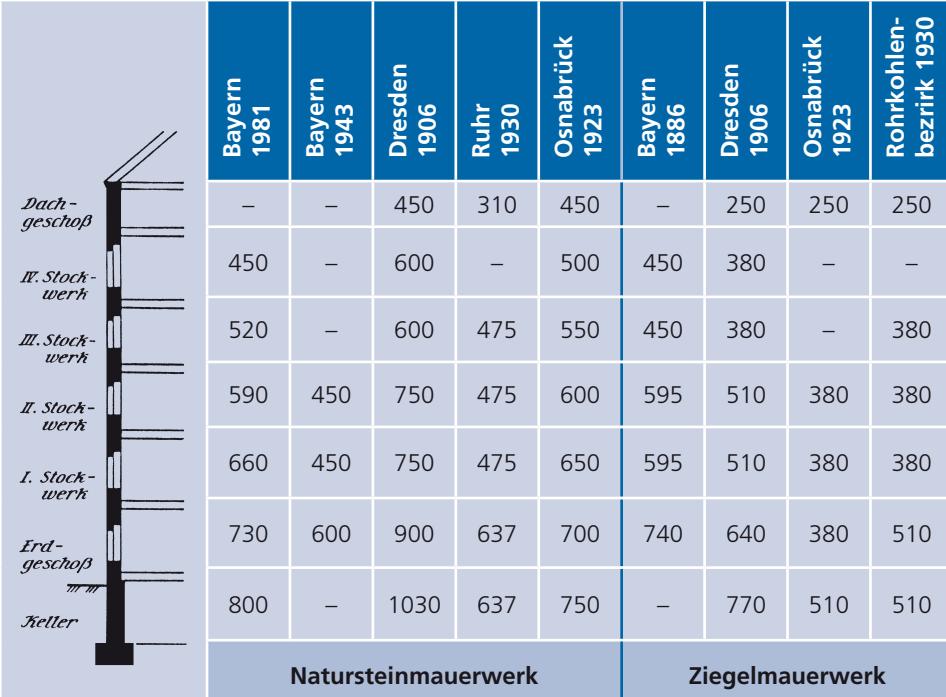
Die Dicke der Außenwände wurde früher allein nach der Tragfähigkeit dimensioniert, ohne Berücksichtigung der Wärmedämmung. Bei sechsgeschossigen Gebäuden wurden bei Vollziegelmauerwerk für das Erdgeschoss Dicken von 790 bis 510 mm gefordert, die stu-

Mauerwerksdicke

fenweise bis zum obersten Geschoss auf 250 mm reduziert werden konnten. Für Natursteinmauerwerk galten wieder andere Werte. Die Anforderungen waren von Land zu Land verschieden, entsprechend den jeweiligen Bauordnungen, siehe Bild 9 [3].

Bauaustrocknung

Das Trocknen von Neubauten aus dicken Wänden mit viel Mauer- mörteL dauerte früher beim temporären Beheizen einzelner Räume mit Kohleöfen wesentlich länger als heute mit Zentralheizung und anderen Wandkonstruktionen. Schachner schreibt 1926 [17]: »Aus hygienischen Gründen hat man oft bestimmte Austrocknungsfristen für Neubauanlagen festgesetzt und deren Beziehen von behördlicher Genehmigung abhängig gemacht.« Nach [6] können Wohnräume ohne Schaden bezogen werden, wenn der Feuchtegehalt des Innenputzes zwischen 1 und 2 % beträgt. Als Beispiel werden nachfolgend einige Passagen aus der Bauordnung der Landeshauptstadt Graz wiedergegeben, die bis 1968 gültig war: »Neu hergestellte oder wesentlich umgestaltete Wohnungen dür-



	Bayern 1981	Bayern 1943	Dresden 1906	Ruhr 1930	Osnabrück 1923	Bayern 1886	Dresden 1906	Osnabrück 1923	Rohrkohlenbezirk 1930
Dachgeschoss	–	–	450	310	450	–	250	250	250
II. Stockwerk	450	–	600	–	500	450	380	–	–
III. Stockwerk	520	–	600	475	550	450	380	–	380
IV. Stockwerk	590	450	750	475	600	595	510	380	380
I. Stockwerk	660	450	750	475	650	595	510	380	380
Erdgeschoss	730	600	900	637	700	740	640	380	510
Keller	800	–	1030	637	750	–	770	510	510
Natursteinmauerwerk									
Ziegelmauerwerk									

Bild 9: Geschossabhängige Mindestdicken tragender Außenwände aus Natursteinmauerwerk und aus Ziegelmauerwerk nach den in einzelnen Ländern bzw. Städten geltenden baupolizeilichen Vorschriften [3]

fen erst dann bezogen werden, wenn die Behörde die Bewilligung hiezu erteilt hat. Diese Bewilligung ist nur dann zu erteilen, wenn durch eine kommissielle Erhebung dargetan worden ist, dass der Bau ordnungsmäßig ausgeführt wurde, die betreffenden Lokalitäten gehörig ausgetrocknet sind und überhaupt kein sanitäres Bedenken obwaltet. Hierbei hat als Grundsatz zu gelten, dass ein Gebäude, in welchem der Verputz nicht vor Oktober vollständig ausgeführt wurde, nicht vor dem nächsten Frühjahr bezogen werden soll (§ 81).

Die vom Stadtrat abzuordnende Kommission besteht aus einem Stadtbauamtsbeamten, einem GemeinDearzte, dem Bezirksvorsteher und den etwa erforderlichen Sachverständigen (§ 73).«

Bezeichnend für die lange Bauaustrocknung ist auch der überlieferte Rat für das Wohnen in einem Neubau, nämlich: »Im ersten Jahr übergibt man sein Haus seinem Feind, im zweiten Jahr seinem Freund und erst im dritten Jahr zieht man selber ein.« Aufschlussreich in dieser Hinsicht ist auch der Rat für »alle Frauen und Mädchen, die billig und gut haushalten lernen wollen« in einer Schrift aus dem Jahr 1882 [18], nämlich: »Eine feuchte Wohnung ist der Gesundheit höchst schädlich; ebenso eine Wohnung in einem neugebauten, noch nicht trocken gewordenen Hause. Das Einziehen da hinein hat nur zu oft nicht bloß Krankheiten, sondern auch Todesfälle in der Familie zur Folge. Nicht selten werden aber solche Wohnungen zu sehr niedrigen Preisen angeboten, wodurch sich manche zu ihrem größten Verderben verloren lassen, sie zu miethen.« In der bereits erwähnten Wohnungsnot in der Zeit der beginnenden Industrialisierung der Städte war das ‚Trockenwohnen‘ eine Alternative zum ‚Schlafgängerwesen‘ (d. h. nur die Nutzung eines Bettes in einer Wohnung gegen geringe Bezahlung).

Der Begriff ‚Trockenwohnen‘ hat auch Eingang in die Literatur gefunden, denn Theodor Fontane erwähnt in seinem Roman »Effi Briest« im 23. Kapitel das Trockenwohnen im Zusammenhang mit einer Wohnungssuche in Berlin. Effi und ihre Mutter hatten dort eine Wohnung in einem Neubau besichtigt, noch feucht und unfertig. Zitat: »Es wird nicht gehen, liebe Effi«, sagte Frau von Briest, »schon einfach Gesundheitsrücksichten werden es verbieten. Und dann, ein Geheimrat ist kein Trockenwohner.«

Wie groß die Wohnungsnot um die Jahrhundertwende 1900 war, geht aus Folgendem hervor: Eine Wohnung mit höchstens einem heizbaren Zimmer wurde ab sechs und mehr Bewohnern als überbelegt bezeichnet (27 792), bei zwei heizbaren Zimmern ab elf und mehr Bewohnern (485). Die in Klammern angegebenen Zahlen bedeuten die Fälle, die in Berlin um 1900 zutrafen [19].

Warnung vor feuchten Wohnungen

Weniger Baufeuchte durch Wände mit Luftkammern

Mit der Reduzierung der Baumasse durch die in Kapitel 1.2 erwähnten Sparwände erreichte man somit nicht nur ein geringeres Transportgewicht, sondern auch eine geringere Baufeuchte. Auch wurde ein Vorteil der Luftkammern oder Luftsichten in Hohlwänden wegen der geringeren Wärmeleitfähigkeit ruhender Luft gesehen. Den Begriff »Isolierluftsicht« findet man in vielen Schriften der damaligen Zeit. Beispiele von Sparwänden sind in Bild 1 und in [3] dargestellt.

Trocknungsbeschleunigung durch Hinterlüften



Bild 10: Erwin von Esmarch (1855–1915), Schüler von Robert Koch und später Professor für Hygiene an den Hochschulen Königsberg und Göttingen

Da die Trocknung massiver Wände von der Oberfläche an die angrenzende Luft erfolgt, kam wohl bei Wänden mit Luftsicht die Überlegung auf, deren Trocknung durch Belüftung zu fördern. Der Hygieniker Erwin von Esmarch (Bild 10) schlägt deshalb zur Trocknung von zweischaligem Mauerwerk »als zweckmäßig vor, in den Luftsichten oben und unten Öffnungen zur Verbindung mit der Außenluft auszusparen, welche zur Ventilation dienen können und am besten in einem Kanal neben einem Schornstein münden. Die Mauern trocknen damit wesentlich schneller; die Öffnungen müssen verschließbar sein und können später auch definitiv geschlossen werden. Allerdings können diese Vorteile sich auch in Nachteile verwandeln, wenn die Wände kälter werden als die isolierte Luft, deren Wasser sich dann abscheiden und die Wände wieder feucht machen kann. Ist dies zu befürchten, müssen die Isoliersichten mit schlecht wärmedämmenden Materialien ausgefüllt werden, z. B. Kieselgur, Schlackenwolle, Korkabfälle« [20]. Es gab somit schon damals das zweischalige Mauerwerk mit Kerndämmung, allerdings nicht unter diesem Begriff. Kurz darauf (1909) äußerte sich auch v. Mecenseffy [7] zu den unterschiedlichen Folgen einer Belüftung und folgerte schließlich: »So erweist sich denn die zusammenhängende, nach außen völlig abgeschlossene Luftsicht als das verhältnismäßig Beste.«

Minderung der Wärmedämmung durch Belüftung

Ein Vierteljahrhundert später behandelte der bereits erwähnte Architekturprofessor Richard Schachner (Bild 11) in seinem Buch ebenfalls solche Hohlwände mit dem Hinweis [17]: »Anstelle der stets vollkommen geschlossenen Hohlräume werden bisweilen (in England meist) die Hohlräume durch untere und obere Öffnungen mit der Außenluft in Verbindung gebracht, um dadurch eine kräftige Luftdurchströmung und hiermit eine Trockenhaltung der Hohlräummauern zu erreichen. Dies beeinträchtigt aber den wärmewirtschaftlichen Wert der Hohlräummauern ganz wesentlich.«

Nachteile von Luftsichten in Wänden

Schachner weist auch darauf hin, dass sich bei häufig berechneten Hohlraumwänden infolge Besonnung Feuchtigkeit an der trockeneren inneren Wandschale niederschlagen kann (wir nennen das heute »Umkehrdiffusion«). Auch erwähnt er, dass bei belüfteten Vormauerschalen Niederschlagsbildung im Inneren auftreten kann, wenn



Bild 11: Richard Schachner (1853–1936), Professor an der Technischen Hochschule München und Architekt für eine Reihe bekannter Bauten, u. a. 1909 das städtische Klinikum München in Schwabing und 1912 die Großmarkthalle in München

warm-feuchte Außenluft in kühle Hohlräume einströmt (wir nennen das heute ›Sommerkondensation‹). Es wurden also schon damals Nachteile des Hohlmauerwerks erkannt, die mit einem ›Quertransport‹ von Wasserdampf im Hohlräum und Tauwasserniederschlag an kalten Bauteilen zusammenhängen.

Weiter schreibt Schachner: »*Hohlraummauerwerk kommt mehr für Kleinhausanlagen und überhaupt Flachbauten aller Art als für mehrgeschossige Gebäude in Betracht, da es für letztere aus statischen Gründen weniger geeignet ist. Die Baustoffersparnis an Mauersteinen und Mörtel wird meist durch die größere Umständlichkeit der Mauerwerksherstellung aufgewogen. Es hat deshalb die Anwendung von Hohlmauerwerk nur dort größere wärme- und bauwirtschaftliche Bedeutung, wo größere zusammenhängende ebene Mauerwände in Frage kommen. Auch erfordert die Herstellung von Hohlmauerwerk gut eingearbeitete Maurer, damit der Zeitaufwand und hiermit die Lohnaufwendungen nicht zu hoch werden.*«

Die geringere Baufeuchte und damit die raschere Bauaustrocknung werden auch als Vorteil beim Fachwerkbau angesehen. In [7] wird dazu Folgendes ausgeführt: »*Die nur halbsteinig ausgemauerten Wände trocknen sehr rasch aus und bedürfen keiner nennenswerten Frist zwischen Fertigstellung des Rohbaus und Beginn der Ausbauerbeiten.*« Hieraus wird wieder die große Bedeutung der Bauaustrocknung erkennbar, die unter den heutigen Bedingungen kaum mehr als ein entscheidendes Kriterium angesehen wird.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass im Zeitraum zwischen dem 19. und 20. Jahrhundert bis zum Ersten Weltkrieg vom massiven Vollsteinmauerwerk mehr und mehr abgegangen worden ist. Die zunehmend verwendeten Außenwände mit Luftschichten und

Zweischaliges Mauerwerk für Flachbauten

Weniger Baufeuchte bei Fachwerkwänden

Isolierluftschichten zur Dämmung

Luftkammern dienten zur Reduzierung des Transportgewichts und zur Verbesserung der Wärmedämmung. Aus Gründen der Wärmedämmung mussten die Luftsichten abgeschlossen sein. Nur zur rascheren Bauaustrocknung kam vorübergehend eine Belüftung in Frage. Bei starker Schlagregenbeanspruchung behielt man die Belüftung bei, war sich aber bewusst, dass damit die Dämmwirkung der Luftsichten beeinträchtigt wird. Der Nachteil von durchgehenden Luftsichten war bekannt und auch die Abhilfe, nämlich das Verfüllen mit »schlecht wärmeleitenden Materialien, wie Kieselgur, Schlackenwolle, Korkabfällen«.

Wettermäntel

Dass die Mörtelfugen bei massivem Mauerwerk einen gewissen Regenschutz bewirken, wird in Kapitel 3.2 erläutert. Falls dieser bei der gegebenen Regenbeanspruchung nicht ausreicht, wurde wohl immer schon eine äußere Wandbekleidung angebracht, die in Schriften aus dem Beginn des 20. Jahrhunderts als ›Wettermantel‹ bezeichnet werden. Mecenseffy schreibt dazu [7]: »Wandbekleidungen wie lotrechte Bretterschalung mit Deckleisten, Spaltschindeln oder Schieferplatten auf Lattenunterlagen fasst man zusammen unter dem Sammelnamen Wettermantel. Sie haben den Vorzug, die Luft ziemlich ungehindert durchzulassen, also die Austrocknung der Mauern nicht zu hindern, dagegen aber einen vollkommenen Schutz gegen Regenschlag zu gewähren. Bedenklich sind dagegen Wettermantel aus Blech, denn sie schließen die Luft ab und vereiteln die Austrocknung.« Auch Siedler beschreibt in seinem Buch [9] Wettermantel verschiedener Art mit ausführlichen Konstruktionsskizzen. Weder im Text noch in den Skizzen findet man aber Hinweise auf spezielle Hinterlüftungsmaßnahmen, auch nicht bei Metallbekleidungen mit Steh- und Querfalzen.

2.3 Wärmeschutz – Ausführung und Anforderungen

Wärmedämmung von Mauerwerk

Die aus statischen Gründen bei gemauerten Wänden erforderliche Wanddicke bestimmte früher auch das Maß für die Wärmedämmung. Da Mauerwerk aus gleichmäßig geformten Ziegeln einigermaßen reproduzierbare Eigenschaften aufweist, im Gegensatz z. B. zu Bruchsteinmauerwerk, und Ziegel seit Jahrhunderten der hauptsächlich verwendete Baustoff war, wurde als Richtwert für die Wärmedämmung von Mauerwerk allgemein die 1½-Stein dicke Vollziegelwand gewählt.

Wärmedämmung von Fachwerkwänden

Etwas anders war es bei Fachwerkwänden, bei denen die Statik durch das Holzfachwerk gegeben ist und damit kein offensichtlicher Ver-

gleich oder direkter Bezug zur Tragfähigkeit (bzw. Wärmedämmung) eines Mauerwerks besteht. Die geringe Wertigkeit der Wärmedämmung von Fachwerkwänden geht aus folgendem Zitat aus einer bereits erwähnten Arbeit hervor [7]: »In einem großen Teil Europas ist es althergebrachte Sitte, das Holzfachwerk auszumauern oder mit Lehm auszustaken. Letzteres kommt immer mehr außer Gebrauch, zumal für Wohngebäude, ersteres dagegen ist auch heute noch sehr beliebt. Da die Stärke der Ausmauerung nie mehr als $\frac{1}{2}$ -Stein beträgt, werden die Ständer meist nach innen darüber hinausragen; ist das nicht der Fall, so tut man gut, Leisten auf das Holzwerk zu nageln, um eine Luftschicht hinter der Ausmauerung zu erzielen.« Dieses Zitat ist aus zwei Gründen aufschlussreich für die frühere Bewertung der Wärmedämmung: Einmal wurde nichts über Art und Dämmwirkung der Ausmauerung ausgeführt bzw. gefordert und zum anderen erschien aber die Isolierluftschicht so wichtig, dass sie ggf. durch eine zusätzliche Leiste gewährleistet werden sollte. Eine Schemadarstellung der Fachwerkkonstruktion nach [7] zeigt Bild 12.

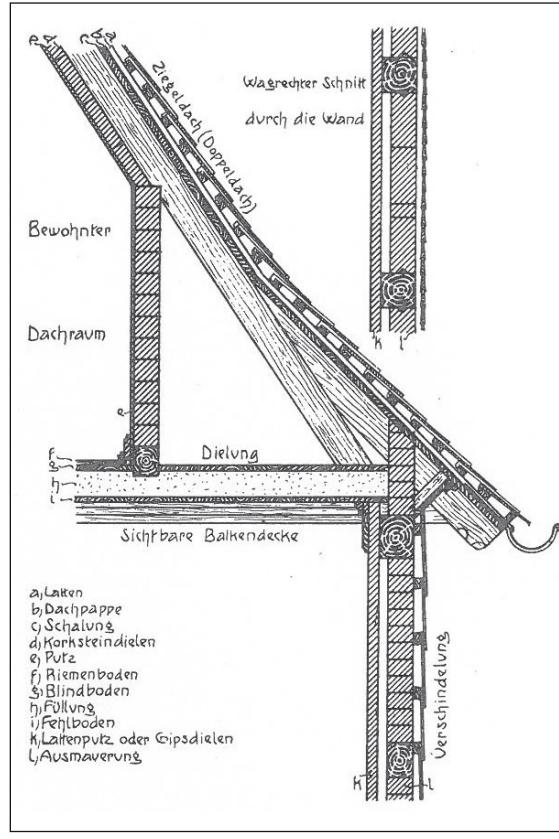


Bild 12: Schnitt durch eine Fachwerkwand und Dachkonstruktion nach [7]. Ausmauerung ($\frac{1}{2}$ -Stein) mit außenseitigem Wettermantel und raumseitiger Luftschicht zwischen Ausmauerung und Innenputz.

Geringe Beachtung der Wärmedämmung

Insgesamt hatte somit die Wärmedämmung einen geringen Stellenwert, was auch früher schon bemängelt worden war. So leitet 1926 Schachner in seinem Buch den Abschnitt »Wärmeschutz von Gebäuden« folgendermaßen ein [17]: »Wärmewirtschaftliche Gesichtspunkte haben im Hausbau bis in die neueste Zeit im allgemeinen nur eine sehr geringe Beachtung gefunden. Auch Bauordnungen, baupolizeiliche Vorschriften usw. enthielten keinerlei Bestimmungen in dieser Beziehung; soweit solche als einschlägig betrachtet werden können, sind sie nicht aus Gründen des Wärmeschutzes der Gebäude entstanden, sondern vom Standpunkt der Festigkeit und der Feuersicherheit aufgestellt worden. Aus wärmewirtschaftlichen Erwägungen heraus sind bei den meisten Bauten, abgesehen von Sonderfällen, eigentlich nur die Doppelfenster angewendet worden. Wie wenig man noch vor gar nicht lange zurückliegender Zeit behördlicherseits an Sparsamkeit im Wärmeverbrauch dachte, zeigt der Umstand, dass man den Kleinhausbau dadurch zu fördern suchte, dass man für dessen Umfassungsmauern nur mehr die Stärke eines Backsteins (25 cm) an Stelle der vorher verlangten Mauerstärke von 1½ Backsteinen (38 cm) forderte. Auch bei anderen Bauten vernachlässigte man wärmewirtschaftliche Gesichtspunkte. Zeiten großer Brennstoffnot und Teuerung mahnen indessen zur größten Sparsamkeit im Wärmeverbrauch.«

Wärmedämm-Anforderungen an neue Wandbauarten

Eine Verallgemeinerung der Wärmedämm-Anforderungen an Außenwände wurden 1934 durch DIN 4110 »Technische Bestimmungen für die Zulassung neuer Bauweisen« festgelegt. Hierin sind die erforderlichen Prüfnachweise für Zulassungsverfahren zusammengestellt, wobei an zwanzigster (!) Stelle über den nachzuweisenden Wärmeschutz die in Tabelle 1 aufgeführten Bestimmungen gelten.

Tabelle 1: Mindestwärmedämmung nach DIN 4110 (1934) für verschiedene Wandbauarten. Außer Vollwandmauerwerk von mindestens 1-Stein Dicke war ein Sicherheitszuschlag bis zu 25 % erforderlich.

Bauart	Vergleichsbauweise, deren Wärmeschutz erreicht werden soll
Vollwandmauerwerk, Fertigwände aus Beton, dünnes Hohlmauerwerk, Stahl- und Holzwandbauweisen besonderer Bauart	Normalfeuchte 1½-Stein dicke volle Ziegelwand mit beiderseitigem Putz zuzüglich eines Sicherheitszuschlags von 25 %, der jedoch bei Vollwandmauerwerk von mindestens 1-Stein Dicke entfällt

Was unter ›normalfeucht‹ zu verstehen ist, ist nicht näher definiert. Durch den in der Norm festgelegten Bezug auf die Ziegelwand bildete sich der anschauliche Begriff der »gleichdämmenden Ziegelwanddicke.« Dadurch sollte man eine Vorstellung über die Dämmwirkung einer neuartigen Wand bekommen; mit dem ›Wärmedurchlasswiderstand‹ verband sich noch keine konkrete Vorstellung. Erst in der Ausgabe der DIN 4110 von 1938 wurde anstelle der Ziegelwand die Forderung nach dem Mindestwärmedurchlasswiderstand $1/\Delta = 0,55 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K/kcal}$ erhoben.

In der Normausgabe von 1938 der DIN 4110 sind auch differenziertere Sicherheitszuschläge angegeben, die Unwägbarkeiten abdecken sollten, die bei der Anwendung neuer Baustoffe oder Bauarten auftreten können. Kriterien waren dabei insbesondere die Wanddicke (je dicker desto besser) und das Vorhandensein von Hohlräumen im Mauerstein (Hohlräume eher kritisch). Die Zuschläge wurden in Schritten von 5 %-Punkten festgelegt und konnten schwanken zwischen 5 % (Vollsteinwände 25 cm dick) und 35 % (Hohlsteinwände dünner als 20 cm).

Schließlich erschien 1952 die erste allgemeingültige Norm DIN 4108, in der retrospektiv Anforderungen an Wärmedämmung und Wärmespeicherung von Bauteilen im Hochbau aufgrund der Gesichtspunkte in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zusammengefasst sind. Neben Mindestwärmewerten für die Wärmedämmung von Bauteilen sind darin Wärmeleitfähigkeiten von genormten Baustoffen enthalten. J. S. Cammerer (Bild 13), einer der Mitbegründer der DIN 4108, schreibt hierzu in einer Veröffentlichung aus dem Jahr 1951 Folgendes: »Alle Vorschriften über den Mindestwärmeschutz von Wohnhauswänden gehen, wenn auch meist nur stillschweigend, von der Erfahrung aus, dass in deutschen Gebieten mit mittleren Wintertemperaturen die 1½-Stein starke verputzte Vollziegelwand unter allen Umständen gesunde Wohnverhältnisse gewährleistet« [21].

Ähnlich wie bei der DIN 4701 »Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden«, die erstmals 1929 erschienen ist und die klimatischen Verhältnisse durch verschiedene Klimazonen berücksichtigt, wurden bei der DIN 4108 drei Wärmedämmgebiete unterschieden, wobei die 1½-Stein dicke Vollziegelwand der Richtwert für das mittlere Wärmedämmgebiet II war, das durch ein Gebiet I mit milderen und ein Gebiet III mit strengerem Klimaverhältnissen entsprechend den Baugepflogenheiten in den verschiedenen Gegenden ergänzt wurde. Als Mindestwerte für Außenwände mit einem Wand-

Sicherheitszuschlag für neue Wandbauarten

DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau



Bild 13: Joseph Sebastian Cammerer (1892–1983), einer der Pioniere der Bauphysik. Seine – wie er selbst sagte – recht verschlungenen Lebenswege vom Rittmeister im Ersten Weltkrieg zum Bauphysiker und schließlich zum Priester werden in [23] beschrieben.

gewicht größer 300 kg/m² wurden nach den alten Einheiten (und in Klammern nach den neuen) folgende Werte festgelegt:

Wärmedämmgebiet I: $R=0,45 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K} / \text{kcal}$ ($=0,39 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$),

Wärmedämmgebiet II: $R=0,55 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K} / \text{kcal}$ ($=0,47 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$),

Wärmedämmgebiet III: $R=0,65 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K} / \text{kcal}$ ($=0,56 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$).

Später hat W. Caemmerer für diese aus Tradition und einem gewissen Ermessen festgelegten Werte eine wissenschaftliche Begründung durch das sogenannte Tauwasserkriterium gefunden: Er ordnete den drei Wärmedämmgebieten mittlere, tiefste Außenlufttemperaturen von -10 , -15 bzw. -20°C zu und stellte fest, dass bei diesen Mindestdämmwerten in auf 20°C beheizten Räumen einheitlich bei etwa 65 % relativer Feuchte (r. F.) Tauwasser an den Wandoberflächen auftritt, wie aus Tabelle 2 ersichtlich. Dieses zufällige Zusammenspiel verschiedener Zahlenwerte zu einem ›Kriterium‹ darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Festlegung der Mindestdämmwerte keineswegs wissenschaftlich begründet war, wie manchmal dargestellt.

Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit

Bei der früheren Ofenheizung hat die Wärmespeicherfähigkeit von Wohngebäuden eine große Rolle gespielt. Hierdurch wurden Schwankungen der Raumlufttemperatur bei unterschiedlicher Wärmeabgabe der nicht wie heute regelbaren Heizung gemindert; die Wärmekapazität hatte dadurch eine gewisse Pufferwirkung für die Raum-

Tabelle 2: Zuordnungen von Wärmedämmgebiet, Mindestdurchlasswiderstand, Außenlufttemperatur und Wandinnenoberflächentemperatur im Vergleich zur Taupunkttemperatur nach [22]

Anforderungen bzw. festgelegte oder berechnete Temperaturen	Wärmedämmgebiet		
	I	II	III
geforderter Mindestwärmefüllwiderstand DIN 4108 (1960) in $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K} / \text{kcal}$ (bzw. $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$)	0,45 (0,39)	0,55 (0,47)	0,65 (0,56)
mittlere minimale Außenlufttemperatur im Winter in $^\circ\text{C}$	-10	-15	-20
Wandinnenoberflächentemperatur bei minimaler Außenlufttemperatur in $^\circ\text{C}$	13,4	13,3	13,2
Taupunkttemperatur bei 20°C , 65 % r. F. in $^\circ\text{C}$	13,2		

Lufttemperatur. Rasches Aufheizen bei leichten Bauten mit geringer Wärmekapazität war zwar erwünscht, aber das rasche Auskühlen nach Beheizungsende brachte dem Raumklima in solchen Bauten die Bezeichnung »Barackenklima« ein. Bei massiven Bauten mit großer Wärmekapazität schätzte man sehr, dass morgens die Wärme vom Vortag noch angenehm gespeichert war. Manche meinten deshalb fälschlicherweise, dass die Wärmespeicherfähigkeit wichtiger sei als die Wärmedämmung.

Die geringe Wärmespeicherfähigkeit bei Leichtbauten hatte man in der Norm durch eine Erhöhung der Wärmedämmung von leichten Außenbauteilen, also durch eine Minderung des Wärmeabflusses nach außen, in gewissem Sinne zu kompensieren versucht. Aufgrund einer Dissertation zu dem Thema »Die Auskühlung von Häusern« [24] wurden bei Bauteilen unter 300 kg/m^2 Flächengewicht mit abnehmendem Gewicht zunehmend höhere Wärmedämmwerte gefordert und zwar in den einzelnen Wärmedämmgebieten unterschiedlich, wie in Bild 14 dargestellt. Aus den deutlich höheren Normzuschlägen als nach dem begründeten Vorschlag von v. Cube ist die damalige Tendenz für die Bevorzugung von massiven Konstruktionen zu erkennen, die auch in den höheren Sicherheitszuschlägen für leichte bzw. dünne Bauteile in DIN 4110 hervorgeht (Tabelle 1).

Zusätzliche Forderungen für Leichtbauten

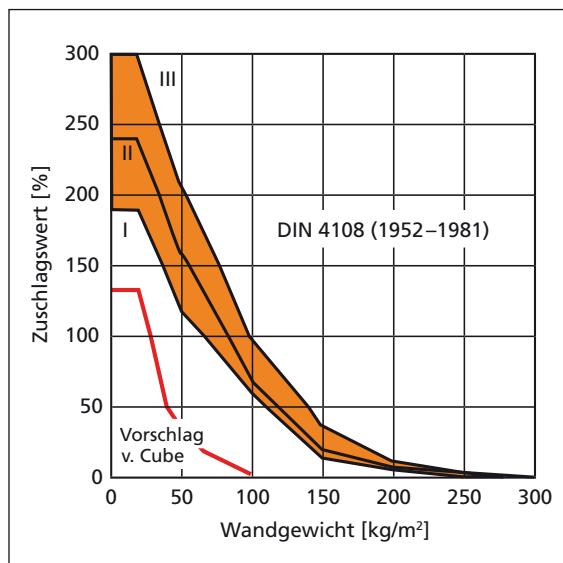


Bild 14: Zuschläge auf die Mindestwerte der Wärmedurchlasswiderstände für Außenwände unter 300 kg/m^2 Flächengewicht nach Vorschlag von v. Cube [24] und nach DIN 4108 (1952 ff.) für die Wärmedämmgebiete I, II und III

Weitere Forderungen für leichte Bauten waren bei Außenbauteilen unter 200 kg/m² in allen drei Wärmedämmgebieten die Anordnung von Doppel- oder Verbundfenstern sowie eine wärmespeichernde Heizanlage (z.B. Kachelöfen) oder eine ständig wirkende Heizanlage.

Luftschichten in Wänden

Offensichtlich aus den zurückliegenden Erfahrungen mit den Spar- oder Hohlraumwänden findet sich in DIN 4108 unter »Luftschichten in Wänden« folgende Anmerkung: »Die Anordnung einer durchgehenden Luftschicht in gemauerten Wänden zur Verbesserung der Wärmedämmung ist unzweckmäßig und zu vermeiden. Dagegen kann in Gegenden mit starkem Schlagregen (Küstengebiet) die Anordnung einer Luftschicht zur Verhinderung des Durchschlagens der Feuchtigkeit notwendig sein. Die Ausführung gemauerter Hohlwände aus zwei Schalen in Vollsteinen (11,5 + 7 + 11,5) ist im gesamten Wärmedämmgebiet I zulässig«. Diese Anmerkung erscheint ab der Normausgabe von 1981 nicht mehr. Die zweischalige Wand ist die einzige Konstruktion aus der Reihe der Sparwände aus dem Anfang des 20. Jahrhunderts, die heute noch wegen des Regenschutzes von Sichtmauerwerk ausgeführt wird.

Praktischer Feuchtegehalt

Um den in DIN 4110 verwendeten Begriff ›normalfeucht‹ zu definieren, hat J. S. Cammerer den Begriff des ›praktischen Feuchtegehalts‹ vorgeschlagen. Die nach Austrocknung der Baufeuchte schließlich sich einstellende bleibende Wandfeuchte, die für die Ermittlung der Wärmedämmung zugrunde gelegt werden soll, wird nach seinem Vorschlag als praktischer Feuchtegehalt bezeichnet. Man versteht darunter den Feuchtegehalt, der bei der Untersuchung genügend ausgetrockneter Bauten, die zum dauernden Aufenthalt von Menschen dienen, in 90 % der Fälle nicht überschritten wurde. Aus vielen Messungen des Fraunhofer IBP, die in jenem Zeitraum vorgenommen wurden sind, geht aber hervor, dass die gemessenen Feuchtegehalte nicht rein materialbedingt waren (also nicht nur von der Art des Baustoffes abhängig), sondern von der Wandorientierung und der Raumnutzung mitbestimmt worden sind. So wurden z. B. in Küchen oft eine Zunahme der Wandfeuchte zur Innenseite hin festgestellt, was durch angereichertes Tauwasser zu erklären war, und bei West- und Nordseiten höhere Feuchtegehalte als bei den anderen Orientierungen wegen des Regens bzw. geringer Besonnung [25].

Fertighaus mit Isolierluftschichten

Unter den 26 Versuchshäusern, die 1951 auf dem Versuchsgelände Holzkirchen erbaut worden waren, befand sich auch ein Fertighaus System Reimann aus Dorfmark/Hannover [26]. Der Wandaufbau entsprach wohl noch früheren Baugepflogenheiten und Erfahrungen. Die

125 cm × 250 cm großen und 12 cm dicken Wandelemente bestanden aus einer Holz-Rahmenkonstruktion mit beidseitigem Abschluss durch je 3 cm dicke, mit Streckmetall bewehrte Putzschichten. Der verbleibende Zwischenraum von 6 cm war durch zwei drahtarmierte Lagen von Bitumenpappe unterteilt, sodass drei voneinander getrennte Isolierluftschichten entstanden. Diese Fertighauskonstruktion entsprach zwar nicht den Anforderungen der ein Jahr später veröffentlichten Erstausgabe der DIN 4108 (zu geringe Dämmung bei dem kleinen Gewicht), hatte sich aber im hannoverschen Raum bewährt und war nach Abschluss der Untersuchungen in Holzkirchen eine beliebte Gäste-Unterkunft für Kollegen aus dem Stuttgarter Institut: Das Häuschen war auch nach längerem Leerstehen stets trocken und schnell auf behagliche Temperaturen zu beheizen.

Der praktisch einzige Wärmedämmstoff – Luftsichten ausgeklammert – der Anfang des 20. Jahrhunderts im Wohnungsbau eingesetzt worden war, war die 1908 patentierte »Heraklith-Leichtbauplatte«. Sie wurde ab 1920 hergestellt; im Fliesenbandverfahren aber erst ab 1928 [27]. Das war gewissermaßen das erste Wärmedämmverbundsystem, ein halbes Jahrhundert vor den heute unter diesem Namen bekannten Systemen. Deshalb wurde der späteren Patentanmeldung (1959, siehe Kapitel 3.4) kein Patentrecht gewährt.

Patentanmeldung Heraklith

2.4 Heizen und Raumklima

Der Übergang vom offenen Kaminfeuer zum rauchfreien Ofen war eine Entwicklung, die in den vergangenen Jahrhunderten für das Wohlbefinden der Menschen in der winterlichen Jahreszeit eine große Bedeutung hatte. Von Goethe ist überliefert, dass er sich manchmal scherzend äußerte, »man würde sich im Spätsommer aufhängen, wenn man sich da von der Abscheulichkeit des Winters eine rechte Vorstellung zu machen imstande wäre.« Verständlich deshalb auch, dass Goethe eine spezielle Ofenkonstruktion entwickelt hatte und bauen ließ, die eine bessere Wärmeverteilung im Raum ermöglichen sollte [35]. Noch ein Beispiel, das zeigt, wie viele sich damals mit Heizungsfragen befasst hatten: Graf Rumford reformierte Ende des 18. Jahrhunderts nicht nur die Bayerische Armee und veranlasste den Bau des Englischen Gartens in München, sondern entwickelte auch den sogenannten Rumford-Kamin, der weniger qualmte und mehr Wärme abgab [29]. Nach Usemann wurde der Begriff »Raumklima« vermutlich erst um 1930 durch den Frankfurter

Arzt Prof. E. Küster geprägt [30]. Zuvor war man zufrieden, wenn man eine warme Wohnstube hatte; darunter ist ein erwärmbarer, rauchfreier Raum zu verstehen – ohne Ofen keine Stube [28]!

Heizen mit Einzelöfen

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts – also während der beiden Weltkriege und in der Zeit dazwischen – erfolgte die Wohnungsheizung hauptsächlich durch Einzelöfen. In diesen Mangelzeiten wurde im Winter oft nur ein Raum pro Wohnung beheizt, höchstens bei großer Kälte wurde ein zweiter oder auch dritter Ofen – falls vorhanden – betrieben. Dies geht aus Untersuchungen in einer Arbeitersiedlung auf der Hochfläche der Schwäbischen Alb in dem sehr kalten Winter 1957/58 hervor, deren Ergebnisse in Bild 15 wiedergegeben sind. In jener Zeit war es nicht üblich oder gar selbstverständlich, dass alle Räume einer Wohnung beheizbar sind. Motivationen dafür waren das Einsparen von Heizmaterial und die mit dem Heizen verbundene Arbeit.

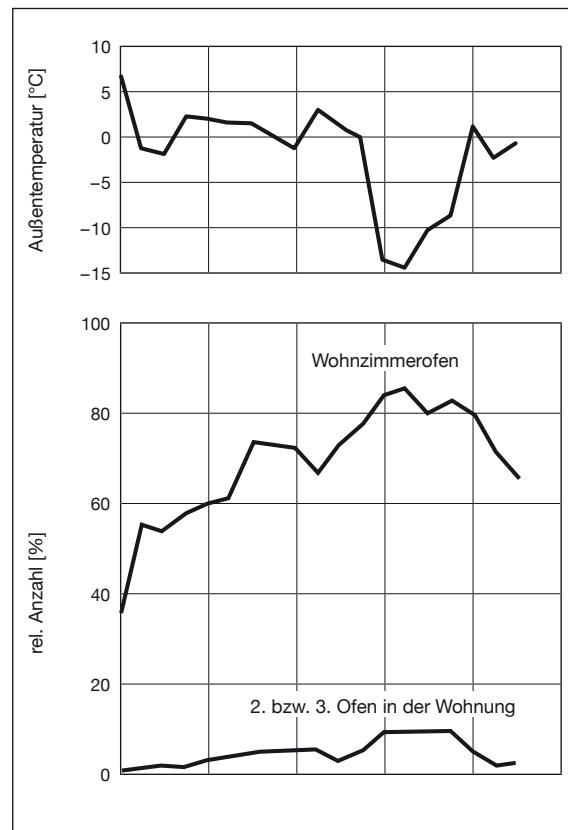


Bild 15: Zahl der beheizten Einzelöfen sowie der beheizten zweiten und dritten Öfen in den untersuchten Wohnungen während der Heizperiode, bezogen auf die Gesamtzahl der Wohnzimmerofen bzw. der vorhandenen zweiten und dritten Öfen mit Angabe des Außentemperaturverlaufs (Wochenmittel). Untersucht wurden 39 Wohnungen, von denen 18 einen Zweitofen und 6 einen Drittofen hatten, nach [31].

In diesem Zusammenhang soll eine Episode aus dem Lebensbericht von Alfred Philippson (1864–1953) erwähnt werden, den dieser im Konzentrationslager Theresienstadt geschrieben hat. Er berichtet darin über Wanderungen in den Alpen von Bayerisch Zell aus mit Freunden im Spätherbst des Jahres 1886, wobei ihm Folgendes neben den Naturerlebnissen erwähnenswert schien [32]: »Am nächsten Tag trat ein Wettersturz ein, es wurde rauhkalt und ich fror in meinem Zimmer, da meine Wirtin meine Bitte um Heizung energisch ablehnte mit der Begründung, vor Allerheiligen (1. November) würde nicht geheizt! Nach diesem Termin hatte ich mich nicht mehr über mangelhafte Erwärmung zu beklagen.« Das war zu jener Zeit auch eine Möglichkeit, um Heizenergie zu sparen.

Aus eigener Erfahrung kann ich Folgendes beitragen: Das 1937 erbaute Einfamilienhaus meiner Eltern (zwei Erwachsene, drei Kinder) wurde nach damaligem technischem Standard und wirtschaftlichen Überlegungen errichtet (sechs Zimmer, Küche, Bad). Ein vom Flur aus zu betreibender Kohle-Kachelofen beheizte zwei angrenzende Wohnräume im Erdgeschoss und temperierte über Luftkanäle in der Decke das Bad und zwei Schlafräume im 1. Stock. Ein weiterer Schlafraum im oberen Geschoss war nicht beheizbar. Dadurch wurde natürlich der Heizaufwand zulasten der Wohnbequemlichkeit begrenzt. Im Kriegswinter 1941/42 wurden der Familie 34 Zentner Kohlen zugeteilt (verordnete Energieeinsparung).

Eine weitere Begrenzung des Heizaufwands ergab sich durch die zum Betreiben des Ofens aufzuwendende Arbeit, nämlich das Beschicken des Ofens mit Holz oder Kohle. Bei intermittierend betriebener Ofenheizung (ohne automatische Regelung!) überlegte man sich am Abend, ob man noch eine Schaufel Kohle auflegt oder sich lieber mit einer wärmeren Strickweste aushilft (oder mit einer besonderen sogenannten Hausjoppe, die damals üblich waren). Das Hemdsärmelige in Wohnung und Büro wurde erst durch die Amerikaner nach dem Krieg eingeführt. Mit solchen Gesichtspunkten oder Überlegungen muss man sich heute nicht mehr auseinandersetzen. Das Einstellen des Thermostatventils ist mit keiner Arbeit verbunden; der höhere Komfort kostet aber Geld und fordert ebenfalls Arbeit, die aber nicht unmittelbar erkennbar ist.

Bei stationärer Beheizung kommt es im Wesentlichen auf die Raumlufttemperatur und die mittlere Temperatur der den Raum umschließenden Oberflächen an (Bild 66). Beim damaligen intermittierenden Heizen gab es verschiedene andere Gesichtspunkte, die zu beachten waren. Zum Beispiel die Anheizphase am Morgen und die Auskühl-

Heizen nach Kalender

Einsparen von Heizmaterial

Angepasste Bekleidung

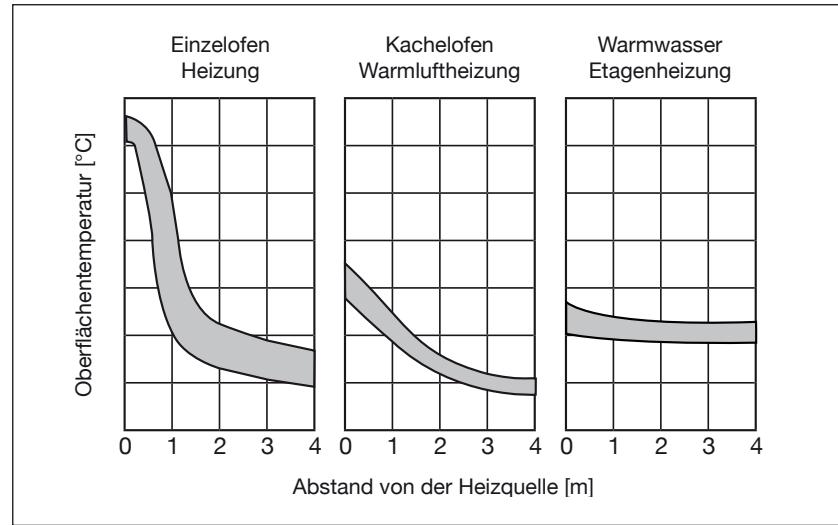
Raumklima bei instationärem Heizen/Aufheiz- und Auskühlverhalten

phase am Abend, die maßgeblich von der Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes bestimmt wurden. In der Anheizphase war die Lufttemperatur höher als die Oberflächentemperatur der Umgebungsflächen und in der Auskühlphase war es in der Regel umgekehrt. Die Verhältnisse in der Zwischenphase waren im Wesentlichen vom Heizsystem und der Art und Weise des Heizbetriebs sowie der Wärmedämmung der Außenbauteile abhängig. Durch Messen von horizontalen und vertikalen Temperaturprofilen im Raum konnte man die Auswirkung dieser Einflüsse erfassen. Viele Untersuchungen dieser Art wurden damals hierüber durchgeführt, um die verschiedenen Heizsysteme in ihrer Auswirkung auf die raumklimatischen Verhältnisse zu bewerten; in Bild 16 sind einige Beispiele hierzu dargestellt. Gleichfalls wurde der Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit verschiedener Wandbaustoffe hinsichtlich des Aufheiz- und Auskühlverhaltens verglichen. Solche Untersuchungen wurden z.B. in den gleichartigen Versuchshäusern auf dem Versuchsgelände Holzkirchen vorgenommen [26].

Fußwarme Böden

Fußwarme Böden waren ein wesentliches Regulativ, um die thermische Behaglichkeit zu verbessern, insbesondere in der Aufheizphase, wenn der Boden noch kalt war. Kalte Füße sind ein besonderer Grund für thermische Unbehaglichkeit wegen des unmittelbaren Kontakts mit dem Boden ohne Übergangswiderstand von angrenzender Luft wie bei anderen Körperpartien. (Deshalb sagt man ja auch *»Ich habe kalte Füße bekommen«*, wenn man in eine unangenehme Situation kommt). Erste Untersuchungen über die Wärmeableitung von Fußbö-

Bild 16: Örtliche Verläufe der Oberflächentemperatur von Fußböden in Abhängigkeit vom Abstand von der Heizquelle bei verschiedenen Beheizungsarten, jeweils sechs bis acht Stunden nach Inbetriebnahme der Heizung, nach [31]



den stammen aus dem Jahr 1910 [33]. Später haben sich J. S. Cammerer und W. Schüle mit diesen Fragen befasst (in [34] zusammenfassend dargestellt). Die Messung der Fußwärme wurde in DIN 52614 »Bestimmung der Wärmeableitung von Fußböden« genormt (Ausgaben 1963 und 1974).

Auch Fußschemel und Ohrensessel verdanken ihre Verwendung letztlich dem Wunsch, die thermische Behaglichkeit unter früheren Verhältnisse zu verbessern. Da das saloppe Hochlegen der Beine früher nicht schicklich war, hat man sie auf einen Schemel gestellt, um den unmittelbaren Kontakt mit dem kalten Fußboden zu vermeiden. Und damit man bei vorderseitiger Wärmezu strahlung am Rücken nicht fror, hat man Sessel rückseitig und seitlich dick gepolstert [35]. Um eine zu große Wärmestrahlung des Ofens richtungsabhängig zu steuern, benutzte man einen Ofenschirm (Bild 17). Man konnte diesen nach Bedarf positionieren.

Das Raumklima ist heute bei Zentralheizung mehr oder weniger gleichbleibend konstant, anders als früher, wo durch Art und Betrieb der Heizung wechselnde thermische Umgebungsbedingungen herrschten. Der geringe Wärmebedarf der Räume kann durch Niedertemperatur-Heizsysteme gedeckt werden, wobei die Art der Wär-

Fußschemel, Ohrensessel und Ofenschirm

Heutige Verhältnisse/ Klimamonotonie



Bild 17: Ofenschirm zur Minderung der direkten Wärmeabstrahlung des Ofens, hier zwischen Ofen und Standuhr

mezufuhr nur einen kleinen Einfluss auf die Temperaturverteilung im Raum hat. Man kann diese Verhältnisse mit dem Begriff der ‚Klimamonotonie‘ bezeichnen. Es ist allerdings unbekannt bzw. ungeklärt, inwieweit die Befindlichkeit des Menschen dadurch beeinflusst wird. Nachdem aber wechselnde Klimaeinwirkungen beim Aufenthalt im Freien durchaus als positiv beurteilt werden (›Abhärtungseffekt‹), ist es möglich, dass auch wechselndes Raumklima – wenn auch in abgemildertem Maße – für den Menschen irgendwie förderlich sein kann.

Bei der früheren Einzelofenheizung wurde in der Regel morgens angeheizt. Es gab somit – wie bereits ausgeführt – eine Anfangsphase mit steigenden Raumlufttemperaturen. Darauf folgten eine Temperatur mit wechselnden höheren Temperaturen entsprechend der Beheizung des Ofens und schließlich eine Abkühlphase am Abend mit wieder fallenden Temperaturen. Die Frage ist, inwieweit sich die dadurch bedingten Temperaturwechsel über die Thermorezeptoren der Haut auf das Wohlbefinden des Menschen auswirken. Da für das thermische Behaglichkeitsempfinden ein Tagesgang nachgewiesen ist [36], könnte dies auch beim Tagesgang der Raumlufttemperatur ein Gesichtspunkt sein. Der mögliche Effekt ist sicher nicht vergleichbar wirksam wie ein Kneipp’sches Wasser-Wechselbad, kann aber doch in die Richtung der Wechselbeanspruchung im Außenklima gehen, die eher als ‚natürlich‘ bewertet werden kann.

Raumluftfeuchte und Temperaturänderungen

Der zeitliche Wechsel der Raumlufttemperatur hat auch einen Wechsel der relativen Raumluftfeuchte zur Folge: Durch die Temperaturabsenkung in der Auskühlphase am Abend steigt die relative Luftfeuchte. Ein Teil der Luftfeuchte wird infolge Wasserdampf-Absorption von den Raumbegrenzungsfächern und den Raumgegenständen aufgenommen. In der morgendlichen Aufheizphase mit steigenden Temperaturen und sinkender relativer Luftfeuchte geht die absorbierte Feuchte wieder an die Luft zurück (Desorption). Dadurch stellt sich in einem in dieser Weise intermittierend beheizten Raum im Mittel eine höhere relative Luftfeuchte ein als in einem stationär beheizten Raum, in dem Änderungen der relativen Luftfeuchte im Wesentlichen nur durch Bewohnungseinflüsse und Lüften erfolgen. Der Zusammenhang zwischen der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte in beheizten oder temperierten Räumen legt es nahe, Schlafräume eher nicht stationär zu beheizen, um ein Austrocknen der Schleimhäute zu mindern.

Einfamilien-Hausbau 1937

Zum Abschluss der Schilderungen zum Wohnen in jener Zeit soll aus eigenem Erleben über den Bau meines bereits erwähnten Elternhauses

berichtet werden, woraus hervorgeht, welche Änderungen sich innerhalb etwa zweier Generationen vollzogen haben. Aus vorliegenden Planunterlagen werden in den folgenden Bildern der Schnitt des Einfamilienhauses und der Grundriss des Kellergeschosses gezeigt.

Aus Bild 18 ist ersichtlich, dass damals auch bei einem so kleinen Haus die Außenwanddicke nach der Tragfähigkeit dimensioniert worden ist, nämlich im Kellergeschoß 35 cm, im Erdgeschoß 30 cm und im 1. Obergeschoß 25 cm Vollziegelwände. Für die Innenwände sind aus Gewichtsgründen Bims-Schwemmsteine verwendet worden. Heute würde man es umgekehrt machen: außen wärmedämmende Leichtstei-

Außenwanddicke stockwerksabhängig

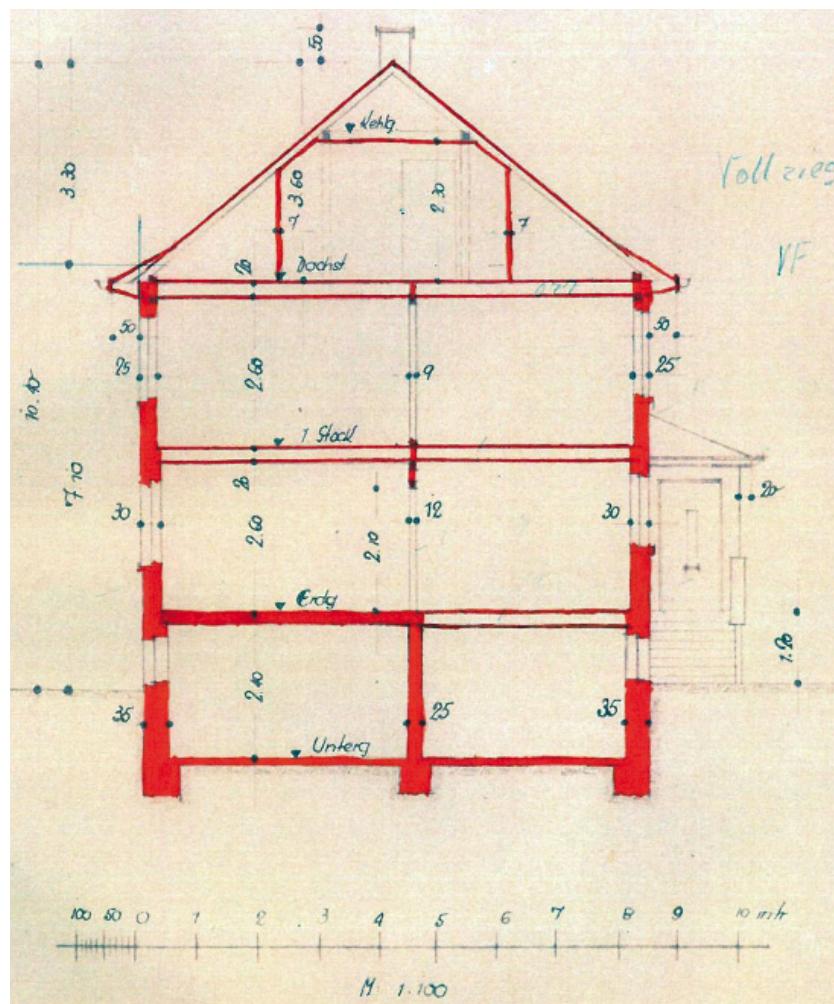


Bild 18: Vertikalschnitt des Wohngebäudes mit stockwerksabhängig unterschiedlichen Außenwanddicken im Plan von 1937. Lediglich über der Garage (siehe Bild 19) war eine Betondecke geplant, ansonsten Holzbalkendecken.

ne und innen schwerere Steine wegen des Schallschutzes. Die Wände des als Schlafkammer gedachten Raumes im Dachgeschoss mit Ziegeldeckung ohne Vordeckung bestehen nur aus 7 cm dicken Gipsdielen.

Waschküche statt Waschmaschine

Bild 19 dokumentiert die völlig anderen hauswirtschaftlichen Verhältnisse und Aufgaben der damaligen Zeit: Eine Waschküche mit Waschkessel, größer als die Kochküche im 1. Geschoss, war anstelle einer Waschmaschine vonnöten. Ein Sammelbehälter für Regenwasser in der Waschküche war ein besonderer Komfort, um weiches Wasser zum Wäschewaschen zu haben.

Gewölbekeller

Kühlschränke (geschweige gar Tiefkühltruhen) gehörten nicht zur Standardausführung einer damaligen Wohnung, deshalb wurde neben der Küche auf der Nordseite eine ›Speisekammer‹ vorgesehen

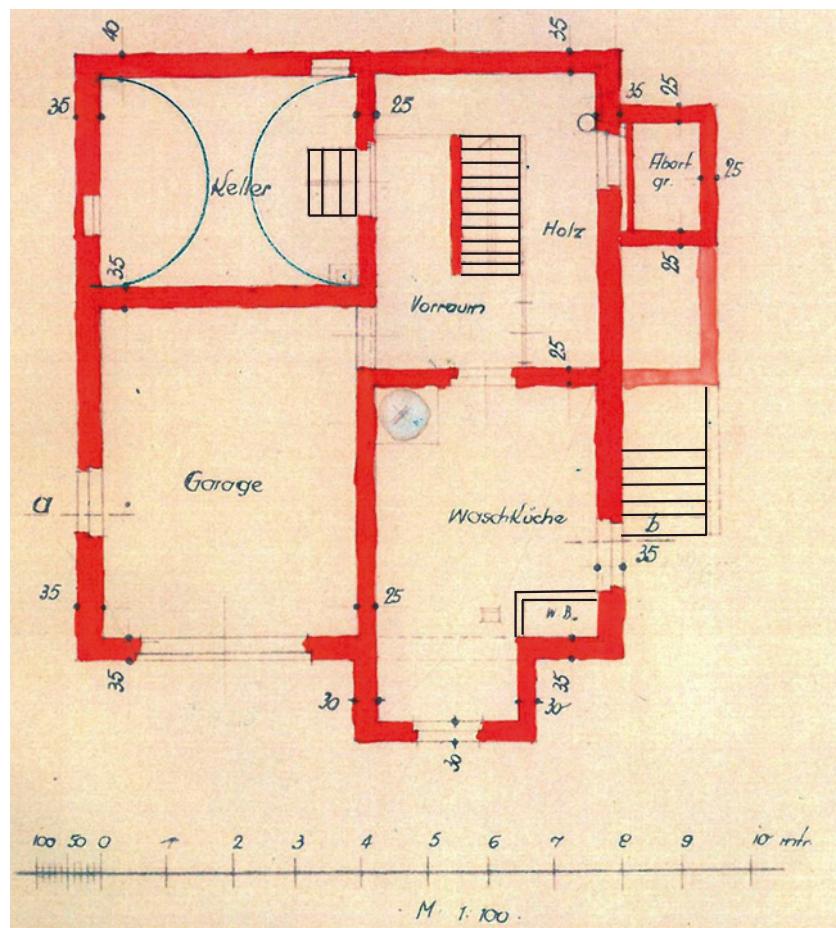


Bild 19: Grundriss des Keller-
geschosses mit Gewölbedecke
für den Keller und Regenwasser-
becken in der Ecke der
Waschküche im Plan von 1957

und zur notwendigen Vorratshaltung ein Gewölbekeller wie in Bild 19 eingezeichnet. Kartoffeln und Äpfel wurden nämlich nicht pfundweise gekauft, sondern zentnerweise vom Bauern mit einem Pferdegespann angeliefert. Auch selbst eingelegtes Sauerkraut und Eier im Wasserglas wurden im Herbst für den Winter im Keller gelagert. Der Gewölbekeller ist 85 cm (= vier Stufen) tiefer gelegt worden als das übrige Bodenniveau. Der Raum über dem Gewölbe bis zur Unterseite des Erdgeschossbodens wurde zur Erhöhung der Speichermasse (Minderung der Außenklimaschwankungen) mit Lehm aus dem Aushub und Bauschutt verfüllt, an der Gewölbeoberseite mindestens 25 cm, zu den Seiten entsprechend der Wölbung zunehmend mehr. Alle Erdarbeiten erfolgten übrigens mit Spaten und Schaufel ohne Bagger und auch ein Kran stand nicht zur Verfügung. Trotzdem waren für den Roh- und Ausbau bis zum Einzug nur sechs Monate erforderlich!

2.5 Lüften und Luftwechsel

Schon Mitte des 19. Jahrhunderts hat Max von Pettenkofer (Bild 20) grundlegende Untersuchungen über die Raumlüftung durchgeführt. Anlass waren die Verhältnisse in Räumen mit größeren Menschenansammlungen wie Kasernen, Schulen, Gaststätten oder Krankenhäusern. Er untersuchte die Luftqualität in solchen Räumen und fand, dass der Kohlendioxydgehalt der Raumluft (CO_2) dafür ein objektives Indiz ist. Seine Untersuchungen fasste er mit der Folgerung zusammen, »dass uns keine Luft behaglich ist, welche in Folge von Respiration und Perspiration der Menschen mehr als 1 pro mille Kohlensäure enthält. Wir haben somit ein Recht, jede Luft als schlecht und für einen beständigen Aufenthalt als untauglich zu erklären, welche mehr als 1 pro mille Kohlensäure enthält« [97]. Seitdem wird diese Zahl bis heute ›Pettenkofer-Zahl‹ genannt. Das ist ein Richtwert, der nicht nur die Umwandlung von Sauerstoff in Kohlensäure durch das Atmen der Menschen beinhaltet, sondern auch die menschliche Perspiration (Ausdünstung). Letztere wird unter heutigen Verhältnissen der Körperhygiene sicher ein geringerer Anteil sein als damals. Unter heutigen Bedingungen kann man daher wohl auch 2‰ CO_2 akzeptieren (nach Adhoc-Arbeitssgruppe Innenraumrichtwerte des Umweltbundesamtes). Für Pettenkofer war nicht der CO_2 -Gehalt an sich das Problem, sondern er benutzte gewissermaßen den CO_2 -Gehalt als Tracer-Gas, das leicht zu messen und als Kriterium für den Austausch mit der Außenluft geeignet ist, die einen niedrigeren CO_2 -Gehalt hat, nämlich 0,03 %.

›Pettenkofer-Zahl‹



Bild 20: Max von Pettenkofer (1818–1901) im Alter von etwa 70 Jahren. Er war Inhaber des ersten Lehrstuhls für Hygiene in Deutschland (siehe auch [43]).

Eigene Messungen von Pettenkofer

Dieses Thema soll durch folgende Schilderung Pettenkofers in Originalfassung ergänzt werden: »*Im Hörsaal von Liebigs Laboratorium in München werden alljährlich Abendvorlesungen von 6 bis 7 Uhr für ein aus Herren und Damen gemischem Publikum gehalten* [wohl eine Art heutiger Volkshochschule, Anm. d. Verf.]. Bei diesen Abendvorlesungen sind meist über 300 Personen anwesend und der Saal gedrängt voll. Gegen Ende der Vorlesung ist die Luft meist etwas drückend und unangenehm, und wohl niemand würde ohne Nachtheil für die Gesundheit im Stande seyn, diese Luft auf längere Zeit zu atmen.« Am 21. März 1857, um abends 7 Uhr nach Ende der Vorlesung hat Pettenkofer, der solche Messungen stets selbst durchführte, einen CO₂-Gehalt von 3,22 p.m. gemessen.

Verhältnisse in Wohnräumen

Bei Wohnbauten war in früheren Jahrzehnten das Lüften in der Regel kein Problem, da bei den gegebenen Fugen und Undichtheiten im Gebäude der Luftaustausch offensichtlich ausreichend war, um verbrauchte Luft und Wohnfeuchte abzuführen. Eher war das Gegenteil, d.h. das Verschließen und Abdichten von Undichtheiten erforderlich, um unangenehme Zugerscheinungen zu vermeiden.

Selbstlüftung

Man bezeichnete den natürlichen Luftwechsel durch Undichtheiten früher als »Selbstlüftung« [17]. Dies ist eine bessere Bezeichnung als der heute leider häufig verwendete Begriff »Infiltration«, der das Eindringen eines Fremdstoffes in eine andere Substanz bedeutet, wie z.B. das Eindringen eines krankheitserregenden Stoffes oder eine ideologische Unterwanderung (nach Duden). Außerdem versteht man mit dem Wort Infiltration in der Abwassertechnologie das Eindringen von Grundwasser in undichte Abwasserrohre, das die Abwassermenge nachteilig erhöht. Andererseits bedeutet Exfiltration den Verlust von Abwasser durch undichte Rohre, der das Grundwasser belasten kann. Zwischen der Selbstlüftung durch Undichtheiten und einer gewollten dosierten Lüftung besteht aber kein prinzipieller Unterschied; deshalb ist die Bezeichnung Infiltration statt Selbstlüftung falsch.

Einfachverglasung als Kondenstrockner

Ein weiterer Gesichtspunkt ist bei der früheren Einzelofenheizung zu bedenken. Durch den Kaminzug wurde im Winter – zusätzlich zu den üblichen Undichtheiten – der Grundluftwechsel verstärkt. Außerdem waren die Fenster meist einfach verglast. Damit waren sie im Winter die kältesten Flächen in einem Raum und wirkten wie ein Kondenstrockner. Für das am Fenster ablaufende Kondenswasser war eine Rille im Fensterbrett eingefräst (zum Teil in Verbindung mit einem in der Wand eingebauten Auffanggefäß) und das angefallene Wasser musste von Zeit zu Zeit entfernt werden.

Schachner schreibt 1926 über die Selbstlüftung Folgendes [17]: »Der natürliche Luftwechsel ist unter normalen Verhältnissen bei guten Baukonstruktionen gering, kann sich aber bei starkem Windanfall und mangelhafter Bauausführung so steigern, daß manche Räume überhaupt nicht bewohnbar sind. In der Regel wird in der Praxis damit gerechnet, daß sich der Luftinhalt eines Raumes bei den üblichen Bauverhältnissen einmal in der Stunde erneuert.« Danach waren die ›normalen‹ Undichtheiten früher wohl größer als heute, auch noch vor der nun geforderten sorgfältigen Abdichtung.

Luftwechselzahl 1926

Recknagel hat sich schon Anfang des 20. Jahrhunderts mit dem Luftaustausch in Räumen aufgrund vorhandener Undichtheiten und Temperaturdifferenzen zwischen Raumluft und Außenluft befasst. Er definierte etwa in der mittleren Raumhöhe eine ›neutrale Zone‹. Unterhalb dieser Zone dringt Kaltluft von außen durch Fugen ein und oberhalb dieser Zone strömt Warmluft aus [37]. Deshalb können vom unteren Fensterrand unangenehme Zugerscheinungen ausgehen, die oft abgedichtet werden (Bild 21).

Die Selbstlüftung durch Undichtheiten in den Wohnungen bewirkte eine gewisse Grundlüftung, die aber für den Luftaustausch zur Minderung der Wohnfeuchte bei stärkerer Belastung allein nicht ausreichte. In der bereits erwähnten Anleitung für Arbeiterfrauen aus dem Jahr 1882 [18] wird daher folgender Rat erteilt: »Darum denke, liebe Lese-

Lüftungsvorschlag 1882



Bild 21: Fenster mit Abdichtung

rin, zumal wenn Du im Wohnzimmer zugleich kochen und vielleicht sogar waschen musst, dass Du beständig einen Fensterflügel oder wenigstens ein Oberlicht geöffnet hältst und unterlasse nicht, recht oft im Tage auf kurze Zeit Fenster und Thüre gegeneinander zu öffnen, um desto stärkere Luftreinigung zu erzielen.« Bei der damaligen Feuchteproduktion durch Waschen und Kochen und der Belegungsdichte der Wohnungen war dieser Rat sicher angebracht.

Lüftungsvorschlag 1926

Rund ein halbes Jahrhundert später schlägt Schachner zur schnellen Abführung von Speisegerüchen, Tabakrauch und Wasserdunst das kurze, vollständige Öffnen der Fenster vor [wir nennen das heute Stoßlüftung], wobei er davon ausgeht, dass keine Personen im Raum sind, und führt dann weiter aus [17]: »Zur länger dauernden Lüftung von Räumen [wir nennen das heute Spaltlüftung] eignen sich in der Regel nur die oberen zum Kippen eingerichteten Fensterteile, die sog. Kippflügel oder Oberlichtfenster. Infolge ihrer Lage treten bei diesen Zugerscheinungen weniger heftig auf. Kippflügellüftung ist für einen großen Teil des Jahres bei Mangel anderer Lüftungseinrichtungen als sehr wertvoll zu bezeichnen.« Es wurden also die zwei Lüftungsmöglichkeiten ›Durchzug‹ und ›Kippflügellüftung‹ empfohlen. Beachtenswert und zum Nachdenken anregend ist auch die folgende Aussage aus diesem Buch: »Die Lüftung von Räumen durch das Öffnen der Fenster wird vielfach in Laienkreisen als wesentlich vorteilhafter erachtet als die Lufterneuerung mittels künstlicher Lüftungsanlagen, da man von der Annahme ausgeht, dass hierdurch nicht nur die Anlage dieser Lüftungseinrichtung, sondern auch die Betriebskosten erspart würden.«

Schimmelbildung früher selten

In älteren Schriften findet man keine Hinweise oder Klagen über Schimmelpilzbildung an Wänden. Dies ist überraschend, wenn man bedenkt, wie aktuell dieses Thema heute ist. Nicht einmal in der »Anleitung für Arbeiterfrauen« aus dem Jahr 1882 [18] wird etwas dazu erwähnt, während die Vertilgung des Ungeziefers als einer der wichtigsten Punkte in einem besonderen Abschnitt des Büchleins behandelt wird. Dies ist folgendermaßen zu erklären:

1. Die Wandoberflächen bzw. die Wandanstriche waren für Pilzwachstum biologisch nicht oder kaum verwertbar.
2. Die Raumluft war stärker durch fungizide Zusätze verschmutzt als heute.

Diese Aussagen werden aus Literaturstellen damaliger Veröffentlichungen abgeleitet:

Schachner schreibt in [17]: »*Innere Niederschläge aus feuchter Luft (Schwitzwasser) an kalten Außenmauern kommen viel häufiger vor als im allgemeinen angenommen wird, Vielfach werden sie aber kaum beachtet oder auch nicht als solche erkannt. Häufig treten sie auch geraume Zeit nicht sehr in Erscheinung, da der Mauerverputz die Feuchtigkeit aufnimmt und sie bei günstigen Luft- und Temperaturverhältnissen wieder abgibt. Bei Kalktünchung ohne Beimengung organischer Substanzen ist vorübergehendes Auftreten solcher Feuchtigkeit kaum wahrnehmbar. Wo jedoch organische Stoffe vorhanden sind, z. B. bei Leimfarbenanstrichen, Tapezierung, bewirkt Niederschlagsfeuchtigkeit sehr bald Zersetzung, Schimmelpilzbildung, Ablösung usw.*«

Von Siedler (1932) ist folgende Literaturstelle aufschlussreich [9]: »*In feuchten Räumen entstehen über Nacht Schimmelpilze an den Wänden, Einrichtungsgegenständen, Kleidern und Lebensmitteln.*« Diese kurze und etwas undifferenzierte Aussage deutet darauf hin, dass weniger die Temperatur (Tauwasser) als vielmehr die biologische Verwertbarkeit (Lebensmittel) die Ursache der Schimmelbildung war. Und die Formulierung »über Nacht« deutet auf eine gewisse Zeitdauer für die Auskeimung nach dem Sporeneintrag hin.

Ein früher üblicher Anstrich mit ‚Kalkmilch‘ hat aufgrund seiner alkalischen Eigenschaft die Schimmelpilzbildung an Wänden vermieden. Und da solche Anstriche relativ häufig erfolgten, war diese Wirkung dauerhaft. Hierzu ist folgende Mitteilung über das bäuerliche Leben in Oberbayern aus dem Jahr 1855 aufschlussreich [38]: »*Im Frühjahr und Herbst werden Stuben, Kammern, Fletz, diemalen der Stall und auch das Äußere des Hauses frisch mit Kalk geweißt, welches kaum von den Ärmsten unterlassen wird.*« Das häufige Überstreichen erfolgte aus hygienischen Gründen wegen der sichtbaren und oft intensiven Verschmutzung der Wände durch Fliegendreck. Vor allem in ländlichen Bereichen mit einem Misthaufen vor jedem Haus, aber nicht viel weniger auch in der Stadt, war die Fliegenplage groß. Dafür ist in der Biografie von Pettenkofer durch einen späteren Kollegen, Professor für Hygiene und Bakteriologie, ein überzeugendes Beispiel zu finden [39]. Hiernach berichtete Pettenkofer über einen Urlaub in Kiefersfelden/Obb. Folgendes: »*Die Sommerfrische war damals noch etwas primitiv und so kam es vor, dass in der Küche der Knödelteig scheinbar mit einem schwarzen Deckel zugedeckt war. Aber es war eine Masse Fliegen, die bei näherer Beschauung summend in die Höhe flogen.*«

Kalkanstrich als Schimmelschutz

Luftverunreinigung

Zur zweiten oben angeführten Ursache für den früher geringen Schimmelbefall, nämlich die Luftverunreinigung, ist eine Schilderung von Graf Rumford über die Verhältnisse in London aus der Zeit Ende des 18. Jahrhunderts interessant, die jener nach [29] überliefert hat. Darin klagt Rumford in lyrisch gewählten Worten über »*die dicke schwarze Wolke, die unaufhörlich über dieser großen Stadt [London, Anm. d. Verf.] hängt*« und meint über ihre Herkunft Folgendes: »*Diese dichte Wolke besteht gewiss fast ganz aus nicht verbrannter Steinkohle, die auf den von den unzähligen Feuern in dieser großen Stadt erborgten Flügeln aus den Schornsteinen entschlüpft und in der Luft so lange herumschwirrt, bis sie die verflüchtigende Hitze verloren hat und als ein trockener höchst feiner schwarzer Staubregen, der bei seinem Niederfallen die Luft verfinstert und oft das heiterste Tageslicht in mehr als ägyptische Finsternis verwandelt, zu Boden sinkt.*«

Über die Verhältnisse am Ende des 19. Jahrhunderts wird Ähnliches berichtet [40]: »*Die Bevölkerung in den größeren Städten hatte unter der Verschmutzung und dem Rauchgeruch durch Industrieanlagen zu leiden. Der Geruch nach Rauch erschien zwar vielen Bewohnern als unvermeidbare Begleiterscheinung des wirtschaftlichen Fortschritts. Die Geruchsorgane der Städter stumpften aber allmählich ab und nahmen den Geruch gerade noch in unmittelbarer Nähe der Emissionsquelle oder bei extremen Witterungsbedingungen als Belästigung wahr.*« Vielleicht war das auch ein Grund für die Flucht in die Idylle des Landlebens in jener Zeit. Als die übermäßige Rauchentwicklung sogar die Vegetation in hohem Grade schädigte, gingen einige Städte zu Beginn des 20. Jahrhunderts dazu über, behördliche Rauchinspektoren einzuführen, welche die Verursacher veranlassten, geeignete Gegenmaßnahmen zu ergreifen.

Diese Schilderungen zeigen eindrucksvoll, wie sich die Verhältnisse durch die Industrialisierung geändert haben. Heute herrschen noch z.B. in China ähnliche Verhältnisse, wo sich die Menschen bei entsprechenden Umweltverhältnissen nur mit Atemschutzmaske im Freien bewegen können. Älteren Menschen sind sicher auch noch der Kohlenstaub in der Luft und die Schwärzung der Hausfassaden im ›Kohlenpott‹ in Erinnerung.

›Atmen von Wänden‹

Das Kapitel »Lüften und Luftwechsel« kann nicht abgeschlossen werden, ohne auf die immer wieder auftretende Frage des Atmens von Wänden einzugehen, wenngleich schon oft dargelegt worden ist, dass es ein Atmen im Sinne eines Austauschs von Raumluft und Außenluft durch die Wände hindurch nicht gibt (z.B. [41]). Dies ist eine Er-

kenntnis, die schon von J. S. Cammerer in einem längst vergriffenen Fachbuch aus dem Jahr 1936 geklärt worden ist, die aber die Zäsur durch den Zweiten Weltkrieg nicht überstanden hat [42]. Verursacher dieser Meinung war der schon erwähnte Max von Pettenkofer, der im 19. Jahrhundert ein international angesehener Wissenschaftler war, und es dürfte nicht uninteressant sein, wie er zu dieser Hypothese gekommen ist (siehe auch [43]).

Im 19. Jahrhundert traten in München hin und wieder Todesfälle durch Vergiftung infolge von Leuchtgas auf, das damals zur nächtlichen Beleuchtung von Gebäuden und Straßen diente. Solche Todesfälle führte Pettenkofer auf geborstene Gasleitungen in den Straßen zurück. Da solche Fälle bevorzugt im Winter auftraten und seltsamerweise auch in Gebäuden, die gar nicht an die Gasleitung angeschlossen waren, hatte Pettenkofer dafür folgende Erklärung [44]: »*Ich erkläre mir das Eindringen des Leuchtgases durch die Strasse hindurch ins Haus vorwaltend oder ausschliesslich zur Winterszeit aus dem Zuge, welchen das Haus in der Grundluft, in der es mit seinem Fusse steht, dadurch verursacht, dass es im Innern wärmer ist als die äussere Luft, so dass es wie ein geheizter Kamin auf seine ganze Umgebung wirkt. Unter diesen Umständen saugt, wie wir uns gewöhnlich ausdrücken, das Haus von allen Seiten Luft an. [...] Auf diese Art ventiliren sich unsere Häuser im Winter, wo wir Fenster und Thüren gut geschlossen halten, nicht nur durch die Mauern, sondern auch durch den Grund, den Boden des Hauses hindurch. Ist in der umgebenden Grundluft Leuchtgas oder ein anderer penetrant riechender Stoff, so wird dies natürlich auch mitgenommen.*«

Leuchtgasvergiftung

Pettenkofer berichtet in seinen populären Vorträgen [44] über einige Fälle zur Verdeutlichung des geschilderten Sachverhalts, von denen im Folgenden einer davon zitiert wird, wodurch auch der populäre Stil der Vorträge erkennbar wird: »*Vor etwa 14 Jahren in einer bairischen Stadt, in einem katholischen Pfarrhöfe wohnten mehrere Capläne zu ebener Erde in Zimmern nebeneinander. Eines Morgens kommt einer der Herren zur Zeit, wo er Messe lesen sollte, nicht zum Vorschein, man geht in sein Zimmer, und findet ihn bewusstlos, ohnmächtig liegen. Man ruft den Arzt, der in seiner Diagnose gar nicht zweifelhaft ist, und sie sofort mit Bestimmtheit auf perniciösen Typhus stellt, der damals gerade in der Stadt herrschte. Ein Wärter und nach ihm eine barmherzige Schwester wurden zur Pflege befohlen, diese hatten sich nur wenige Stunden beim Kranken im Zimmer befunden, als sie unter ähnlichen Symptomen, wie der Kranke, den sie zu pflegen hatten, ohnmächtig wurden und fortgetragen werden mussten. Offenbar waren auch sie von dieser bös-*

artigen Form des Typhus angesteckt, und da der Kranke ständig schlechter wurde, telegraphirte man seinen Eltern, sie möchten schleunigst kommen, wenn sie ihren Sohn vor seinem Tode, zu dem er eben vorbereitet werde, noch sehen wollten. Diese Trauerbotschaft verbreitete sich auch rasch im Pfarrsprengel, wo der junge Priester sehr geachtet und beliebt war. Eine ältere Bürgersfrau liess sich trotz ärztlichen Verbots, und trotz Gefahr der Ansteckung nicht abhalten, dem guten Herrn ihr letztes Lebewohl zu sagen. Die Frau war Gastwirthin, und als sie ins Zimmer des Caplans trat, sagte sie: »Da geht Gas aus, das kenne ich von daheim.« Man entgegnete ihr, das sei unmöglich, im ganzen Pfarrhof sei keine Gasflamme, oder Gasröhre, der Geruch sei schon mehreren aufgefallen, er röhre theils von den Ausdünstungen des Kranken, theils von den Abritten her. – Aber die Frau hatte einen zu gesunden Menschenverstand, sie liess sich nicht irre machen und abhalten, ihren geistlichen Herrn, der zwar bisher phantasirte, aber nun bei offenem Fenster etwas zu sich kam, aus dieser Atmosphäre in ihren Hotelwagen zu betten, obwohl der behandelnde Arzt wiederholt erklärte, der Mann sei moribund und nicht transportabel. Es würde mich zu lange aufhalten, den ganzen Roman zu schildern, der sich daran knüpfte, aber die Translocation hatte so ausgezeichneten Erfolg, dass der Kranke in frischer Luft schon nach einer halben Stunde völlig zur Besinnung kam, und gar nicht glauben wollte, dass er den Typhus habe. Am selben Abend noch verspürte er guten Appetit. [...] Die Bürgersfrau hatte bereits in die Gasfabrik geschickt, man brach den gefrorenen Strassenboden auf, und fand die Gasleitung etwa 20 Fuss von der Umfassungsmauer des Pfarrhofes geborsten. Sie wurde reparirt und alle typhösen Erscheinungen im Pfarrhofe waren beendet.«

Pettenkofers Kerzenversuch

Für Pettenkofer war die ›Grundluft‹ eine Parallele zum ›Grundwasser‹. Durchlässige Böden, in denen sich die Grundluft verteilen und ausbreiten kann, sah er mit als eine Ursache für die Verbreitung der Cholera. Seine Hypothese der Luftdurchlässigkeit des Bodens und der Wände war für ihn eine Realität, nachdem sie durch den in Bild 22 beschriebenen Kerzenversuch bestätigt schien. Diesen Versuch führte Pettenkofer stets in seinen Vorlesungen vor. Allerdings ist zum Auslöschen der Kerze auf diese Weise ein rund 100-mal größerer Druck erforderlich als infolge Kaminsog oder Staudruck bei Wind auftritt [41]. Auch andere Untersuchungsergebnisse Pettenkofers – z. B. Luftwechselmessungen in einem Raum bei verschiedenen Randbedingungen – schienen seine Hypothese zu bestätigen [41]. Pettenkofer sprach aufgrund dieser Erfahrungen nicht vom Atmen, sondern von der Ventilation durch Außenwände. Und da Pettenkofer aufgrund seiner sonstigen Verdienste eine hohe wissenschaftliche Kompetenz besaß, seine Hypothese auch im populären Münchener Kalender von 1886 zu

lesen war (Bild 23) und von Sebastian Kneipp verbreitet worden ist, ist die lange ‚Lebensdauer‘ seines Irrtums über das Atmen von Wänden verständlich.

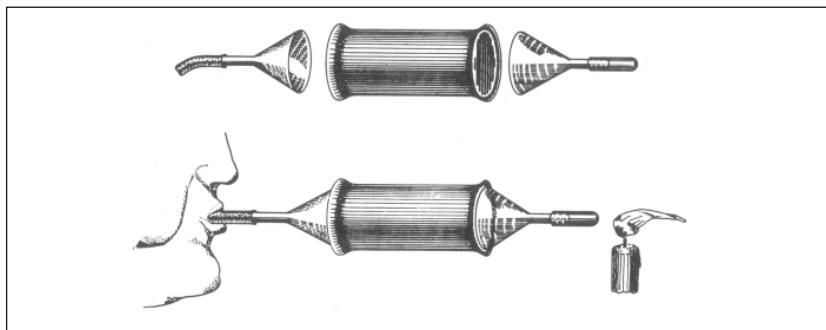


Bild 22: Kerzenversuch von Pettenkofer. Die Kerze konnte durch eine in das Rohr dicht eingebrachte Ziegel- oder Kalkputzprobe ausgeblasen werden.



Bild 23: Bild aus dem Münchener Kalender vom Jahr 1886. Der Text beginnt folgendermaßen: »Die meisten Menschen glauben, wenn sie in einem Zimmer bei wohl schließenden und verschlossenen Türen und Fenstern sitzen, dass sie dann auch von der äußeren Luft abgeschlossen seien. Diese Voraussetzung ist glücklicherweise nicht richtig, denn nicht nur, dass Fenster und Türen nie luftdicht schließen, geht auch Luft durch die Wände ohne unser Wissen und Wollen und verdünnt und reinigt die Zimmerluft [...].«

Fehlinterpretationen gab es in der Geschichte der Wissenschaft schon öfters. Man denke nur an die Phlogistontheorie zu Beginn des 18. Jahrhunderts, die einige Phänomene im Zusammenhang mit der Verbrennung erklärte, aber dann durch die schlüssigere Oxidationstheorie von Lavoisier 1785 ersetzt worden war. Heute wissen wir mehr über Struktur und Eigenschaften von Baustoffen und die verschiedenen Transportmechanismen. Aber die Kenntnisse darüber mussten erst einmal gewonnen werden und zwar in langen Prozessen des Erprobens und Forschens.

Weiterentwicklungen seit der Mitte des 20. Jahrhunderts (nach dem Zweiten Weltkrieg)

3 Bauphysik

Nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs und den Schwierigkeiten in der unmittelbaren Nachkriegszeit kann eigentlich erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts – also ab 1950 – von der Fortsetzung der Entwicklung und einer gezielten Forschung gesprochen werden.

3.1 Gründung der Freiland-Versuchsstelle Holzkirchen

Eine der ersten größeren Forschungseinrichtungen auf dem Bausektor nach dem Krieg war die 1951 von Prof. Hermann Reiher (Bild 24) vorgeschlagene und vom Wohnbauministerium geförderte Freiland-Versuchsstelle Holzkirchen des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP (Bild 25). Unter den dort aufgebauten 26 Versuchshäusern aus verschiedenen Wandbaustoffen waren folgende Wandbauarten vertreten, jeweils mit Außen- und Innenputz:

konventionelle Wände: 38 cm Vollziegel (Standardwand),
38 cm Kalksandvollsteine,

Sparwände: 24 cm Bimsbetonvollsteine, 12 cm Vollziegel – 6 cm Luftsicht – 12 cm Lochziegel,
37,5 cm Einkorn-Schüttbeton,

neue Wandart: 15 cm Porenbeton (geschosshohe Porenbetonplatten).

Hinzu kamen im Auftrag der Baustoffindustrie noch weitere damals übliche Wandbauarten, z.B. aus Schlackenbeton (Voll- und Hohlblocksteine), verschiedene Lochziegelarten, Kalksand-Hohlblocksteine und Leichtwandkonstruktionen aus Holzwolle-Leichtbauplatten sowie eine leichte Fertigwandkonstruktion (nähere Ausführungen in [26]). Durch Einbeziehung der oben genannten Standardwand und der Sparwände war für die untersuchten Wandbauarten somit eine unmittelbare Anbindung an die Bausituation zu Beginn des 20. Jahrhunderts gegeben.

Die Versuchshäuser mit einer Grundfläche von 4,5 m × 6,5 m bestanden aus einem Vorraum (Eingang als Windfang) und einem größeren und kleineren Raum (entsprechend Wohn- bzw. Schlafräum

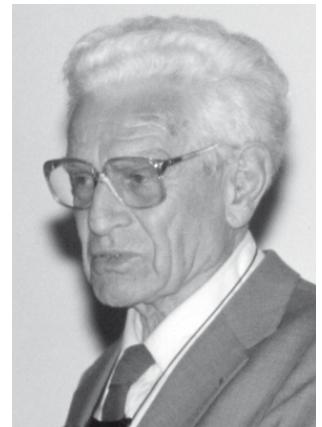


Bild 24: Prof. Dr.-Ing. Hermann Reiher (1894–1989), Gründer des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP (1929) und der Freiland-Versuchsstelle Holzkirchen (1951). Der Name des Instituts war zunächst Anstalt für Schall- und Wärmetechnik, später Institut für Technische Physik.



Bild 25: Ansicht der schachbrettartig angeordneten 26 Versuchshäuser nach der Fertigstellung 1952 von der Südseite aus. Die Außenmaße eines Hauses betragen 4,5 m × 6,5 m; Näheres in [26].

und Kleinküche). In vier Winterperioden von 1952 bis 1956 sind in den elektrisch beheizten Räumen bei definiertem Verdampfen von Wasser und gleichartigem Lüften verschiedene ›Wohnprogramme‹ simuliert worden und Wärmeverbrauch, Aufheiz- und Auskühlverhalten sowie Temperatur- und Feuchteverhältnisse erfasst worden. Damit gewann man gewissermaßen einen konkreten und vergleichbaren Einstieg zur Beurteilung der Zusammenhänge zwischen Außenklima und Raumklima sowie die hygrothermischen Zusammenhänge zwischen Raumluftfeuchte und Oberflächenfeuchte unter den Verhältnissen des Wohnbetriebs. Daraus ergaben sich weitere Fragen, die in der Folgezeit behandelt worden sind. Entgegen der ursprünglichen Aufgabe von zeitlich begrenzten Vergleichsuntersuchungen über das Verhalten unterschiedlicher Wandbauarten bei natürlicher Bewitterung ist dadurch die Forschungsstelle zu einer Dauereinrichtung mit entsprechenden Variationen und Erweiterungen der Versuchsmöglichkeiten geworden. Über Forschungsthemen, die sich im weiteren Verlauf ergeben haben, wird im Folgenden berichtet.

3.2 Regenschutz durch Außenputze

Regenbeanspruchung und Wandfeuchte

Die Versuchshäuser wurden auf Vorschlag des Materialprüfungsamtes der TU München einheitlich mit Kalkzementmörtel verputzt. Dieser Putz erwies sich bei der auf dem Versuchsgelände gegebenen Schlagregenbeanspruchung bei den meisten Bauarten – insbesondere bei 1 Stein dicken Wänden aus Blocksteinen, als unzureichend. Die Wandfeuchte war in solchen Fällen meist mehr als doppelt so hoch wie bei den weniger beregneten Wänden anderer Orientierungen bis zu sichtbarem ›Feuchtedurchschlag‹ auf der Innenseite, d. h. innen sichtbare Feuchte. Ähnliche Erfahrungen wurden bei Gebäuden einer Wohnsiedlung unweit vom Versuchsgelände entfernt gemacht, die

aus 24 cm dicken, verputzten Ziegelsplittwänden (damals aus Ziegelschutt mit Zementbindung hergestellt) etwa zur gleichen Zeit wie die Versuchshäuser erbaut worden waren. Nach wenigen Jahren mussten die Wetterseiten mit Asbestzementplatten bekleidet werden, um den Regenschutz zu verbessern.

Um die Frage zu klären, ob die Ergebnisse der Feuchtemessungen an den Versuchshäusern und die Beobachtungen an den benachbarten Häusern verallgemeinert werden können oder auf die besonders extreme, örtliche Witterungsbeanspruchung zurückzuführen waren, wurden Kontrollmessungen an Wänden von bewohnten Gebäuden im weiteren Umfeld des Versuchsgeländes vorgenommen. Bei diesen Untersuchungen wurden zum Teil ähnlich hohe Überfeuchtungen der Wetterwände gegenüber geschützteren Wänden festgestellt wie bei den Versuchshäusern; zum Teil waren die Unterschiede geringer, abhängig von der örtlichen Lage [45]. Auch wenn Feuchtigkeit auf den Wetterseiten nicht bis innen durchdringt, führt doch die erhöhte Wandfeuchte zu einer Minderung der Wärmedämmung, wodurch oft sichtbar Schimmelpilzbildung in Eckbereichen von regenbeanspruchten Wänden auftreten kann. Das erklärt, warum viele Wohnhäuser in besonders regenbeanspruchten Randgebieten von Wohnsiedlungen oft nachträglich zur Verbesserung des Regenschutzes mit Wandbekleidungen versehen worden waren, damals meist durch Asbestzementplatten. Diese Feststellungen in Verbindung mit den Messergebnissen an den Versuchshäusern waren schließlich der Anlass für systematische Untersuchungen über die Regenschutzwirkung von Außenputzen in den folgenden Jahren.

Wie sich der Mensch durch einen Regenschirm oder einen imprägnierten Regenmantel vor Regen schützen kann, gibt es auch für ein Gebäude die Möglichkeiten einer vorgesetzten Wandbekleidung – früher als Wettermantel bezeichnet – oder eines wasserabweisenden Putzes. Eine vorgesetzte Bekleidung – z.B. eine Holzschalung oder Schieferplatten – bieten auch bei starker Regenbeanspruchung einen sicheren Schutz, aber bei geringer Regenbeanspruchung ist auch ein üblicher Putz ausreichend.

Beim früheren Mauerwerk, aufgemauert aus Steinen im Läufer/Binder-Verband, unterstützten die vertikalen Mörtelfugen den Außenputz, indem sie das Einwandern der Regenfeuchte in die folgenden Mauersteine hemmten. Dies geht aus den Messergebnissen in Bild 26 hervor und ist dadurch bedingt, dass zwischen verschiedenen porösen

Kontrollmessungen an bewohnten Häusern

Generelle Möglichkeiten des Regenschutzes

Mörtelfugen als Regenbremse

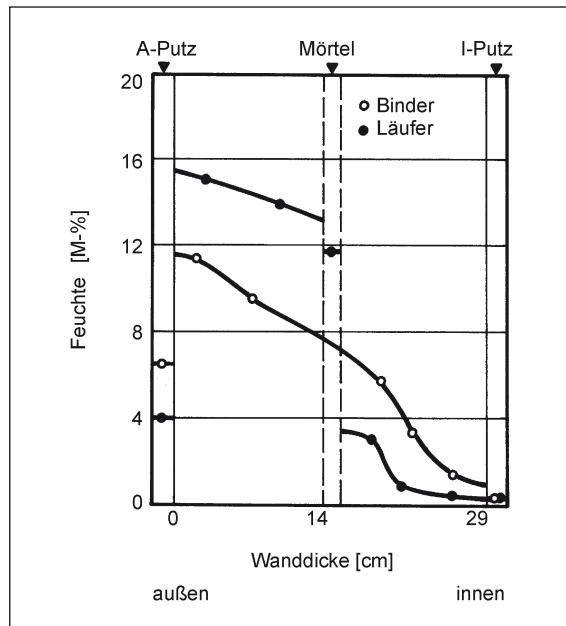


Bild 26: Feuchteverteilung in einem Binderstein und zwei Läufersteinen in der Westwand eines Versuchshauses aus verputztem Hochlochziegelmauerwerk

Stoffen (hier Mauerstein und Mauermörtel) ein Übergangswiderstand für den Kapillartransport besteht. Bei früher üblichem, dickem Vollsteinmauerwerk war daher der Regenschutz kein besonderes Problem, wie ein Vergleich der Bilder 27 und 28 erkennen lässt. Es handelt sich in diesen Bildern um Bereiche von mehreren Messungen der Feuchteverteilung in Wänden von Versuchshäusern ohne Berücksichtigung der Steinlage.

Beim heutigen Mauerwerk aus Mauerblöcken entsprechend der Wanddicke entfällt die zusätzliche Regenschutzwirkung der vertikalen Mörtelfugen; der Regenschutz muss dann allein durch den Außenputz bewirkt werden.

Untersuchungen an Mauerproben

Um den Einfluss von Außenputzen auf verschiedenen Mauerarten bei natürlicher Bewitterung zu erfassen, wurden weitere Untersuchungen an Wandproben in folgender Art vorgenommen: In Rahmenkonstruktionen aus Holz mit Abmessungen von 50 cm × 50 cm (gegen Feuchtigkeit seitlich abgedichtet) wurde das Mauerwerk mit dem zu prüfenden Außenputz und einem Innenputz handwerksgerecht ausgeführt. Von zwei Proben gleicher Art wurde eine nach Westen (Wetterseite) und die andere auf der geschützteren Ostseite eines Versuchsstandes eingesetzt, dessen Innenraum im Winter beheizt worden

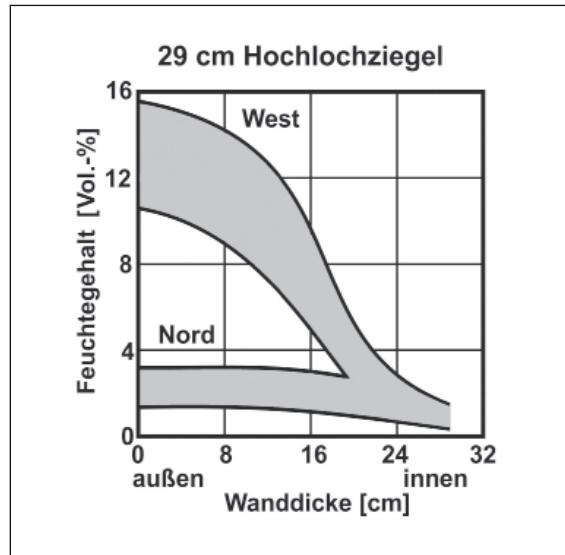


Bild 27: Verteilung der Wandfeuchte in der Nord- und Westwand eines Versuchshauses mit Wänden aus 29 cm dickem Hochlochziegel-Mauerwerk (Bereiche mehrerer Messungen), nach [26]

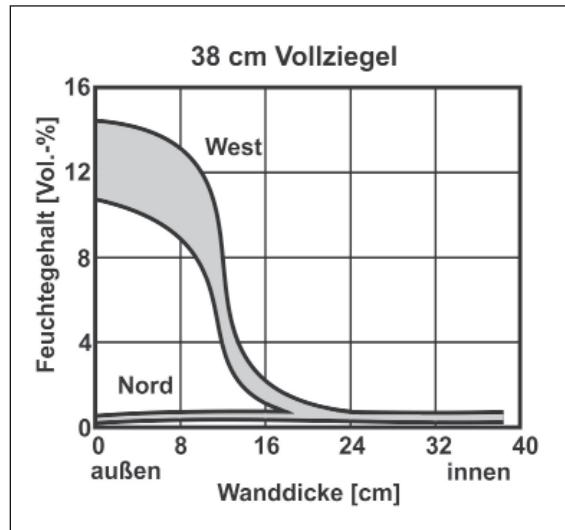


Bild 28: Verteilung der Wandfeuchte in der Nord- und Westwand eines Versuchshauses mit Wänden aus 38 cm dickem Vollziegel-Mauerwerk (Bereiche mehrerer Messungen), nach [26]. Durch vertikale Mörtelfugen wird das Einwandern der Regenfeuchte erkennbar reduziert.

war. Durch zeitweiliges Entnehmen und Wiegen der Proben konnte der Zeitverlauf der mittleren Wandfeuchte bei den gegebenen Witterungsbedingungen ermittelt werden. Bild 29 a + b zeigt einen Teil der Außenansicht mit Versuchsproben und den Innenraum des 1956 gebauten Versuchsstandes [46].

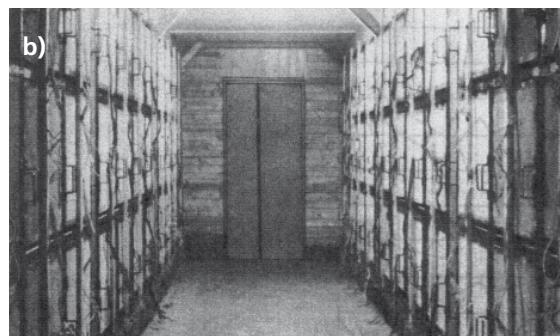
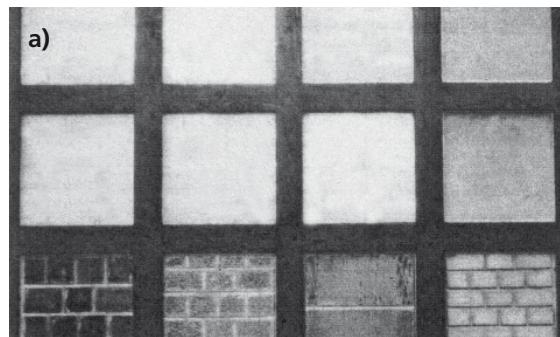


Bild 29 a + b: Versuchsstand zur Prüfung verputzter Mauerproben bei natürlicher Bewitterung (1956).
a) Ansicht einiger verputzter und unverputzter Wandproben,
b) Innenansicht



Bild 30 a + b: Neuer Versuchsstand.
a) Außenansicht, b) Innenansicht.
Mithilfe des Gabelstaplers können die Wandproben auf eine Waage gesetzt werden.

Da sich diese zerstörungsfreie Ermittlung an ein und derselben Wandprobe gut bewährt hat, wurde später ein neuer Versuchsstand mit einer komfortableren Technik erbaut, in dem weitere Untersuchungen, u. a. an Fachwerkkonstruktionen und Natursteinwänden durchgeführt worden sind (Bild 30 a + b).

Ein Beispiel der Untersuchungsmöglichkeit in dem Versuchsstand wird durch Bild 31 demonstriert, in dem zu erkennen ist, wie sich unterschiedliche Mengen des Hydrophobierungsmittels auf den Feuchteverlauf auswirken. Dies zeigt gleichzeitig, wie wichtig die Dosierung des Zusatzmittels ist und dass bestimmte angestrebte Putzeigenschaften eine exakte Mischung der Mörtelkomponenten erfordern, wie es nur durch Herstellung in Mörtelwerken möglich ist (Werkmörtel).

Der Sieblinie des Sandes kommt damit nicht mehr die Bedeutung für die Putzeigenschaften zu, die man früher vermutet hatte (Kapitel 1.2). Eher kommt es auf die Maschinengängigkeit des maschinell aufzutragenden Putzmörtels an. Die Körnung des Sandes ist lediglich für die gewünschte Putzstruktur maßgebend (Rauputz, Glatputz, spezieller Strukturputz).

Bei genauer Betrachtung der Zeitverläufe der Putzproben mit unterschiedlichen Zugaben des Hydrophobierungsmittels in Bild 31 wird

Untersuchungsbeispiel

Sieblinie des Putzsandes zweitrangig

Prinzip des Regenschutzes durch Putze

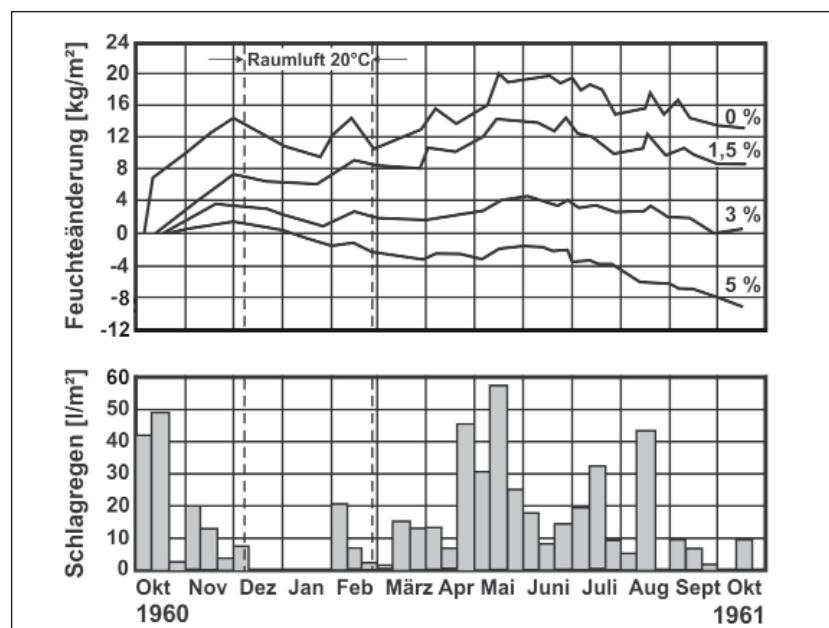


Bild 31: Gravimetrisch (im Prüfstand Bild 29) ermittelte Feuchteänderungen von Porenbetonproben – Mauerproben mit Kalkzementputz bei unterschiedlichen Zugaben eines Hydrophobierungsmittels, abgestuft von 0 bis 5 % im Verlauf eines Jahres mit Angabe der Schlagregenmengen (Westorientierung). Von Dezember bis Februar war der Innenraum des Versuchsstandes auf 20 °C beheizt.

ersichtlich, dass die langfristige Zunahme der Wandfeuchte bei keiner oder nur geringer Zugabe darauf zurückzuführen ist, dass die Feuchtezunahme in den Regenperioden größer ist als die Abnahme in den anschließend zur Verfügung stehenden Trocknungsperioden. Dies hängt von den gegebenen Beregnungs- und Trocknungsperioden ab, aber auch von den Materialeigenschaften. Noch deutlicher geht das aus den Feuchteverläufen in Bild 32 hervor, in dem die Ergebnisse von Porenbetonproben mit üblichem Putz und mit optimal hydrophobiertem Putz im Vergleich zu unverputztem Porenbeton dargestellt sind. Am Anfang der Feuchteverläufe sind nahezu gleiche Zunahmen der unverputzten und der mit üblichem Putz versehenen Proben zu erkennen, aber die anschließende Trocknung verläuft bei der verputzten Probe wesentlich langsamer. Entsprechendes ist in den weiteren Verläufen festzustellen: Die verputzte Probe nimmt zwar weniger Feuchtigkeit auf als die unverputzte, trocknet aber anschließend deutlich langsamer, wodurch eine ‚Feuchteaufschaukelung‘ entsteht. Man darf somit bei der Beurteilung des Regenschutzes nicht nur die regenbedingte Wasseraufnahme betrachten, die anschließende ‚Rücktrocknung‘ ist genauso wichtig. Der Feuchteverlauf der Probe mit hydrophobiertem Putz in Bild 32 stellt den Idealfall dar: eine stetige Abnahme der zunächst erhöhten Anfangsfeuchte ohne Beeinflussung durch die Beregnung.

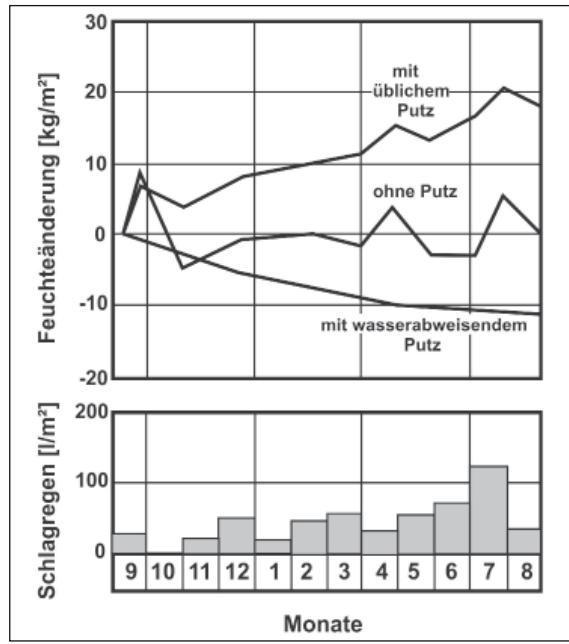


Bild 32: Gravimetrisch ermittelte Feuchteänderungen (wie bei Bild 31) von Wandproben ohne Außenputz, mit üblichem und wasserabweisendem Außenputz im Verlauf eines Jahres mit Angabe der monatlichen Schlagregenmenge (Wetterseite)

Die Wasseraufnahme bei Beregnung und die jeweils anschließende Trocknung müssen so aufeinander abgestimmt sein, dass bei der gegebenen Bewitterung die Trocknung überwiegt. Denn auch erhöhte Baufeuchtigkeit und zusätzliche Feuchteeinwirkungen (z. B. durch das Wohnen) müssen abgeführt werden können. Dies ist durch Reduzierung der Wasseraufnahme bei Beregnung und Verbesserung der Trocknung möglich, wobei die erstgenannte Maßnahme am wirksamsten ist. Beide Vorgänge hängen von den meteorologischen Einflüssen und von materialtechnischen Eigenschaften der Putze ab.

Eine Bewertung kann nur aufgrund einer stark vereinfachten Betrachtung der wesentlichen Grundeigenschaften erfolgen, die im Folgenden gegenübergestellt werden (ausführlichere Darstellung in [46])

Festlegung der Regenschutz-Anforderungen

- **Wasseraufnahme bei Beregnung:** Die kapillare Wasseraufnahme des Putzes bei Kontakt mit flüssigem Wasser wird durch den **Wasseraufnahmekoeffizienten w [kg/m² · h^{0.5}]** nach DIN 52617 beschrieben. Die kapillare Weiterleitung aus dem feuchten Putz in das angrenzende Mauerwerk hängt von dessen spezifischen Eigenschaften ab, die aber in diesem Fall als sekundär bezeichnet werden können.
- **Wasserabgabe bei Trocknung:** Nach Trocknung der benetzten Putzoberfläche setzt ein Feuchtetransport vom feuchten Putz und angrenzenden Mauerwerk ein, der von deren feuchtetechnischen Kapillareigenschaften und Dampfdiffusion abhängt. Wenn der Außenputz eine geringe kapillare Leitfähigkeit besitzt (hydrophob), dann hängt die Trocknung des Mauerwerks in erster Linie von der Wasserdampfdurchlässigkeit des Putzes ab, ausgedrückt durch die **diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d [m]** des Putzes nach DIN 52615.

Weitere Erläuterungen hierzu sind in [47] und [48] zu finden. (In Veröffentlichungen vor 1968 ist statt des w -Werts die Wasseraufnahme innerhalb sechs Stunden und statt des s_d -Werts der Durchlasswiderstand angegeben, da die neueren Werte damals noch nicht eingeführt waren.

Untersuchungen der beschriebenen Art ermöglichten eine Zuordnung der w - und s_d -Werte von Außenputzen, die bei der gegebenen klimatischen Beanspruchung auf dem Versuchsgelände einen ausreichenden Regenschutz gewährten. Verständlicherweise waren an solchen Untersuchungen vorwiegend Firmen interessiert, die Kunststoffgebundene Beschichtungen bzw. Putze herstellten, deren Langzeitverhalten noch nicht ausreichend erprobt war. Aber auch Hersteller von mineralischen Werkmörteln waren an solchen Untersuchungen interessiert.

Aus den über Jahre hinweg gesammelten Untersuchungsergebnissen ergab eine kritische Sichtung Anforderungen für wasserabweisende Außenputze, die 1968 in der Zeitschrift »Kunststoffe im Bau« veröffentlicht worden sind mit folgendem Ergebnis [48], [49]:

Anforderungen an wasserabweisende Putze

Ein Außenputz erhält das Prädikat ›wasserabweisend‹, wenn zwischen der Wasseraufnahme w und der Trocknungsmöglichkeit s_d des Putzes die Beziehung erfüllt ist:

$$w \cdot s_d \leq 0,1 \text{ kg/m} \cdot \text{h}^{0,5}$$

mit den zusätzlichen Randbedingungen $w \leq 0,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$ und $s_d \leq 2,0 \text{ m}$. Die Begrenzung dieser Messgrößen erfolgte aus folgenden Überlegungen:

$w \leq 0,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$: Der Wasseraufnahmekoeffizient soll diesen Wert nicht überschreiten, auch wenn die Trocknung langfristig gesichert wäre, um eine kurzfristige Feuchteerhöhung zu begrenzen (Beeinflussung der Wärmedämmung durch erhöhte Feuchte).

$s_d \leq 2,0 \text{ m}$: Der Wert soll begrenzt sein, auch wenn der w -Wert sehr klein ist, um stärkere Feuchteerhöhungen im Bereich von möglichen Fehlstellen im Putz zu vermeiden.

Die Hyperbelfunktion $w \cdot s_d = 0,1$ bedeutet Folgendes: Bei großer Wasseraufnahme muss eine entsprechend gute Trocknungsmöglichkeit gegeben sein (kleiner s_d -Wert) und bei geringer Wasseraufnahme darf der s_d -Wert größer sein. Da die Witterungsverhältnisse auf dem Versuchsgelände bei Holzkirchen im Vergleich zu anderen Orten in Deutschland nachweislich im extremen Bereich liegen [50], können diese Ergebnisse allgemein als zutreffend bei starker Schlagregenbeanspruchung in Deutschland gelten.

Wasserhemmende Putze

Ein Außenputz, der die Wasseraufnahme bei häufiger oder intensiver Beregnung nicht ausreichend reduziert, kann den erforderlichen Regenschutz nicht erbringen. Andererseits ist bei geringer Regenbeanspruchung entsprechend den örtlichen klimatischen Bedingungen oder bei einer Schutzwirkung durch angrenzende Bebauung auch ein weniger wasserabweisender Putz geeignet. Deshalb wurden ›wasserhemmende Außenputze‹ definiert. Ein Putz gilt bei folgender Anforderung an den Wasseraufnahmekoeffizienten als wasserhemmend:

$$w \leq 2,0 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$$

Da übliche Mauersteine w -Werte von mindestens $5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$ und häufig mehr aufweisen, wird die Wasseraufnahme durch einen Putz mit $w \leq 2,0 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$ merklich reduziert.

Vor diesen Überlegungen und Untersuchungen erfolgte die Beurteilung der Schlagregendichtheit von Wänden meist aufgrund von Beregnungsversuchen. Im norwegischen Bauforschungsinstitut wurde die Schlagregendichtheit von Wandkonstruktionen und Fenstern an Versuchskörpern von 60 cm Breite und 120 cm Höhe geprüft, die vor und nach der Beregnung durch künstlich erzeugten Schlagregen gewogen und anschließend zur Feststellung der Durchfeuchtungsverhältnisse zerlegt worden sind. Im Hauptlabor Garston des englischen Bauforschungsinstituts wurden im Freien stehende Versuchswände (Breite 125 cm, Höhe 250 cm) mit einer Sprühapparatur (ohne Wind) beregnet. Dabei wurde lediglich beobachtet ob, wann und in welchem Ausmaß auf der Rückseite der Wände ein Feuchtedurchschlag auftritt. Wenn nach sechsständiger Beregnung rückseitig keine Feuchte erkennbar war, wurde die Wand bzw. der Außenputz als geeignet für die Witterungsverhältnisse in England bewertet. Solche Versuche wurden in der Regel zwei Monate nach Fertigstellung der Wand durchgeführt und nach einem und zwei Jahren wiederholt, um die Witterungsbeständigkeit des Außenputzes zu prüfen (Stand 1958).

Überlegungen, die dargelegten Regenschutzanforderungen in eine Norm zu übernehmen, stießen zunächst auf verschiedene Bedenken. Fachlich wurde vorgebracht, dass über die Langzeitwirkung von Hydrophobierungsmitteln, welche für die Dauerhaftigkeit der wasserabweisenden Eigenschaft eines Putzes Voraussetzung ist, noch Erfahrungen fehlen. Dies konnte damals durch über neun Jahre durchgeführte Untersuchungen entkräftet werden (Bild 33) und inzwischen liegen hierzu noch weitere langjährige positive Erfahrungen vor. Weitere Einwände waren, dass nur eine Prüfstelle für diese Untersuchungen besteht, nämlich das Institut in Holzkirchen, und dass sich manche Hersteller von Putzen noch nicht mit der Problematik des Regenschutzes auseinandergesetzt hätten, wodurch Einführungsprobleme und Härtefälle entstehen können. Diese Bedenken führten dazu, dass 1981 in der DIN 4108 die Regenschutzanforderungen in einer modifizierter Form aufgenommen worden sind. Die Modifizierung bestand in einer Minderung der Anforderungen für wasserabweisende Putze. Das Produkt $w \cdot s_d$ wurde von $0,1 \text{ kg/m} \cdot \text{h}^{0,5}$ auf $0,2 \text{ kg/m} \cdot \text{h}^{0,5}$ erhöht und die Messung des s_d -Wertes darf bei Kunstharzbeschich-

Bedenken hinsichtlich der Normung

tungen und -putzen nach dem Feuchtbereichverfahren (DIN 52615) erfolgen, im Gegensatz zu mineralisch gebundenen Putzen, die nach dem Trockenbereichverfahren geprüft werden [49]. Die Zulässigkeit der Prüfung von Kunstharzputzen in dieser Weise wurde durch Un-

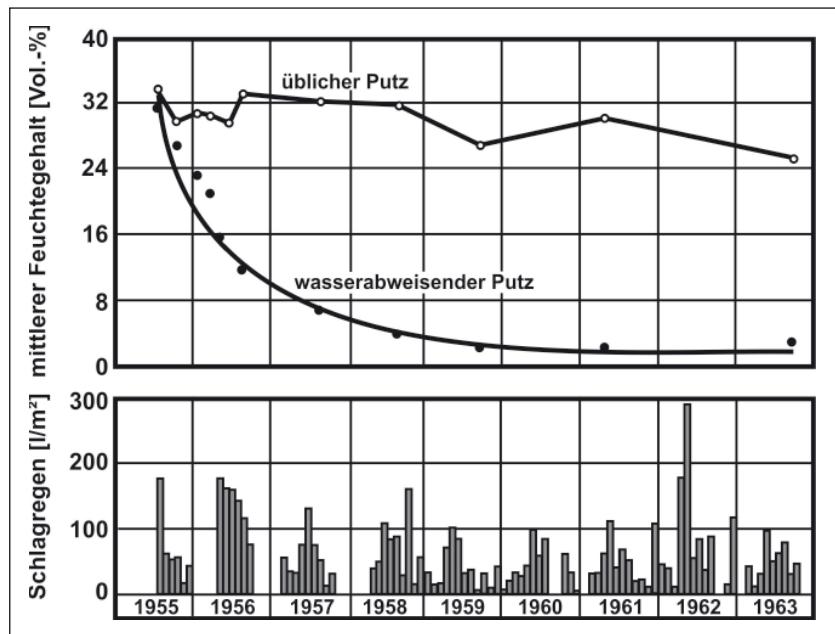


Bild 33: Zeitliche Verläufe des Feuchtegehalts einer nach Westen orientierten Außenwand aus Porenbeton (Gebäude auf dem Versuchsgelände), verputzt mit einem üblichen und einem wasserabweisenden Putz.

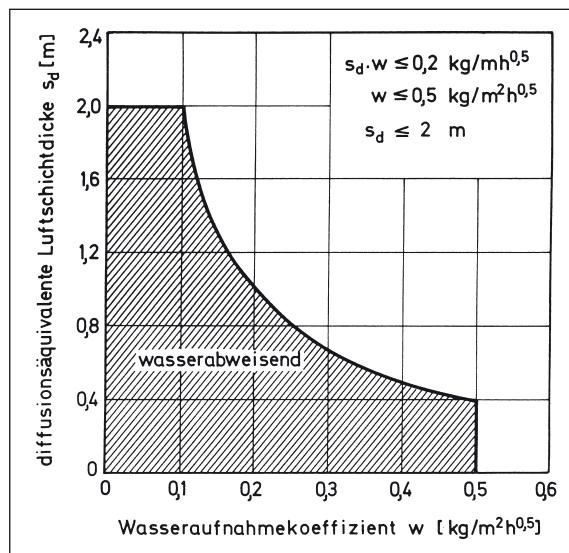


Bild 34: Anforderungen an wasserabweisende Putz- und Anstrichsysteme nach DIN 4108-3 aufgrund von Messwerten des Wasseraufnahmekoeffizienten w und der diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke s_d . Putze mit Messwerten innerhalb des gerasterten Bereiches gelten als wasserabweisend.

tersuchungen bestätigt, die an damals (in den 1980er-Jahren) üblichen Kunstharzputzen ermittelt worden waren [51]. Eine grafische Darstellung mit den Anforderungen für wasserabweisende Putze gibt Bild 34.

Aus heutiger Sicht ist es angebracht, auf die ursprüngliche Regenschutzfunktion $w \cdot s_d \leq 0,1 \text{ kg/m} \cdot \text{h}^{0,5}$ zurückzukehren. Einmal sind wasserabweisende Putze inzwischen allgemein akzeptiert und ist die Bewertungsmodalität eingeführt und zum anderen wird die Trocknungsmöglichkeit von Wänden durch die heute geforderte höhere Wärmedämmung reduziert. Die dadurch bedingten niedrigeren Temperaturen der Fassadenoberflächen mindern die Trocknungsmöglichkeit der Wände. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, auf die ursprüngliche Anforderung des $w \cdot s_d$ -Wertes zurückzugehen und die Maximalwerte für w und s_d auf folgende Werte zu reduzieren:

$$w \leq 0,2 \text{ kg/m}^2 \text{h}^{1/2} \text{ und } s_d \leq 1,0 \text{ m}$$

Dies bedeutet eine gewisse Verschärfung der Anforderungen, entspricht aber den heutigen Verhältnissen und Möglichkeiten [52]. In der grafischen Darstellung Bild 35 werden die früheren und die neuen Anforderungen gegenübergestellt.

Neue Regenschutz-Anforderungen entsprechend der weiteren Entwicklung

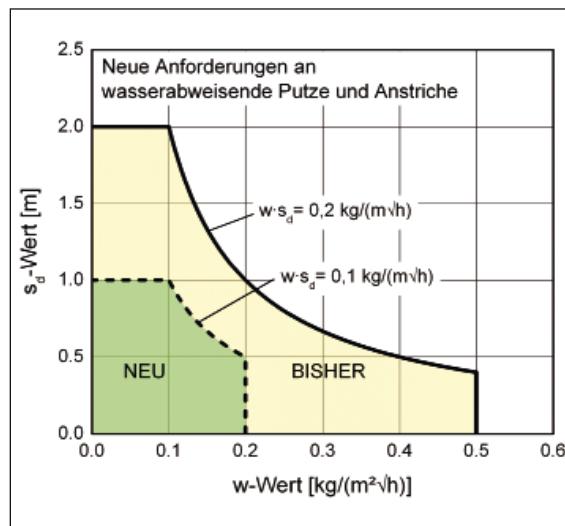


Bild 35: Darstellung des Eigenschaftsbereichs von wasserabweisenden Putz- und Anstrichsystemen nach DIN 4108-3 und vorgeschlagene Bereichsreduzierung mit Angaben von Idealbereichen für mineralische und kunstharzbundene Systeme zur vereinfachten Beurteilung nach [52]

3.3 Dispersionsanstriche und Kunstharzputze

Mindestfestigkeit von Putzen

Seit Anfang der 1950er-Jahre kamen zunehmend Außenanstriche auf der Basis von Kunstharzdispersionen zur Anwendung. Gegenüber den früher üblichen Kalkanstrichen hatten diese viele Vorteile: Sie waren gut deckend, leicht zu verarbeiten und waren nach Trocknung funktionsfähig, d. h. sie waren dann wischfest und benötigten keinen Schutz gegen zu rasches Trocknen oder irgendwelche andere Nachbehandlungen. Zu jener Zeit war aber Kalk ein häufig verwendetes Bindemittel für Putze. Nach den Ermittlungen von Kaufmann [10] war Kalk in Form von Sumpfkalk oder Sackkalk ohne oder mit hydraulischen Zugaben für Außenputze sehr verbreitet. Dispersionsanstriche verzögern aber wegen ihrer größeren Dictheit (Filmbildung) das Karbonatisieren und damit Erhärten des Kalkputzes, wodurch nicht selten Frostschäden bei frisch aufgetragenen Putzen entstanden sind. Auch das Aufbringen schwerer Tapeten auf Innenputzen fordert eine gewisse Putzfestigkeit bereits nach der Herstellung. Diese Erfahrungen waren der Anlass dafür, in der Putznorm Mindestfestigkeiten, je nach Anwendungsart, zu fordern, nachdem bisher (bis zur Normausgabe von 1967) hinsichtlich der Putzqualität nur Mischungsverhältnisse in Raumteilen angegeben worden sind. Es war naheliegend, die aus der Zementprüfung bekannte Messung der Druckfestigkeit, ermittelt an Prismen, als Festigkeitskennwert zu wählen, wenngleich die Druckbeanspruchung bei Außenputzen eigentlich keine vorrangige Schadensursache ist (Prüfung nach DIN 18555-3).

Kunstharzbeschichtungen auf Planblockmauerwerk

Eine weitere Entwicklungstendenz entstand Anfang der 1960er-Jahre hinsichtlich der erforderlichen Putzdicke bei großformatigen, ebenen Wandflächen, die z. B. durch Plansteine oder Wandtafeln aus Porenbeton herstellbar sind. Da die in den überkommenen Regeln und in der Putznorm festgelegten 2 cm Außenputzdicke zum Teil mit der Unebenheit des Mauerwerks aus kleinformatigen Steinen zu begründen sind, könnten bei planebenen Flächen auch Kunstharzputze von wenigen Millimetern Dicke ausreichend sein. An ausgeführten Bauten machte man aber die Erfahrung, dass sich die dünnen Klebefugen nach einiger Zeit als Risse im Kunstharzputz abzeichnen. Die Ursache ist, dass das Spannungs-/Dehnungs-Verhalten der damaligen Dispersionsanstriche und Kunstharzputze nicht dem Hooke'schen Gesetz für elastische Stoffe folgt. Diese Schichten sind zwar (temperaturabhängig) relativ dehnfähig und können eine Fugenaufweitung im Putz-

grund zunächst überbrücken, aber beim Rückgang der Fugenbreite (Fugenschließung infolge Erwärmung) fehlt die Rückstellkraft, um wieder den Ausgangszustand zu erreichen (thermoplastische Eigenschaft). Das ist in Bild 36 schematisch dargestellt. Bei häufigen klimabedingten Wechselbeanspruchungen können auch kleinste Fugenbewegungen zu Putzrissen führen.

Das Spannungs-/Dehnungs-Verhalten von Kunstharzbeschichtungen wurde 1968 an einigen damals gebräuchlichen Produkten ermittelt. Aus dem Forschungsbericht [53] ist Bild 37 entnommen. Es zeigt bei diesen Stoffen die starke Abhängigkeit der aufzuwendenden Verformungskraft von der Temperatur, aber auch von der relativen Feuchte. Nur bei 0°C tritt ein nahezu Hooke'sches Verhalten auf, aber bei höheren Temperaturen nehmen die Verformungskräfte stark ab, sind bei Dehnung und Entlastung unterschiedlich und – vor allem – es wird der Ausgangswert nicht mehr erreicht. Dies ist auf die plastische Kompo-

Spannungs-/Dehnungs-Verhalten von Kunstharzbeschichtungen

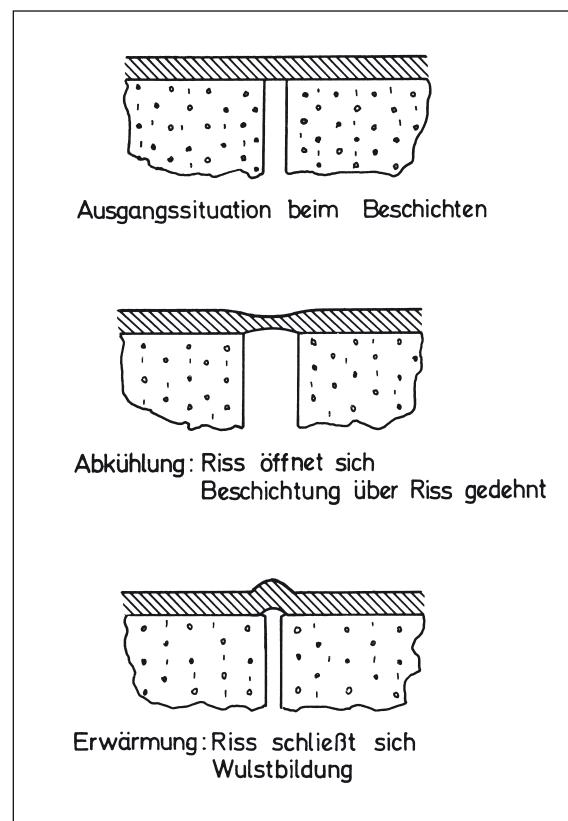


Bild 36: Schematische Darstellung der Vorgänge bei der Rissüberbrückung durch eine elasto-plastische Beschichtung. Infolge der Dehnfähigkeit der Beschichtung ist eine Überbrückung bei Vergrößerung des Risses möglich. Bei der Rissverkleinerung fehlt aber die elastische Rückstellkraft, um die Ausgangssituation wieder zu erreichen. Es bildet sich ein Wulst, der im Laufe der Zeit (Alterung) aufbricht und den Riss wieder in Erscheinung treten lässt.

nente der Verformung zurückzuführen und ist bei allen in Bild 37 dargestellten Anstrichsystemen ersichtlich.

Kunstharzbeschichtungen erfordern einen fugen- und rissfreien Untergrund

Haftfestigkeit

Deshalb können Kunstharzputze nicht unmittelbar auf ein Planstein-Mauerwerk aufgebracht werden, auch wenn die Fugen sehr klein sind, sondern benötigen als Rückhalt einen mineralischen Unterputz oder eine fugenlose Fläche wie z.B. eine Betonfläche als Putzgrund. Dies wurde dann in DIN 18550-1 (1985) festgelegt.

Ein weiteres Problem stellte sich heraus, nämlich die Haftfestigkeit auf dem Putzgrund und deren Abhängigkeit vom Feuchtegehalt. Während bei einem mineralischen Anstrich das Bindemittel (Kalk oder Zement) in die Poren des mineralischen Putzgrundes eindringen kann und damit eine gewisse Verankerung bewirkt, ist die Haftung eines aus großen Molekülketten bestehenden filmbildenden Dispersionsanstrichs eher mit einer Klebung auf dem Untergrund zu vergleichen. Diese Art der Haftung kann feuchteabhängig sein, wenn die Beschich-

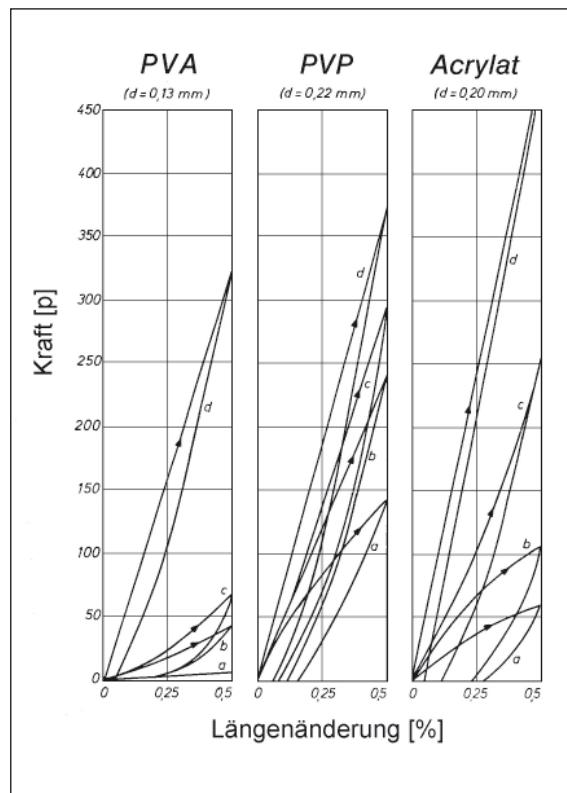


Bild 37: Zusammenhang zwischen Kraft und Längenänderung bei Dehnung und anschließender Entlastung von Anstrichfilmen bei verschiedenen Werten der Lufttemperatur und relativen Luftfeuchte (Be- und Entlastungsgeschwindigkeit 1 % Änderung pro Minute):

- a: 23 °C, 70 %
- b: 23 °C, 30 %
- c: 10 °C, 70 %
- d: 0 °C, 75 %

Basis der Dispersionsanstrichfilme: Polyvinylacetat (PVA), Polyvinylpropionat (PVP) und Acrylat.

tung ein vom Untergrund stark abhängiges Quell-/Schwind-Verhalten aufweist. Dadurch entstehende Spannungen können eine Minderung der Haftfestigkeit zur Folge haben und langzeitig eine Ablösung der Beschichtung. In Bild 38 ist die Haftfestigkeit verschiedener Kunstharzbeschichtungen auf Porenbeton im trockenen und feuchten Zustand dargestellt. Die Haftzugfestigkeit wurde im lufttrockenen Zustand und nach dreitägiger Wasserlagerung ermittelt [54]. Die unterschiedliche Festigkeitsminderung hängt von der Art der Dispersionsbeschichtung ab.

Je nach Beschichtungsart können Risse im Putzgrund Schäden wie in den Bildern 39 und 40 zur Folge haben. Wenn sich ein Putzriss auf die Beschichtung überträgt, kann dort Regenwasser eindringen, die Haftfestigkeit mindern und eine Ablösung der Beschichtung verursachen. Ein solcher Schaden weitert sich im Laufe der Bewitterung durch Einwandern von Feuchtigkeit an der Fehlstelle und weitere Ablösung der Beschichtung aus. An den entstehenden Rändern kann sich die Beschichtung entsprechend ihren hygrothermischen Eigenschaften frei bewegen, wodurch das ›Aufbördeln‹ entsteht, wie in den beiden Bildern erkennbar. In Bild 39 sind auch Aufwölbungen (Blasen) erkennbar, die an Stellen ohne ausreichende Putzhaftung hinweisen.

Schäden durch Ablösung

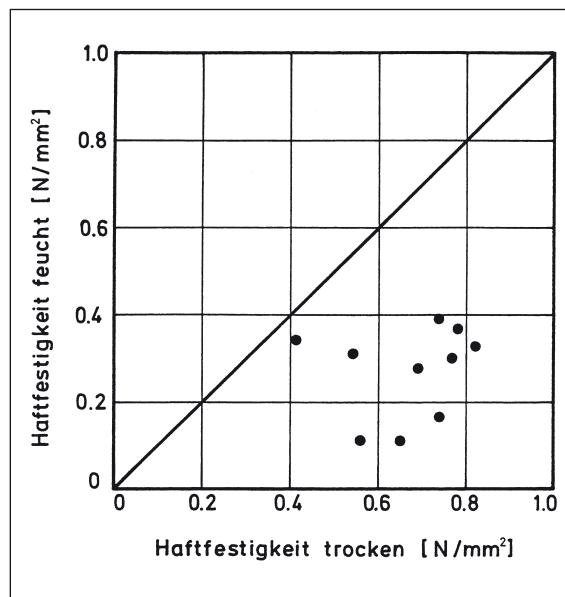


Bild 38: Zusammenhang zwischen der Haftzugfestigkeit von Dispersionsbeschichtungen auf Porenbeton im wassergesättigten und trockenen Zustand nach [54]



Bild 39: Schäden an einer stark quellfähigen Kunstharzbeschichtung auf verputztem Mauerwerk. Die Ablösung der Beschichtung geht meist von Putzrissen aus und weitet sich im Laufe der Bewitterung aus. Auch Aufwölbungen an Stellen ohne Haftung auf dem Putz sind erkennbar.



Bild 40: Schäden durch Ablösung eines Dispersionsanstrichs auf einem denkmalgeschützten Gebäude in Wittenberg. Solche Erfahrungen haben die Denkmalpfleger veranlasst, nur mineralische Anstriche zu verwenden.

Blasenbildung

Blasenbildungen sind in der Vergangenheit auch bei Wärmedämmverbundsystemen (WDV-Systemen) zwischen Armierungsputz und Oberputz aufgetreten, wenn der Armierungsputz vorwiegend zementgebunden und der Oberputz kunstharzgebunden war. In einem in [55] beschriebenen Schadensfall wurde das Quellen des verwendeten Armierungsputzes und Oberputzes in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt gemessen [56]. Die in Bild 41 aufgezeichneten Verhältnisse lassen den großen Unterschied zwischen diesen beiden Schichten erkennen, die es verständlich machen, dass in einem solchen Verbund große Spannungen entstehen können, die dann auch Schäden zur Folge haben.

›Versprödung‹

Durch Außenklimatische Einflüsse können bei Dispersionsbeschichtungen auch Auswaschungen von Netzmitteln, verarbeitungsfördern- den Zusätzen und Verdickungsmitteln erfolgen, die zu einer Versprödung der Beschichtung führen. Hierdurch wird der Regenschutz beeinträchtigt, wenn durch entstandene Risse mehr Regenfeuchte ein-

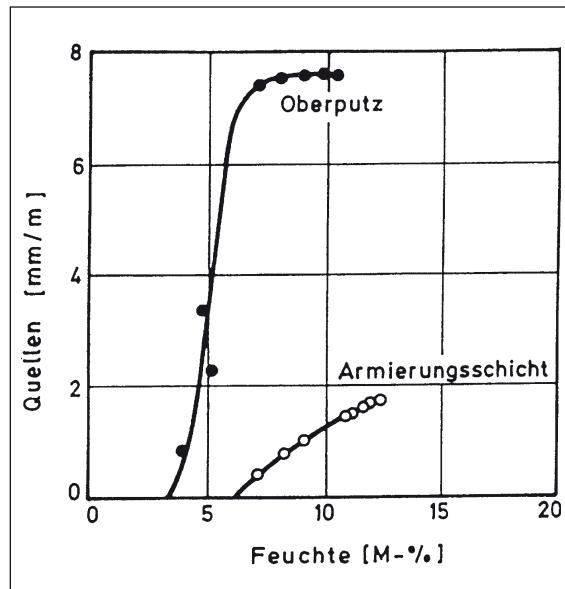


Bild 41: Quellen der Armierungsschicht und des Oberputzes eines kunstharzgebundenen Putzsystems in Abhängigkeit von der Feuchtezunahme bei Wasserlagerung. Vor der Benetzung lagen die Proben bei 20 °C und 65 % r. F. Die Anfangsfeuchtegehalte bei Quellung 0 entsprechen den Sorptionsfeuchtegehalten bei 65 % r. F. Die Messungen wurden getrennt an Proben der beiden Putzschichten vorgenommen. [56]

dringt als über die dichte Beschichtung abgegeben werden kann, was in der Regel der Fall ist (Veränderung von $w \cdot s_d$ durch erhöhten w -Wert; Näheres hierzu in [55]).

Die Erfahrungen mit den möglichen Folgen bei der Anwendung von Kunstharzputzen und Dispersionsanstrichen in Verbindung mit mineralischen Putzen haben zu Modifizierungen der organischen Bindemittel bzw. zu Veränderungen der Zusammensetzung geführt. Die Eigenschaften der heutigen Generation von Beschichtungen mit organischen Bindemitteln sind damit durchaus vergleichbar mit denen von mineralisch gebundenen Schichten. Dies geht aus einem Vergleich von Untersuchungen im IBP Holzkirchen aus dem Jahr 1980 [53] und Untersuchungen an 2010 marktgängigen Beschichtungen entsprechender Art hervor. Verglichen wurden die Wasserdampf-Sperrwerte s_d , ermittelt nach dem Trockenbereich- und Feuchtbereichverfahren entsprechend DIN 52615. Bei Stoffen mit einem Feuchttetransport durch reine Wasserdampfdiffusion aufgrund des Dampfdruckgefälles und der Bewegungsmöglichkeit der Wassermoleküle im Poresystem sind die Messwerte nach den beiden Verfahren praktisch gleich. Wenn zusätzlich ein Sorbatwassertransport in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte an den Probenoberflächen gegeben ist (auch Oberflächendiffusion genannt), dann wird der Feuchtedurchgang beim Feuchtbereichverfahren erhöht bzw. der s_d -Wert erniedrigt. Je größer

Neue Generation von Kunstharzputzen

dieser Unterschied ist, desto mehr beeinflusst der Sorbatwassertransport den Feuchtedurchgang. Dieser Unterschied ist andererseits ein Maß für die Quellfähigkeit des Stoffes.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in Bild 42 vorgestellt. Sie zeigen, dass Kunstharzputze des Jahres 1980 im Feuchtbereich nur $1/4$ bis $1/3$ des Wertes im Trockenbereich aufweisen, während Messwerte aus dem Jahr 2010 im Mittel bei der Hälfte des Trockenwertes liegen. Der Sorbatwassertransport und damit die Quellfähigkeit sind somit bei den neueren Kunstharzputzen geringer als früher. Bemerkenswert ist außerdem, dass viele neuere Beschichtungen als diffusionsoffen zu bezeichnen sind (d. h. $s_{d,tf} \leq 0,5$ m) und dass Messwerte

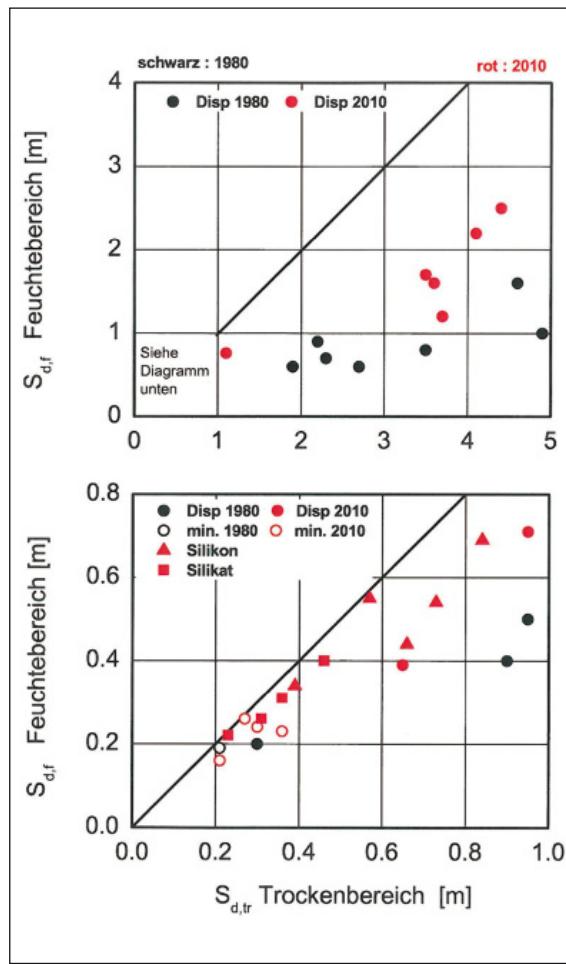


Bild 42: Gegenüberstellung der s_d -Werte von Kunstharzputzen und mineralischen Putzen, ermittelt jeweils nach dem Trockenbereichverfahren und nach dem Feuchtbereichverfahren an Putzen von 1980 (schwarz) und 2010 (rot). Putze mit s_d -Werten zwischen 0 [m] und 1 [m] sind zur besseren Auflösung im unteren Diagramm dargestellt.

im Trockenbereich und im Feuchtbereich nicht mehr sehr verschieden sind (siehe unteres Diagramm in Bild 42). Das bedeutet, dass die stoffbedingten Unterschiede zwischen organisch gebundenen und mineralisch gebundenen Beschichtungen sehr viel kleiner geworden sind. Damit werden Schadensursachen, die auf vorwiegend plastische Eigenschaftskomponenten der früheren Kunsthärzbeschichtungen zurückzuführen waren, deutlich verringert.

3.4 Wärmedämmverbundsysteme und Wärmedämmputzsysteme

Am 7. Oktober 1959 erfolgte eine Patentanmeldung durch Edwin Horbach für Wärmedämmverbundsysteme und neun Jahre später, am 16. Oktober 1968, für Wärmedämmputzsysteme durch die Firma Rhodius, Burgbrohl. Beide Dämmsysteme widersprachen der ge normten Putzregel ‚weich auf hart‘, die nach DIN18550-2 nicht nur für den Putzaufbau, sondern auch für das Verhältnis zwischen Putz und Putzgrund einzuhalten ist. Die fachfremden Patentanmelder haben sich aber von dieser Regel – sofern sie diese überhaupt gekannt hatten – nicht abschrecken lassen. Horbach war Anwendungstechniker bei der Firma Loba (Farben und Lacke) und die Firma Rhodius stellte Formkörper aus Polystyrol-Hartschaum her und suchte eine Verwendungsmöglichkeit für ihre Abfälle.

Eine Außendämmung aus einem weichen Dämmstoff mit einer Beschichtung von nur einigen Millimetern Dicke – damals zunächst als ‚Thermohaut‘ bezeichnet – erschien für den Wohnungsbau wegen der Verletzlichkeit riskant und widersprach dem Gesichtspunkt der Stabilität eines Bauwerks. Schließlich galt seit Jahrhunderten eine massive Gebäudewand oder eine die Stadt umschließende stabile Mauer als der Inbegriff der Sicherheit und Geborgenheit. Das Dämmsystem kam auch zunächst nur in fensterlosen Industriebauten zur Anwendung. Bald wurde es aber auch zur Dämmung von Wohnbauten verwendet bei Dämmschichtdicken von wenigen Zentimetern. Zunächst wurden zur Dämmung nur Polystyrol-Hartschaumplatten und zur Armierung ein Kunststoffgewebe verwendet. Später kamen auch Mineralwolleplatten und mineralische Putze zur Anwendung, wobei auch eine Weiterentwicklung in der Kunststoffvergütung der Putze und dem Armierungsgewebe (Glasfasergewebe) einhergingen. Viele Untersuchungen wurden in den vergangenen Jahrzehnten sowohl im Labor

Erst Skepsis, dann Akzeptanz

als auch an ausgeführten Bauten ausgeführt, welche die ursprünglichen Bedenken beseitigen. Nach der Energiekrise erwies sich dieses Dämmsystem als wirtschaftliche Maßnahme, um den Wärmeschutz von bestehenden Bauten zu verbessern. Aber auch bei Neubauten kommt das Dämmsystem zunehmend zur Anwendung [57].

Zulassung erst seit 1994

Da WDV-Systeme gegen keine bestehende Baunorm verstoßen haben und da man bei den leichten Dämmplatten und dünnen Putzschichten bei einem Crash-Fall keine Gefahr für Leib und Leben befürchten musste, war lange Zeit keine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich. (Das in DIN 18550 geforderte Festigkeitsgefälle zwischen Putzgrund und Putz wurde offenbar nicht ernst genommen, da es z.B. auch bei Porenbeton und Holzwolle-Leichtbauplatten als Putzgrund nicht eingehalten wird.) Erst seit der Verwendung schwererer Dämmschichten und dickerer Putze und hinsichtlich der europäischen Harmonisierung ist seit 1993 eine europäische Technische Zulassung erforderlich.

Wärmedämmputzsysteme mit 'falschem' Festigkeitsgefälle

Anders verlief es bei Wärmedämmputzsystemen: Der harte Oberputz auf dem deutlich weicheren, wärmedämmenden Unterputz war im Gegensatz zu den Forderungen in der Putznorm. Bei der ersten Präsentation auf einer Baumesse in München Anfang der 1970er-Jahre wurde deshalb das Produkt von Fachleuten belächelt: »*Nur wer keine Ahnung vom Putzen hat, kann so etwas anbieten.*« Die praktischen Erfahrungen waren aber durchaus positiv. Deshalb wurde nach vorgelegten putztechnologischen Laboruntersuchungen und Nennung von Referenzobjekten 1981 die erste Zulassung durch das Deutsche Institut für Bautechnik erteilt. Hinsichtlich der Putzfestigkeiten wurde darin festgelegt, dass die Druckfestigkeit des Dämmputzes mindestens $0,40 \text{ N/mm}^2$ betragen muss und die Festigkeit des Oberputzes zwischen $0,80$ und $3,0 \text{ N/mm}^2$ betragen soll. Dies bedeutet, dass die Druckfestigkeit des Oberputzes im Extremfall 7,5-mal höher sein darf als die des Dämmputzes. Nach durchweg positiven Ergebnissen bei Anwendung von Wärmedämmputzsystemen wurde anstelle weiterer Zulassungen 1991 die DIN 18550-3 für Wärmedämmputzsysteme verabschiedet mit den gleichen Anforderungen und Festlegungen wie in den Zulassungen. Die Anwendung von Wärmedämmputzen nahm stetig zu und erreichte etwa 1994 einen Höhepunkt mit einem jährlichen Verbrauch von schätzungsweise 15 000 Tonnen. Danach nahm der Verbrauch zugunsten von WDV-Systemen ab, die bei gleicher Auftragsdicke eine größere Dämmwirkung haben.

Durch Beobachtungen an ausgeführten Gebäuden wurde immer wieder festgestellt, dass bei Fassaden mit Außendämmung durch WDV-Systeme oder Wärmedämmputze seltener oder in geringerem Maße Risse vorhanden waren als bei benachbarten Fassaden aus Mauerwerk mit üblichem Putz. Die Ursache ist darauf zurückzuführen, dass durch die Dämmschicht eine gewisse Entkopplung zwischen dem Mauerwerk und dem Fassadenputz bewirkt wird. Dadurch führen unvermeidliche Bewegungen und Formänderungen des heutigen Mauerwerks, das nicht mehr die Flächenstabilität des Mauerwerks aus kleinformativen Steinen hat, nicht zu sichtbaren Schäden an der Putzfassade. Das wurde durch spätere umfangreiche Untersuchungen bestätigt.

Vitruv [1] schreibt im siebten Buch, drittes Kapitel, zur Vermeidung von Rissen bei verputztem Fachwerk zwischen Ständer, Querriegel und Ausfachung Folgendes: »Wenn die Wand mit Lehm verstrichen ist, heftet man an dieselbe nach einer Richtung hin Rohre mittels breitköpfiger Nägel. Nachdem man hierauf abermals eine Lehmschicht darüber gestrichen, heftet man, wenn die erste Berohrung in horizontaler Richtung läuft, eine zweite mit senkrecht gestellten Rohren darüber und setze dann in der oben beschriebenen Weise den feinsandigen und den Marmorbewurf und den ganzen Verputz darauf. So wird die doppelte, in sich kreuzenden Lagen ununterbrochen über das Ganze hinlaufende Berohrung an den Wänden nicht bloß das Abbröckeln, sondern auch das Zerklüften des Verputzes verhindern.«

Über den erwähnten feinsandigen Putz und den Marmorbewurf schreibt er an anderer Stelle: »Nachdem nicht weniger als drei Schichten feinsandigen Mörtels angebracht sind, so mache man dann einen Anwurf von grobgestoßenem Marmor zurecht, welches Material so hergestellt wird, dass es beim Abarbeiten nicht an der Mörtelscharre hängen bleibt, sondern dass man das Eisen rein aus der Mörteltruhe herauszieht. Ist der grobe Anwurf hergestellt und im Trocknen begriffen, so werfe man eine zweite Schicht aus mittelfeinem Marmorstück an. Ist diese verputzt und gut abgeschliffen, so werfe man noch feineren an. So werden die Wände, nachdem sie durch drei feinsandige und durch drei Marmorstuckschichten dauerhaft hergestellt sind, weder Risse bekommen noch in anderer Weise schadhaft werden können.« Dies war bei den Römern offensichtlich die übliche Art des Verputzens von Fachwerkwänden, die nach Ausführungen Vitruvs auf die Griechen zurückging. Das ist nichts anderes als eine Entkopplungsschicht, die zwischen einem ›beweglichen‹ Putzgrund (Holzfachwerk) und dem Außenputz angeordnet worden ist. Eine schematische Dar-

Weniger Risschäden wegen Entkopplung

Entkopplung schon im Altertum

Putzaufbau im Altertum

stellung dieses Putzaufbaus in der Antike im Vergleich zum Aufbau eines heutigen Wärmedämmputzsystems gibt Bild 43. Zu Vitruvs Zeiten war es das Fachwerk, das Putzprobleme verursachte und heute sind es Leichtwände mit sparsamer Vermörtelung oder sogenanntes Mischmauerwerk. Als Entkopplungsschicht haben wir heute einen Leichtputz, Dämmputz oder eine Dämmsschicht, und anstelle eines mehrlagigen Deckputzes einen härteren Oberputz ggf. mit Gewebeeinlage.

Bei alten, verputzten Fachwerkhäusern findet man oft zwischen Fachwerk und Putz eine einlagige Schilfrohrmatte. Diese ist aber eher als Putzträger zu bewerten denn als Entkopplungsschicht, nicht wie die über Kreuz verlegten zwei Matten mit Lehm. Offensichtlich geriet das antike Konstruktionsprinzip im Laufe der Jahrhunderte in Vergessenheit.

Vitruv-Zitat zum Fachwerkbau

In manchen Veröffentlichungen über Holzfachwerk findet man einleitend die Aussage von Vitruv »*Von dem Fachwerk aber wollte ich, es wäre gar nicht erfunden worden [...]»* wohl um die Problematik darzustellen, die schon im Altertum bestand. Es wird aber verschwiegen, wie es im zweiten Buch, Kapitel 8., weitergeht, nämlich »*[...] denn wie viel es durch die Schnelligkeit [der Ausführung, Anm. d. Verf.] und durch*

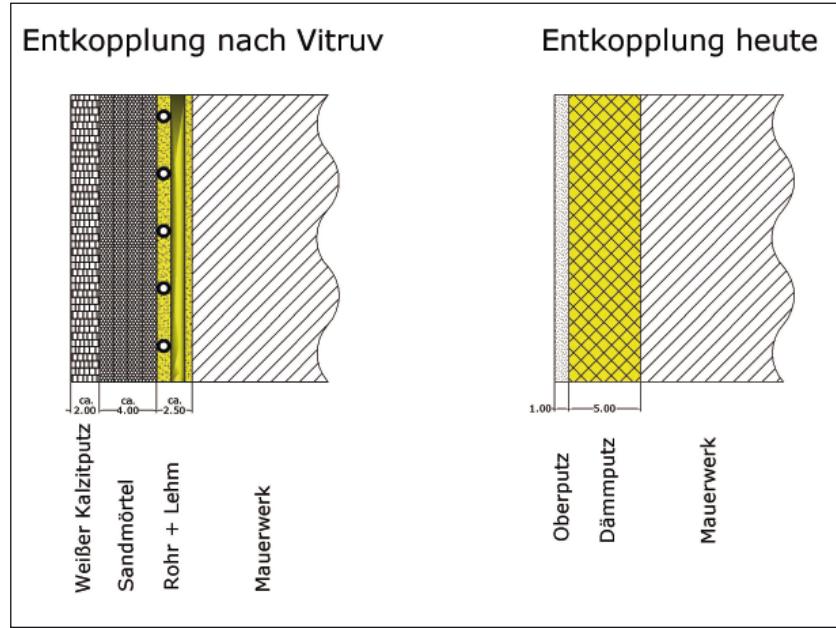


Bild 43: Schematische Darstellungen eines Wandaufbaus mit Entkopplungseffekt zwischen konstruktiver Wand und dem Fassadenputz nach der Darstellung von Vitruv [1] nach Ermittlungen von Ludwig Curtius an Bauten in Pompeji im Vergleich zu dem Aufbau eines Wärmedämmputzsystems heutiger Art. Die jeweiligen Entkopplungsschichten sind farblich gekennzeichnet.

die Raumerweiterung nützt, zu soviel größerem und gemeinerem Ungleich gereicht es, weil es für Feuersbrünste gleichsam wie Fackeln geschaffen ist. Es scheint daher besser zu sein, durch die Kosten des Backsteinbaues in größerem Aufwand, als durch die Ersparnis beim Fachwerk in Gefahr versetzt zu sein.«

Marcus Vitruvius Pollio – sein voller Name – wurde zwischen 70 und 60 v. Chr. geboren und starb etwa 10 v. Chr. Er war mit Caesar in den Kriegen in Spanien, Gallien und Britannien für den Bau von Kriegsmaschinen verantwortlich. Nach Caesars Tod 44 v. Chr. verlegte er sich auf das Schreiben der Bücher.

3.5 Leichtmauerwerk und Leichtputze

Risse längs der Mauerfugen von großformatigen leichten Mauersteinen, z. B. aus Bimsbeton, waren schon in den 1920er-Jahren das Problem und wurden auf das Schwinden der meist zementgebundenen Steine zurückgeführt. Aber auch unterschiedliche Festigkeitseigenschaften (E-Modul) der Steine und des Putzes wurden vermutet. Eine gewisse Anpassung zwischen Stein und Putz wurde deshalb in dieser Hinsicht angestrebt. In Schweden hatte man z. B. gute Erfahrungen mit bindemittelärmeren Außenputzen auf Porenbeton gemacht. Folgende Mischungsverhältnisse in Raumteilen (Weißkalkhydrat : Zement : Sand) wurden Anfang 1950 dort vorgeschlagen:

für Ziegelmauerwerk: 1 : 1 : 8,
für Porenbetonmauerwerk: 2 : 1 : 12.

Man vermutete, dass ein bindemittelärmerer, ›weich-elastischer‹ Putz die beim Schwinden des Porenbetons in den Mauerfugen entstehenden Kerbspannungen weniger nach außen im Außenputz weiterleitet als ein harter Putz mit größerem E-Modul. Auf der Suche nach einem ›weichen‹ Putz – was immer man darunter verstehen möchte – kam man auf die Entwicklung von Unterputzen mit leichten Zuschlagsstoffen und/oder porenbildenden Zusätzen. In der Tat ›passt‹ (rein gefühlsmäßig) ein solcher Putz besser zu einem porösen Stein, wie Bild 44 erkennen lässt. Die Anregung für die Entwicklung und Anwendung von Leichtputzen kam vonseiten der Mörtelindustrie. Nachdem sich Leichtputze auf den verschiedenen Arten von Leichtmauerwerk in der Praxis gut bewährt hatten, wurden diese 1993 in DIN 18550-4 genormt. Unter »Begriff« heißt es in dieser Norm: »Leichtputze

Entwicklung von Leichtputzen



Bild 44: Schnitt durch Porenbeton mit aufgebrachtem Leichtputz. Die Strukturähnlichkeit zwischen dem Putzgrund Porenbeton und dem Putz ist optisch erkennbar.

im Sinne dieser Norm sind mineralisch gebundene Putze mit begrenzter Rohdichte und mit Anteilen an mineralischen und/oder organischen Zuschlägen mit porigem Gefüge.« Manche Hersteller von Leichtsteinen haben danach für ihr Material geeignete Leicht-Werkmörtel mitgeliefert und damit meistens das Putzproblem gelöst.

Im Laufe der 1980er-Jahre traten bei Neubauten aus porosierte Hochlochziegeln zunehmend Risse in Putzen auf. Dies war hinsichtlich der eingangs erwähnten guten Erfahrungen beim Verputzen von Ziegelwänden (Kapitel 1.1) zunächst rätselhaft. Vonseiten der Zieghersteller wurden Veränderungen in der Putzapplikation vermutet, Verzicht auf einen Spritzbewurf und/oder Verwendung von Werkmörteln. Die Ziegelindustrie hatte – im Gegensatz z. B. zur Porenbetonindustrie – zunächst nicht auf der Verwendung von Werkmörteln bestanden, sondern Außenputze nach DIN 18550, Mörtelgruppe II, mit Druckfestigkeiten zwischen 2,5 und 5,0 N/mm² vorgeschlagen und alternativ auch Werkmörtel [58]. Erst 2002 wurde generell Werkmörtel gefordert [59].

Ursachenuntersuchungen ohne Erfolg

Die aufgetretenen Putzschäden auf Ziegelmauerwerk hatten umfangreiche Untersuchungen über die Schadensursache zur Folge. Alois Jeran von der Fachhochschule Nürnberg hat zusammen mit Mitar-

beitern dieser Schule und der Landesgewerbeanstalt Nürnberg in den 1980er-Jahren verschiedene Versuchsreihen über die Temperatur- und Feuchtedehnung von damals verwendeten Baustoffen und über den Einfluss der Stumpfstoßtechnik durchgeführt. Ähnliche Untersuchungen wurden in der Materialprüfungsanstalt der TU Stuttgart vorgenommen. Die Forschungsgemeinschaft Kalk und Mörtel e.V. Köln (Fehring, Keller und Mehlmann) ermittelte eine große Zahl verschiedener Baustoffkennwerten von Mauersteinen und Putzproben und schließlich wurden in der Freiland-Versuchsstelle Holzkirchen an bewitterten Versuchswänden aus sieben Leichtziegelarten mit verschiedenen Außenputzen ohne und mit Spritzbewurf Beobachtungen und Messungen der Formänderungen über zwei Jahre vorgenommen. Alle diese Untersuchungen führten nicht zu einer Erkennung der Schadensursache. Deshalb wird auf eine detaillierte Darstellung dieser Untersuchungen verzichtet.

Nach Abschluss der Untersuchungen in Holzkirchen ergab sich aber unerwartet eine Klärung aus Beobachtungen an einem Versuchshaus, teils mit Wänden aus Leichtziegeln und teils aus Porenbeton, das etwa zur gleichen Zeit wie die eben erwähnten Versuchswände in der Freiland-Versuchsstelle errichtet und mit einem Werkmörtel verputzt worden waren. Im Gegensatz zu den nicht eingespannten Versuchswänden (siehe oben) hatten diese Wände Fenster- und Türöffnungen und waren durch eine 15 cm dicke Betondecke belastet [60]. Nach etwa drei Jahren traten zunächst Risse ausgehend von Rollladenkästen auf und später auch Risse ausgehend von Lager- und Stoßfugen, und zwar unabhängig von der Mauersteinart. Typische Rissbilder sind in den Bildern 45 und 46 dargestellt. Hieraus sind zwei wichtige Schlüsse zu ziehen:

- Das Auftreten der Schäden nach etwa drei Jahren deutet auf einen Zusammenhang mit der zunehmenden Putzerhärtung und damit den Festigkeits- und Spannungsverhältnissen (E-Modul) im Putz hin.
- Die Risse sind nicht auf die Eigenschaften der Mauersteine oder Putze als solche in Zusammenhang zu bringen, sondern durch die konstruktiven Verhältnisse im Gebäude, d.h. konkret durch Verformungen und Spannungen, die durch Einspannung (Deckenlast) und Maueröffnungen (Fenster) hervorgerufen worden sind.

Klärung der Schadensursache

Bild 45: Fugen- und Kerbrisse (nachgezeichnet) im Außenputz auf Mauerwerk aus Porenbeton (Versuchshaus). Die Lagerfugen sind fast durchgehend erkennbar. Infolge Kerbwirkung pflanzen sich Stoßfugenrisse zum Teil in angrenzenden Steinlagen fort.

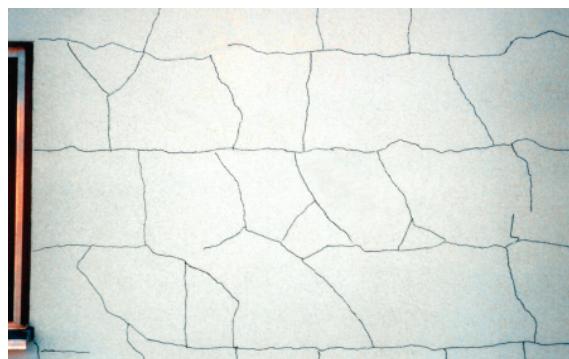


Bild 46: Putzrisse (nachgezeichnet) im Außenputz auf Mauerwerk aus Leichtziegeln (Versuchshaus). An der Maueröffnung rechts ist zu erkennen, dass der Horizontalriss einer Lagerfuge folgt, wie auch der obere Riss. Die vertikalen Risse entsprechen Stoßfugen, davon abweichend einige Kerbrisse.



Deshalb ist es im Nachhinein klar, warum die vielen Untersuchungen an Einzelproben und an einzelnen freistehenden und nicht eingespannten Versuchswänden ergebnislos verliefen: Die beschriebenen Putzrisse in Mauerwerk aus Leichtbeton und Leichtziegel sind weder putzbedingt noch putzgrundbedingt, sondern im Wesentlichen konstruktionsbedingt. Zu einem geringen Teil können sie bei Leichtziegeln allerdings auch materialbedingt sein: Bei Ziegelmauerwerk sind mögliche Formänderungen durch Kriechen oder Relaxation im Vergleich zu bindemittelgebundenen Baustoffen geringer. Gemäß DIN 1053-1, Tabelle 2 (1996) ist das Endkriechmaß für Ziegelmauerwerk nur halb so groß wie bei Leichtbetonmauerwerk. Daher können bei Ziegelmau-

erwerk materialbedingt eher Risse auftreten als bei Mauerwerk aus mineralisch gebundenen Steinen bei sonst gleichen konstruktiven Bedingungen. Kriechvorgänge dürften bei Ziegelmauerwerk hauptsächlich durch das Mörtelfugennetz ermöglicht werden, die bei der heutigen Vermörtelung von Leichtziegeln nur noch rudimentär vorhanden sind.

3.6 Messtechnische Ermittlung und Beurteilung der Entkopplungswirkung

Die bisher üblichen Prüfmethoden zur Beurteilung von Putzeigenschaften, wie z.B. Festigkeit, E-Modul oder hygrothermische Eigenschaften, werden an homogenen Proben in Würfel-, Prismen- oder Scheibenform vorgenommen. Die Ergebnisse solcher Messungen sind aber keine Materialkennwerte, sondern von Form und Größe der Proben abhängig. Insofern sind die Ergebnisse nicht quantitativ auf eine großflächige, 1 bis 2 cm dicke Putzschicht zu übertragen, die auf einem stabilen Putzgrund haftet [61]. Das wusste schon Vitruv vor über 2000 Jahren, wenn er im zweiten Buch, drittes Kapitel [1] schreibt: »Und so kann der vom Mauerwerk abgetrennte Verputz wegen seiner Schmächtigkeit nicht für sich allein stehen, sondern zerbricht.« Der Putz benötigt gewissermaßen das Mauerwerk als Rückhalt und Armierung, das sein Verhalten maßgeblich bestimmt.

Die Entkopplungswirkung der beschriebenen Art hängt vom Zusammenwirken zweier oder mehrerer Schichten ab und verlangt zur quantitativen Bewertung Prüfverfahren, bei denen die Eigenschaften der Schichten im System erfasst werden. Als solche haben sich die nachstehend beschriebenen Prüfmethoden ‚Scherzug‘ und ‚Bohrhärte‘ als geeignet erwiesen. Da Methoden und Ergebnisse bisher nicht in einem größeren Kontext publiziert worden sind, werden diese hier etwas ausführlicher behandelt.

Die Beanspruchung eines Putzsystems bei Formänderungen vom Putzgrund her, z.B. durch Entstehen und Aufweiten eines Risses in der Mauerfuge (siehe Bild 47, links) besteht in einer als ‚Scherzug‘ zu bezeichnenden Art, die in der unmittelbar angrenzenden Putzschicht einen Riss zur Folge haben kann. Die Weiterleitung dieses Risses im Putz durch Kerbwirkung soll möglichst gering und nicht bis zur äußeren Putzoberfläche (Oberputz) erfolgen. Zur messtechnischen Nachbildung dieser Situation werden zwei gleichartige Proben des zu prü-

Vorbemerkung zur Putzprüfung

Scherzug

fenden Putzes oder Putzsystems mit der Unterseite auf zwei Stahlträgerplatten geklebt, die gegeneinander einen Abstand von 2 mm haben, wodurch eine Fuge simuliert wird (siehe Bild 47, rechts). Das beidseitige Anbringen gleicher Proben auf die Stahlträgerplatten erfolgt aus Symmetriegründen. Beim Ziehen an den Plattenenden werden die Putzproben auf Scherzug beansprucht. Aus der Kraft-/Verformungskurve sind folgende Kennwerte zu ermitteln:

Entkopplungsmaß: maximale Fugenaufweitung in μm bis zum Bruch der Putzoberfläche,
Bruchkraft: Kraft in N, bei welcher der Bruch auftritt.

Messergebnisse

Das Entkopplungsmaß ist kennzeichnend für die Überbrückungsfähigkeit von Rissen im Putzgrund durch das Putzsystem. Dabei wird die Eigenschaft einer Putzschicht oder das Zusammenwirken mehrerer Putzschichten erfasst. Bild 48 zeigt als Beispiel den Zusammenhang von Zugkraft und Fugenaufweitung bis zum Bruch von einem Baustellenputz und einem Werkmörtelputz gleicher Zusammensetzung und einem Leichtputz (nähere Angaben zum Putzaufbau enthält die Bildunterschrift). Das Entkopplungsmaß – also die Fugenaufwei-

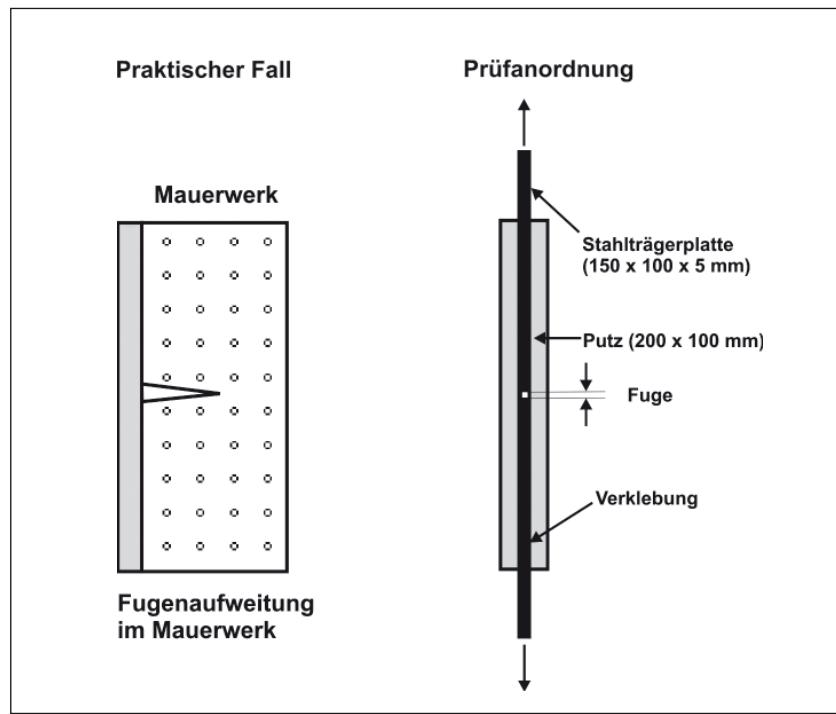


Bild 47: Schemadarstellung der Rissbildung in der Praxis infolge Riss- oder Fugenaufweitung im Mauerwerk und der Prüfanordnung „Scherzug“ zur Ermittlung des Entkopplungsmaßes. Aus Symmetriegründen werden gleiche Putzproben beidseitig auf die Stahlträgerplatten aufgeklebt.

tung bis zum Bruch – nimmt in der Reihenfolge Baustellenputz – Werkmörtelputz – Leichtputz bei abnehmenden Zugkräften zu. Daraus wird erklärbar, warum sich Leichtputze nach den praktischen Erfahrungen als günstiger erweisen als übliche Putze, insbesondere als Baustellenputze. Dass die Entkopplung nicht nur vom Unterputz abhängt, sondern dass es auch auf den Oberputz ankommt, belegen die Ergebnisse in Bild 49. Der 40 mm dicke Dämmputz allein hat ein kleineres Entkopplungsmaß als das System mit Dämmputz und 5 mm Oberputz und diesem ist das System mit einem 10 mm dicken Oberputz überlegen. Es ist zu beachten, dass die möglichen Fugenaufweitungen in Falle des Dämmputzes (Bild 49) um den Faktor 10 größer sind als im Fall der üblichen Putze. Wie bei einer Fugenaufweitung im Putzgrund ein Bruch im Dämmputz gewissermaßen ausläuft und durch den Oberputz gestoppt wird, zeigt Bild 50.

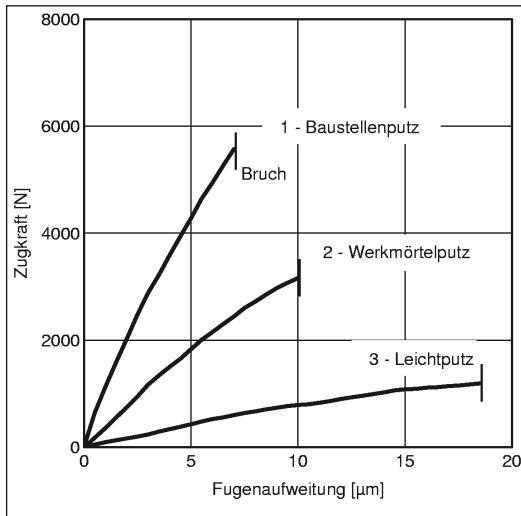


Bild 48: Zusammenhang zwischen Zugkraft und Fugenaufweitung bis zum Bruch bei drei Putzsystemen mit Baustellenputz (1), Werkmörtelputz (2) und Leichtputz (3). Alle Systeme bestehen aus einem 15 mm dicken Grundputz und einem 5 mm dicken Deckputz. Die Putze 1 und 2 sind nach gleichem Mischverhältnis und mit gleichen Zuschlagstoffen hergestellt, der Werkmörtelputz beinhaltet jedoch die üblichen Zusätze zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit und der Putzeigenschaften. Die Putze 2 und 3 haben den gleichen Deckputz, aber unterschiedliche Grundputze (2: Normalputz PII, 3: Leichtputz).

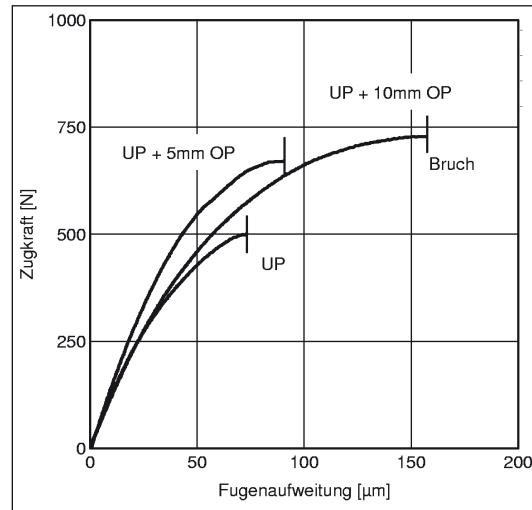


Bild 49: Zusammenhang zwischen Zugkraft und Fugenaufweitung bis zum Bruch bei folgenden Putzen bzw. Putzsystemen:

UP: 40 mm EPS-Dämmputz allein

UP+5 mm OP: 40 mm EPS-Dämmputz + 5 mm Oberputz

UP+10 mm OP: 40 mm EPS-Dämmputz + 10 mm Oberputz

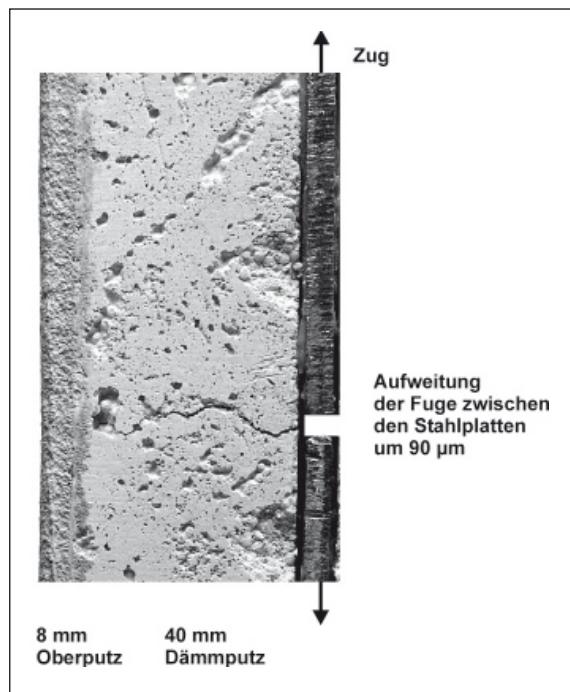


Bild 50: Foto eines Scherzug-Prüfkörpers von der Seite aus aufgenommen, bestehend aus 40 mm EPS-Dämmputz und 8 mm Oberputz (nur eine der beiden gleichartigen Putzproben). Die Rissbreite nimmt zum Oberputz hin ab.

Einfluss des Oberputzes

Eine gute Entkopplungswirkung wird erreicht, wenn der Oberputz einheitlich dick und wenig strukturiert ist, um in der Fläche gleichmäßige Werte der Zugfestigkeit aufzuweisen. Denn bei Zugbeanspruchung entsteht ein Riss an den schwächsten Stellen und dies sind die Vertiefungen im strukturierten Putz (Bild 51). Der Oberputz bildet somit nicht nur den äußereren Abschluss, sondern hat für die Entkopplungswirkung eine wichtige Funktion.

Grundputz und Deckputz

Deshalb werden anstelle der nur die Lage des Putzes bezeichnenden Begriffe ›Unterputz‹ und ›Oberputz‹ die Begriffe ›Grundputz‹ und ›Deckputz‹ vorgeschlagen. Der **Grundputz** bildet die Basis der Entkopplungswirkung, die durch einen zugfesten **Deckputz** verstärkt werden kann. Wenn eine Putzstruktur mit starker Profilierung unter Beibehaltung einer optimalen Entkopplungswirkung gewünscht wird, dann muss hierfür eine zusätzliche Putzschicht aufgetragen werden. Also ein Oberputz auf den Deckputz, der keine nennenswerten Kräfte in das Putzsystem einbringt (in diesem Fall nach dem Prinzip ›weich auf hart‹). Eine Übersicht über Bruchkraft und Entkopplungsmaß nach den Bildern 48 und 49 ist in Tabelle 3 zusammengestellt. Daraus geht hervor, dass das Entkopplungsmaß in einem deutlichen Zusammenhang mit

der ›Weichheit‹ bzw. der ›Härte‹ von Grundputz und Deckputz zusammenhängt.

Das in dieser Weise ermittelte Entkopplungsmaß ist als Analogwert zu betrachten und quantitativ nicht mit dem Verhalten des Putzsystems auf einer Wand gleichzusetzen. Infolge der begrenzten Probengröße



Bild 51: Riss im strukturierten Deckputz einer Putzprobe nach dem Scherzugversuch. Der Riss verläuft in dem grobkörnigen Putz längs der tiefsten Stellen.

Tabelle 3: Bruchkraft und Entkopplungsmaß von Putzsystemen ohne und mit verschiedenen Deckputzen. Grundputze: 15 mm Leichtputz bzw. 40 mm Dämmputz

	Deckputz	Bruchkraft K [N]	Entkopplungsmaß EK [µm]
15 mm Leichtputz	ohne	325	10
	5 mm P Ic	425	11
	5 mm P IIb Struktur (Bild 51)	450	14
	5 mm P IIb glatt	570	21
40 mm Eps-Dämmputz	ohne	250	75
	4 mm Spachtelputz	335	90
	8 mm Scheibputz	365	155

sind beim Versuch von den Verhältnissen in der Praxis abweichende Randbedingungen gegeben.

Prüfmethode ›Bohrhärte‹

Die Putzhärte wird im Allgemeinen mit der Druckfestigkeit oder der Biegezugfestigkeit des Putzes in Zusammenhang gebracht, ermittelt an dafür hergestellten Proben. Wie bereits erwähnt [61] und hinsichtlich feuchtechnischer Eigenschaften in [62] ausgeführt, haben Probenform sowie Herstellung und Nachbehandlung der Proben einen Einfluss auf die Messergebnisse. Zur Härteprüfung von Putzschichten bei Putzsystemen wurde deshalb eine schon vor rund 50 Jahren angewandte Methode der ›Härteprüfung durch Bohren‹ eingesetzt, als ›Bohrhärte‹ bezeichnet. Diese Methode eignet sich sowohl für Messungen am ausgeführten Objekt, um z. B. die Härtezunahme in Abhängigkeit von der Zeit zu erfassen, als auch zum Vergleich an Proben im Labor. Mithilfe einer Bohrmaschine mit Steinbohrer wird bei konstantem Anpressdruck die Eindringtiefe in Abhängigkeit von der Umdrehungszahl (bzw. der Zeit bei konstanter Umdrehung) gemessen und aufgezeichnet, wie in Bild 52 dargestellt und erläutert. Die obere Schemadarstellung entspricht etwa dem ersten Gerät, wobei eine Person die Umdrehungszahl der langsam laufenden Bohrmaschine ablesen musste und eine zweite zur gleichen Zeit die Eindringtiefe. Bei einer weiterentwickelten Ausführung, die in [63] beschrieben ist (mittleres Bild), wurde als Messwert für die Bohrhärte Winkel α ermittelt (je größer der Winkel desto härter der Putz, unteres Diagramm in Bild 52).

Ergebnisse: Entkopplungsmaß/ Bohrhärte

Zusammenhänge zwischen dem Entkopplungsmaß und der Härte der beiden Putzlagen gehen aus der Darstellung in Bild 53 hervor. Daraus erkennt man:

- Das Entkopplungsmaß nimmt mit zunehmender Härte des Grundputzes ab.
- Bei gleicher Bohrhärte des Grundputzes ist das Entkopplungsmaß umso größer, je härter der Deckputz ist.
- Weichere Dämmputze als Grundputze haben eine bessere Entkopplungswirkung als Leichtputze.
- Die mit Quadraten angegebenen Messwerte stammen von Leichtputzen mit Schäden (große Härte, vermutlich Ausführungs- oder Materialmängel).
- Der einzige geprüfte ›Normalputz mit der Bohrhärte 81 (Grund- und Deckputz), also zu hart, hat die geringste Entkopplungswirkung.

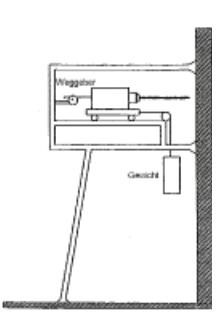
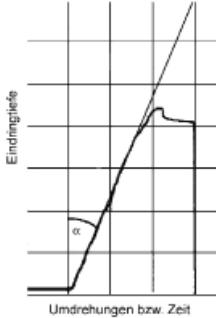
	<p>Schemadarstellung der Messanleitung zur Bestimmung der Bohrhärte</p>
	<p>Die Weiterentwicklung dieses Messprinzips führte zu einem mit Hand ansetzbaren Gerät mit Aufzeichnung der Eindringtiefe des Bohrers [63]</p>
	<p>Registrierung einer Bohrhärte-Messung. Der Winkel α ist bei Vorgabe von Anpressdruck, Umdrehungszahl und Registriergeschwindigkeit ein Maß für die Bohrhärte</p>

Bild 52: Darstellung des Bohrgerätes und Auswerteschema zur Bestimmung der Bohrhärte

Über die Auswirkung von Faserzusätzen in Leichtputzen oder durch Einlegen eines Gewebes in die äußere Schicht des Leichtputzes im Vergleich zu einem armierten Deckputz wurden von anderer Seite Untersuchungen in ähnlicher Weise wie nach der Methode ‚Scherzug‘ durchgeführt (anstelle von zwei Stahlplatten – Bild 47, rechts – wurden zwei Hochlochziegel ohne Verbindung beidseitig verputzt). Dabei erwies sich nur die Version mit einem armierten Deckputz als wirksame Lösung. Die übrigen Varianten einschließlich des Einlegens eines Gewebes in die äußere Schicht eines Leichtputzes erbrachten keine nennenswerten Verbesserungen [64].

Faserarmierung des Putzes

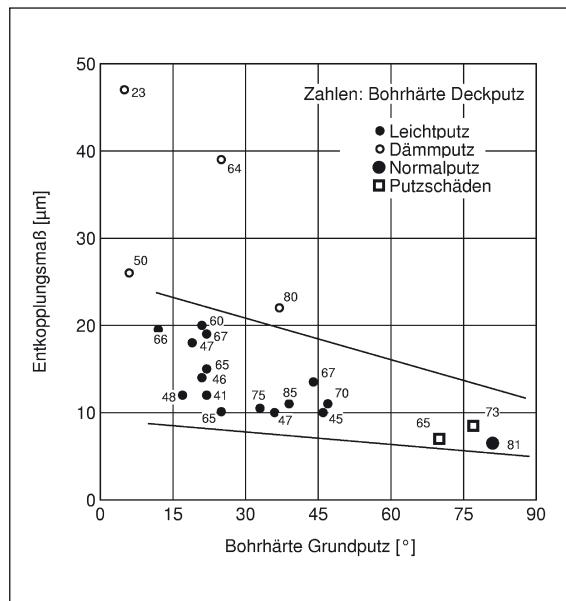


Bild 53: Entkopplungsmaße von handelsüblichen Leichtputzsystemen in Abhängigkeit von der Bohrhärte des Grundputzes (15 mm) mit Zahlenangaben (bei den Messpunkten) der Bohrhärte des jeweiligen Deckputzes (5 mm)

Folgerungen

Hiermit werden die mehr empirisch gewonnenen Ergebnisse über den notwendigen Aufbau eines Außenputzes unter den heutigen Verhältnissen bestätigt. Die geringere Flächenstabilität des heutigen Mauerwerks benötigt zur Vermeidung von Putzrissen einen Entkopplungsputz, der umso besser funktioniert, je »weicher« der Grundputz und je »härter« der Deckputz ist, also nach der Regel »hart auf weich«. Weitere Ergebnisse über die Funktion eines Armierungsgewebes sind in [55] zu finden.

In der nationalen Ergänzung E DIN 18550-1 von 2012 zur europäischen Putznorm werden die in [55] aufgeführten und als Stand der Technik geltenden Ergebnisse nicht bzw. nur zum Teil berücksichtigt. Nach wie vor wird in der neuen Norm als Grundprinzip die Putzregel »weich auf hart« aufgeführt (Begründung siehe Kapitel 1.4), wobei Wärmedämmputze und Leichtunterputze als Ausnahmen bezeichnet werden; auf diese Putze darf ein härterer Oberputz aufgebracht werden. Da Leichtputze beim heutigen wärmedämmenden Mauerwerk fast ausschließlich verwendet werden, ist die Ausnahme die Regel. Die Begründung in Kapitel 1.4 betrifft einen Sonderfall; die meisten heutigen Putzsysteme funktionieren nach dem »Entkopplungsprinzip«. Dies gibt Anlass, auf die in Kapitel 4 aufgeführten Aussagen zur Bedeutung der Norm besonders hinzuweisen. In der

genannten Ergänzungsnorm werden auch veraltete oder nicht definierte Begriffe für Putzrisse verwendet, wie Sackriss, Fettriss oder Stein-Putz-Riss.

3.7 →Aufsteigende Feuchte

Aufsteigende Feuchte ist ein Begriff, der in der Fachliteratur der letzten Jahrzehnte häufig zu finden ist. **Aufsteigend** ist in der Überschrift deshalb in Anführungszeichen gesetzt, da diese Bezeichnung nicht als **Ursache** zu bewerten ist, sondern als **Erscheinungsbild**, das in der Praxis auf verschiedene Ursachen zurückgehen kann. Fehlende Untersuchungen auf dem Gebiet der Altbausanierung – nach dem Zweiten Weltkrieg standen Neubauprobleme im Vordergrund – machten es möglich, dass sich Methoden durchsetzen konnten, die nicht ausreichend geprüft waren bzw. nicht zu befriedigenden Sanierungseffekten führten, wie z.B.:

- nachträglicher Einbau von Horizontalsperren,
- Injektionen von feuchtesperrenden Medien über Bohrungen in die Grundmauern,
- Einbau von ›Entfeuchtungsröhrchen‹ im unteren Mauerbereich, um die Trocknung zu verbessern,
- elektrophysikalische Maßnahmen verschiedener Art, um den Feuchtentransport im Mauerwerk durch Anlegen von elektrischen Spannungen zu beeinflussen, und schließlich
- Aufstellen von dubiosen Geräten in den betroffenen Räumen, welche die Maurerfeuchte absenken sollen.

Erst im letzten Drittel des vergangenen Jahrhunderts wurde auf diesem Gebiet gezielt geforscht. In ganz seltenen Fällen sind die nach aufsteigender Feuchte aussehenden Schäden wirklich durch Feuchtentransport vom Erdreich her verursacht. Viel häufigere Ursachen sind ein erhöhter Salzgehalt im Putz oder Mauerwerk (›Mauersalpeter‹) oder Tauwasserbildung [65].

Salpeter, das hauptsächlich in altem Mauerwerk zu findende Salz, entsteht aus Exkrementen, Urin oder Fäulnisprodukten organischer Stoffe, die durch Bakterien in Salpeter umgewandelt werden und deshalb verstärkt im Umfeld menschlicher Behausungen und Viehställen zu finden sind, insbesondere in früheren Zeiten bei den damaligen sanitären und hygienischen Verhältnissen. Dieser Mauersalpeter

Mauersalpeter

wurde früher als Ausgangsstoff für Schießpulver benötigt. Dafür gab es einen eigenen Berufsstand der ›Saliterer‹, die besondere Schürfrechte im Auftrag der jeweiligen Fürsten und Könige genossen [65], [116]. Die Herkunft der Salze war früher schon bekannt [6], [7], geriet aber dann offensichtlich in Vergessenheit. Da Salpeter und andere vorkommende Salze hygroskopisch sind, nahm die Mauerfeuchte mit zunehmendem Salzgehalt zu. Die ›Versalzung‹ des Mauerwerks erfolgte Hauptsächlich durch Spritzwasser aus früher unbefestigten Wegen und Straßen, was zur Folge hatte, dass Salzgehalt und somit Feuchtegehalt im unteren Mauerbereich am größten war und nach oben abnahm, also der Eindruck aufsteigender Feuchte entstehen konnte.

Beispiele von Schäden durch Mauersalze sind in den Bildern 54 und 55 dargestellt. Bild 54 zeigt den Eingang zum Innenbereich der Stadtresidenz Landshut, durch den im Laufe der Jahrhunderte Pferdedroschken ein- und ausfuhren, wodurch die Salzanreicherung im Eingangsbereich verständlich ist im Gegensatz zu den beidseitig angrenzenden Fassadenbereichen. Die dunkleren Putzflächen des Bauernhauses in Bild 55 sind deutlich feucht (3 bis 6 M.-%). Nach Trocknung der entnommenen Putzproben und Lagerung in einem Klima von 80 % relativer Feuchte (mittlere Außenluftfeuchte) stellen sich aber wieder etwa die an der Wand gemessenen Feuchtegehalte ein. Das bedeutet: Es handelt sich somit nicht um aufsteigende Feuchte, sondern um Sorption aus der Luft aufgrund des Salzgehalts in den Putzproben (Näheres in [65]). Man kann den höheren Feuchtegehalt in salzhaltigem Mauerwerk auch durch eine temperaturabhängige Trocknungsblockade beschreiben [66].

Abhilfe durch Sanierputze

Den sichtbaren Schäden infolge erhöhten Salzgehalts kann man durch Aufbringen eines Sanierputzes begegnen. Dies ist eine bewährte Maßnahme, die in der Vergangenheit, als man aufsteigende Grundfeuchte als Hauptursache diagnostizierte, oft als ›begleitende Maßnahme‹ bezeichnete. Aber in Wirklichkeit ist in solchen Fällen ein Sanierputz das einzig Richtige [67].

Tauwasserbildung

Wie mehrmals erwähnt, war früher die Wärmedämmung kein Gesichtspunkt beim Bauen. Infolge der Verwendung von massiven Baustoffen (Vollziegel oder Natursteine) zeichnen sich deshalb im Allgemeinen die Außenwände alter Gebäude durch geringe Wärmedämmung und hohe Wärmekapazität aus. Das bedeutet, dass sich bei intermittierendem oder nur zeitweiligem Beheizen die Temperatur von



Bild 54: Eingangsbereich der Stadtresidenz in Landshut, erbaut 1536–1543, fotografiert 1970 und saniert 1993 durch einen Sanierputz



Bild 55: Bauernhaus in Mitterdarching mit feucht aussehendem Außenputz im unteren Fassadenbereich, Eingangsseite Ost

Wandbereichen mit größerer Masse oder reduzierter Wärmezufuhr nur langsam erhöht, wodurch dort Tauwasser auftreten kann. Dies trifft z. B. häufig bei Kirchen zu.

Sommerkondensation

Auch wenn man durch Hereinlüften wärmerer Außenluft unbeheizte Gebäude (Kirchen) temperieren will, kann das Gleiche auftreten. Denn die wärmere Außenluft hat oft auch eine höhere absolute Feuchte, wodurch ungewollt eine Erhöhung der Raumluftfeuchte bewirkt wird mit der Möglichkeit von Tauwasserbildung. Für diesen Fall hat sich die Bezeichnung ›Sommerkondensation‹ eingebürgert, da die Tauwasserbildung von sommerlichen Außenbedingungen hervorgerufen wird.

Winterkondensation

Analog dazu kann die Tauwasserbildung durch Beheizen als ›Winterkondensation‹ bezeichnet werden, wobei die Feuchtigkeit gewissermaßen von innen kommt (Desorption, Feuchtequellen).

In beiden Fällen – bei Sommerkondensation und bei Winterkondensation – ist das unmittelbar an den nicht gedämmten Boden grenzende aufgehende Mauerwerk am kältesten und damit von unten her tauwassergefährdet. Und wiederum entsteht das Erscheinungsbild ›aufsteigende Feuchte‹.

Abhilfe: Bauteiltemperierung bzw. kontrolliertes Lüften

Die geringe Wärmedämmung kann durch Temperieren der kältesten Stellen (Wärmebrücken) in gewissem Sinne kompensiert werden. Meist sind dies die Ecken zwischen Boden und aufgehender Wand, insbesondere auf den Nordseiten von Gebäuden. Durch eine ›lineare‹ Wärmezufuhr durch eine Warmwasserleitung oder ein elektrisches Heizkabel ist dies möglich. Eine solche Temperierung als Flächenheizung auszulegen, ist allerdings ohne zusätzliche Dämmsschichten an Außenwänden nicht wirtschaftlich. Dies ist in [65] näher beschrieben.

Wenn die Tauwasserbildung (insbesondere in unbeheizten Gebäuden) auf Sommerkondensation zurückzuführen ist, dann hilft eine kontrollierte Lüftung. Das ist eine Lüftung, die nur dann erfolgt bzw. automatisch betrieben wird, wenn die absolute Außenluftfeuchte geringer ist als die absolute Raumluftfeuchte. Dies erfordert eine Messanlage zur Ermittlung der äußeren und inneren Luftfeuchtwerte [65]. Oft ist der Schaden auf beide Ursachen – Sommerkondensation und Winterkondensation – zurückzuführen.

Kapillar aufsteigende Grundfeuchte

Dies ist die am seltensten auftretende Ursache von Feuchteschäden im Fundamentbereich von Gebäuden. Eindrucksvoll wird dies bestätigt durch viele Wasserschlösser, die keineswegs in stärkerem Maße Feuchteschäden aufweisen als Gebäude, die ›auf der Erde‹ stehen. Als Beispiel wird auf das Bild 56 hingewiesen. Das ist auf den bisher

nicht berücksichtigten Übergangswiderstand für den Kapillartransport zwischen verschiedenen Materialien zurückzuführen, z. B. zwischen Stein und Mörtel bei im Verband vermauerten Formsteinen (Bild 57). Wirkliche aufsteigende Feuchte ist am ehesten in homogenen, zusammenhängenden Materialschichten anzutreffen, z. B. in einer Putzschicht oder bei Bruchsteinmauerwerk infolge der unregelmäßig eingebrachten Mörtelmassen. Auch hierzu werden in [65] weitere Erläuterungen gegeben. Abhilfen sind im Einzelfall festzulegen.



Bild 56: Kirchturm der ehemaligen Ortschaft Graun in Südtirol, der seit 1950 mit Inbetriebnahme des Reschen-Stauwerks im Wasser steht. Auch bei genauer Betrachtung (Bildausschnitt) ist keine aufsteigende Feuchte zu erkennen.



Bild 57: Haus in Norddeutschland aus Sichtziegelmauerwerk mit Natursteinfundament, das mit großformatigen Steinen abschließt (wirksame und bewährte Art der Horizontalisolierung)

3.8 Luftschichten und Belüftung

Das Belüften von Luftschichten in Baukonstruktionen ist ein Thema, das immer wieder zu Diskussionen Anlass gegeben hat und das auch mit den im Laufe der Zeit veränderten Bau- und Wohnverhältnissen zusammenhängt. Im Folgenden werden Konstruktionen mit Luftschichten behandelt, bei denen eine Belüftung vorgeschlagen oder vorgeschrieben war bzw. ist.

Zweischaliges Mauerwerk mit Luftschicht

Bei zweischaligem Mauerwerk als Sparwände wurde zur Beschleunigung der Bauaustrocknung vorgeschlagen, die Luftschicht vorübergehend zu belüften ohne nähere Angaben über Belüftungsöffnungen (Kapitel 2.2). Bei häufig berechneten Außenwänden wurde die Belüftung auch beibehalten trotz Minderung des Wärmeschutzes [17].

Nach Triebel [8] ist das zweischalige Mauerwerk die einzige Konstruktion von Sparwänden, die als Sichtmauerwerk heute noch zur Anwendung kommt, und zwar in den norddeutschen Küstengebieten mit belüfteter Außenschale und im Binnenland ohne Belüftung. Das Verfüllen der Luftsicht zwischen den beiden Wandschalen wurde erst später zur Erhöhung der Wärmedämmung aktuell.

In der ersten Norm, die sich mit zweischaligem Mauerwerk befasst, die DIN 1053 »Mauerwerk, Berechnungen und Ausführung«, Ausgabe 1952, heißt es hierzu: »Um den Zwischenraum zwischen den beiden Mauerschalen trocken zu halten, dürfen oberhalb des Erdgeschoßfußbodens und unterhalb der Dachtraufe in der äußeren Mauerschale Lüftungsschlitz angeordnet oder ein entsprechender Anteil der Stoßfugen offen gelassen werden. Diese Lüftungsschlitz sollen auf 20 m² Wandfläche (Fenster und Türen eingerechnet) eine Fläche von etwa 150 cm² haben.« Das ›Darf‹ war dabei wohl so zu verstehen, dass die durch die Belüftung bedingte Mindestrung des Wärmeschutzes vernachlässigt werden kann. Dies war konform mit der früheren Beurteilung (Belüftung bei starker Beregnung und bei Flachbauten, Kapitel 2.2).

In der Ausgabe 1974 der DIN 1053 wurde aber von dieser Regelung abgegangen: Das ›Darf‹ wurde in ein ›Soll‹ umgewandelt und die Lüftungsöffnungen wurden verdoppelt: Zitat aus der Norm: »Die Außenschalen sind jeweils unten und oben mit Lüftungsöffnungen zu versehen. Das gilt auch für die Brüstungsbereiche der Außenschalen. Die Lüftungsöffnungen sollen auf 20 m² Wandfläche (Fenster und Türen eingerechnet) eine Fläche von etwa 150 cm², jeweils unten und oben haben. [...] Bei Anwendung einer zusätzlichen mattenförmigen oder plattenförmigen Wärmedämmsschicht auf der Außenseite der Innenschale darf der lichte Abstand der Mauerwerksschale 12 cm nicht überschreiten. Die Luftsicht muss in diesem Fall mindestens 4 cm dick sein. Es ist sicherzustellen, dass sie nicht durch Mörtelbrücken aus der Verblendschale eingeengt wird.« Eine belüftete Luftsicht wurde dadurch als unverzichtbar dargestellt und die Zulässigkeit von Belüftungsöffnungen im Fußbereich der Mauer und unterhalb der Dachtraufe wurde auf die gesamte Fassadenfläche übertragen. Man hat nicht bedacht, dass durch ungeschützte Öffnungen mehr Regen eindringen als durch Trocknung abgegeben werden kann (durch Untersuchungen bestätigt [68]). Die Belüftung wurde auch nicht auf Wetterseiten beschränkt, sondern allgemein gefordert. Dadurch entstanden Fassadenansichten wie in den Bildern 58 und 59 gezeigt.

Belüftung der Luftsicht

Verstärkte Belüftung



Bild 58: Neues Rathaus in Kiel mit Belüftungsöffnungen nach DIN 1053-1 (1996); Vergrößerung im Kreisbereich oben. Die stärkste Schlagregenbeanspruchung erfolgt im obersten Gebäudebereich. Durch die oberen Öffnungen kann mehr Regen eindringen als durch Belüftung abgeführt wird, wie durch Untersuchungen bestätigt wurde [68].



Bild 59: Fassadenansicht einer Klinik in München mit verputztem, zweischaligem Mauerwerk mit Luftsicht und Belüftung nach DIN 1053-1 (1996). Die Belüftungsöffnungen sind auch im Brüstungsbereich und im geschützten Eingangsbereich vorhanden. Eigentlich war dort gar keine Belüftung notwendig, außerdem bewirkt der Außenputz den Regenschutz.

Kerndämmung, also das volle Ausfüllen des Luftzwischenraumes, wurde erst in der DIN 1053-1 (1996), in die Norm aufgenommen. Zuvor bedurften Kerndämmung oder eine Reduzierung des Belüftungzwischenraums auf weniger als 4 cm eine Zulassung durch das Deutsche Institut für Bautechnik. Kerndämmung durch Verfüllung der Luftsicht von Hohlmauerwerk wurde aber schon Jahre zuvor – vor allem in Holland – mit Erfolg praktiziert [69].

Kerndämmung

Freiland-Untersuchungen an Versuchswänden in Holzkirchen und Untersuchungen anderer deutscher Forschungsstellen [68], [116] in den 1980er-Jahren haben schließlich bestätigt, dass eine nicht kapillar saugende Wärmedämmenschicht in gleicher Weise als ›Feuchte-Trennschicht‹ zwischen den beiden Wandschalen wirkt wie eine Luftsicht und dass eine Belüftung nicht erforderlich ist. In weiteren Arbeiten wurde dargelegt, dass sich eine Klinkervorsatzschale nicht nachteilig auf eine Wandkonstruktion mit Kerndämmung auswirkt, entgegen den Angaben in der Norm [70]. Eine andere Frage ist das Verputzen von Vorsatzschalen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein Putz auf der dünnen Mauerschale schadensanfällig wegen möglicher Rissbildungen ist [71]. Die Entwicklungsgeschichte des zweischaligen Mauerwerks ist in [115] zusammengefasst.

Eingehende Untersuchungen

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde im Entwurf einer neu bearbeiteten Normfassung mit der Bezeichnung DIN 1053-12, Ausgabe März 2009, folgende lapidare Formulierung beschlossen: »Die Außenschale darf oberhalb von Abdichtungen mit Entwässerungsöffnungen oder Lüftungsöffnungen (z.B. offene Stoßfugen) versehen werden. Dies gilt auch für die Brüstungsbereiche der Außenschale.«

Neue Normfassung

Der Entwurf wurde aber nicht – wie vorgesehen – als Teil 12 der DIN 1053 veröffentlicht, sondern wurde mit gleichem Wortlaut Bestandteil der DIN EN 1996-2/NA:2912-01. Damit ist man wieder auf das ›Darf‹ wie früher zurückgekommen, aber nun belegt durch eingehende wissenschaftliche Untersuchungen. Konkret bedeutet das, dass eine Entwässerung oder Belüftung der Verblendschale nicht erforderlich ist (siehe auch [120]).

Der Entwurf wurde aber nicht – wie vorgesehen – als Teil 12 der DIN 1053 veröffentlicht, sondern wurde mit gleichem Wortlaut Bestandteil der DIN EN 1996-2, NA 01, Ausgabe Dezember 2010.

Dass der Hinweis auf den Nachteil einer durchgehenden Luftsicht in DIN 4108 in den Ausgaben vor 1981 (siehe Kapitel 2.3) begründet war,

Quertransport von Feuchtigkeit

geht aus den in Bild 60 ersichtlichen Beobachtungen an dem Versuchshaus aus zweischaligen Wänden (12 cm Vollziegel – 6 cm Luftsicht – 12 cm Lochziegel innen [26]) hervor. Die erhöhte Anfangsfeuchte führte im ersten Winter nach der Errichtung zu sichtbaren Durchfeuchtungen der Außenschale des unbeheizten Vorräumes und im Bereich der Nordwestecke (Wärmebrücke), hervorgerufen durch Quertransport von Feuchtigkeit aus dem beheizten Raum bzw. der baufeuchten Innenschale dieses Raumes (die Luftsicht war nicht belüftet). Solche Fälle sind früher, bei dickem Mauerwerk und nur Beheizen einzelner Räume, sicher des Öfteren aufgetreten. Hätte man den Hinweis über den Nachteil durchgehender Luftsichten in DIN 4108 beibehalten und beim Ausbau von Dachgeschossen zu Wohnzwecken befolgt, hätte man sich eine Fehlentwicklung ersparen können. Denn auch bei Satteldächern kam später die Frage von Belüftungsmaßnahmen auf.

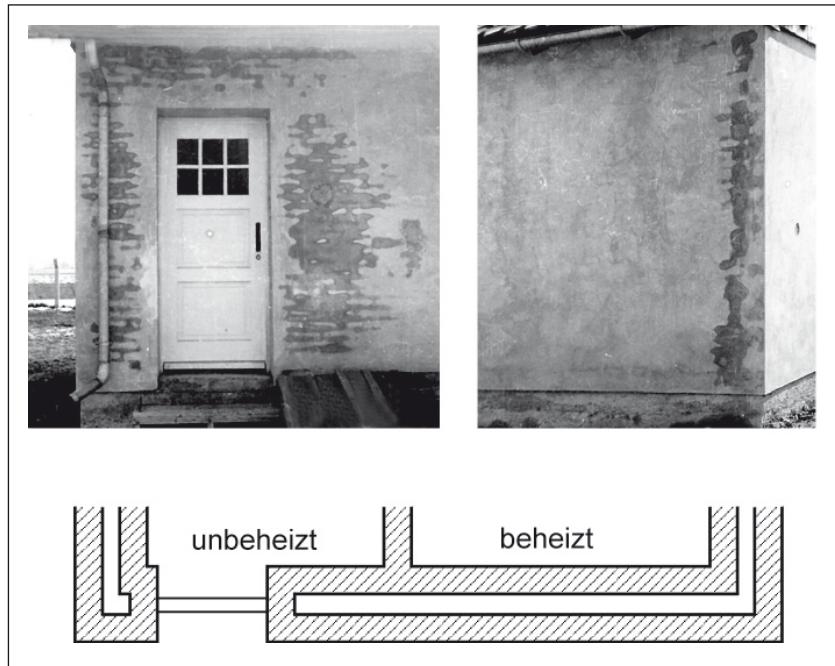


Bild 60: Grundrissskizze der Nordfassade des Versuchshauses mit zweischaligen Außenwänden und fotografischen Ansichten mit feuchtem Außenputz im Bereich des unbeheizten Vorräumes und der Nord-West-Ecke. Die Feuchtebelastung war durch die Baufeuchte im ersten Untersuchungswinter und die zusätzliche Feuchteproduktion im beheizten Versuchsräum besonders hoch

Belüftetes Flachdach

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurden in Deutschland zunehmend Gebäude mit Flachdächern errichtet, eine Bauart, die zuvor wenig üblich war. Dabei traten bei den damals zur Verfügung stehenden

Dämmstoffen (hauptsächlich expandierte Korkplatten und Holzwolle-Leichtbauplatten) und dem langsameren Bauablauf Probleme auf. Viele meinten damals, Flachdächer gehören in südliche Länder, wie Italien oder Griechenland; bei den Klimaverhältnissen in Deutschland ist es schwierig, ein Flachdach ohne störende Regeneinflüsse fertigzustellen. Tatsache ist, dass die damals produzierten Dachpappen unvergleichbar weniger strapazierfähig und dauerhaft waren als das heutige hochwertige Material. Deshalb waren damals belüftete Flachdächer eine oft angewandte Bauart: Erhöhte Anfangsfeuchte oder in der Bauzeit eingebrachte Regenfeuchte konnte durch die Belüftung abgeführt werden und den Regenschutz übernahm eine über der belüfteten Luftschicht gesondert angebrachte, regenableitende Dachkonstruktion.

Die heute verfügbaren, praktisch nicht wasseraufnahmefähigen Dämmstoffe wie Schaumkunststoffe und hydrophobierte Mineralwolleplatten sowie kunststoffvergütete Bitumendachbahnen und Polymerdachbahnen mit Gewebeeinlage haben den Bau von belüfteten Flachdächern weitgehend verdrängt. Ein nicht belüftetes Betonflachdach ist einfacher und problemloser herzustellen als ein belüftetes Dach. Bei dem zu den nicht belüfteten Dächern zählenden sogenannten UK-Dach (»Umkehrdach«) besteht durch den Schutz der Dachhaut vor Witterungseinflüssen durch die darüber liegende Dämmsschicht ein weiterer Vorteil hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der Konstruktion. Das belüftete Flachdach ist gewissermaßen ein Übergang in der Entwicklung neuerer Baukonstruktionen.

Die etwas seltsamen Bezeichnungen »Kaltdach« und »Warmdach« für belüftete bzw. nicht belüftete Dächer erscheinen wenig einleuchtend. Eichler und Arndt geben hierzu in [72] folgende Erklärung:

- »Für das zweischalige Dach mit einem begeh- oder bekriechbaren Dachboden, der auch durch eine Luftschicht ersetzt werden kann, wobei unter der Dachdeckung ein kalter Raum anzutreffen ist, setzte sich die Bezeichnung »Kaltdach« durch.
- Das einschalige Dach, unter dem sich direkt der beheizte Raum befindet, wird als »Warmdach« bezeichnet.«

An anderer Stelle heißt es:

- »Während beim Kaltdach die wärmedämmende Ebene (die Unterschale) im Schatten liegt, wird das einschalige Dachsystem von der Sonne bestrahlt.«

Nicht belüftetes Flachdach

Bezeichnungen Kaltdach/ Warmdach

In dieser Diktion wird auch eine Wand mit vorgesetzter, hinterlüfteter Bekleidung als ›Kaltfassade‹ bezeichnet,

Es ist zu begrüßen, dass die Bezeichnungen Kaltdach und Warmdach nur noch selten angewandt werden.

Belüftungsmaß für Flachdächer

Über das Maß der Belüftungsöffnungen bei belüfteten Flachdächern werden in der DIN 4108-3 (1981) erstmals Angaben gemacht, worin diese an gegenüberliegenden Dachseiten mindestens 2 % der Dachfläche betragen sollen mit gewissen Varianten, abhängig von der Dachneigung und der Lage der Lüftungsöffnungen (Traufe oder First). Außerdem werden Hinweise über raumseitige Dampfbremsen in Abhängigkeit von den Dachabmessungen gegeben. Auch die Dachdecker-Richtlinien und andere Regelwerke enthalten entsprechende Angaben, in denen jeweils die 2 % als Richtwert mit gewissen Varianten zu finden sind. Der Wert 2 % beruht nicht auf Untersuchungen, sondern ist ein überkommener Wert, der letztlich auf Erfahrungen aus Dächern in Holzbauweise mit dichten Dachkonstruktionen in Skandinavien und Kanada zurückgeht.

Hinterlüftete Wandbekleidung

Für diese früher als Wand mit ›Wettermantel‹ bezeichnete Fassadenausführung wurde zunächst – wie bei Flachdächern – ebenfalls ein Belüftungsmaß von 2 % der Fassadenfläche gefordert. Dies hätte allerdings bei höheren Gebäuden unrealistisch große Abstände zwischen Mauerwerk und Bekleidung zur Folge haben können. In DIN 18516-1 »Außenwandbekleidungen, hinterlüftet« wurden daher nur auf die Wandlänge bezogene Öffnungen von mindestens $50 \text{ cm}^2/\text{m}$ vorgeschrieben, jeweils am Gebäudefußpunkt und Dachrand.

Unlogisch war, dass bei belüftetem zweischaligem Mauerwerk die Dämmwirkung der Luftsicht voll in Anrechnung gebracht werden durfte (Isolierluftsicht), nicht aber bei belüfteten Wandbekleidungen, auch bei größeren Bekleidungselementen. Später wurde das dahingehend geändert, dass bei Wänden mit Außenbekleidungen der äußere Wärmeübergangskoeffizient von $20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ auf $10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ reduziert worden ist.

Steildach (Satteldach)

Dachraum als Lagerraum

Ursprünglich diente der Raum unterhalb eines Daches zum Aufbewahren von Gerätschaften aller Art oder zum Trocknen von Wäsche, wobei der Luftaustausch durch die mit Ziegeln oder ähnlichen Deckungen

versehenen Dächer ausreichend war. Da ein Dach aus kleinformatigen Deckungen zwar regendicht, aber nicht unbedingt wasserdicht und dicht gegen Flugschnee ist, wurde oft unterhalb der Deckung eine ‚Vordeckung‘ angebracht. Diese bestand zunächst aus einer Holzschalung mit Dachpappe und später wurden auch kostengünstigere Unterspannbahnen oder Unterdeckbahnen eingeführt. Dadurch gewann man einen hochwertigen Lagerraum, der durch Dachfenster oder Fenster auf den Giebelseiten nach Bedarf belüftet werden konnte (Fall A in Bild 61).

Die Weiterentwicklung vom Lagerraum zum Wohnraum erfolgte in verschiedenen Entwicklungsstufen. Zur erforderlichen Dämmung hat man in der Regel zwischen den Sparren Dämmschichten eingebracht und raumseitig – nach Innenputz oder Innenbeplankung – eine Dampfbremse angeordnet. Vor der Energiekrise hatte man sich aus Kostengründen mit Dämmschichtdicken zwischen 4 und 6 cm begnügt. Der verbleibende Luftzwischenraum von 10 bis 14 cm bis zur Dachdeckung war selbstverständlich belüftet; es wäre aufwendig gewesen, diesen Luftraum von der Außenluft abzusperren (Fall B in Bild 61).

Im Laufe der Jahre stiegen die Dämmanforderungen und damit die Dämmschichtdicken. Der Belüftungsraum zwischen der Oberseite der Dämmung und der dichten Vordeckung oder Unterdeckbahn wurde dadurch immer enger (Fall C in Bild 61). Um diesen Raum und auch die

Wohnen im Dachraum

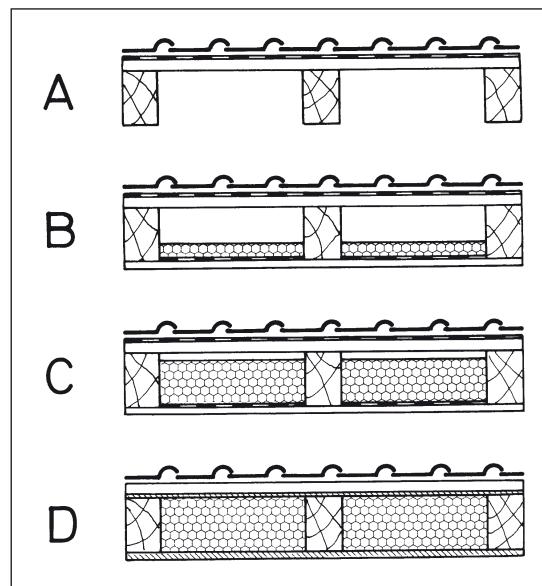
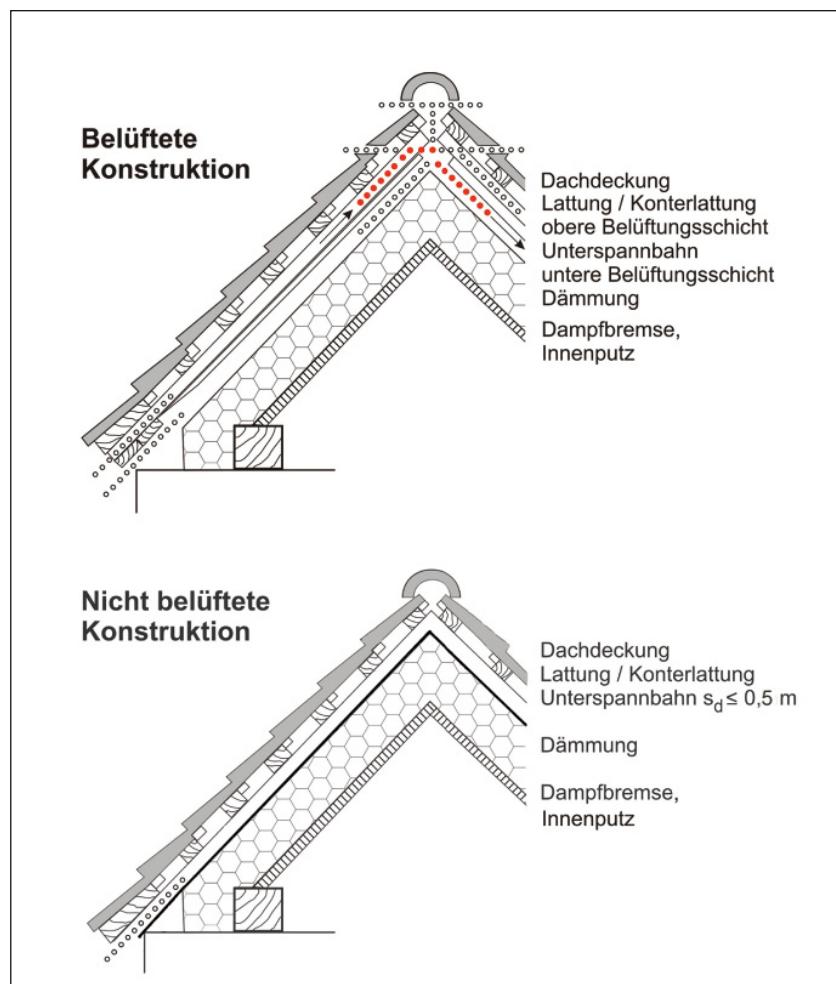


Bild 61: Entwicklung der Dachkonstruktionen vom Dach als Speicherraum zum vollgedämmten Wohngeschoss:

- A: Nicht gedämmtes Dach mit Holzschalung und Dachpappe zur Vermeidung von Flugschnee- und Staubeintrag (Dachspeicher)
- B: Belüftetes Dach mit Dämmung vor der Energiekrise
- C: Belüftetes Dach mit erhöhter Dämmung nach der Energiekrise
- D: Nicht belüftetes Dach mit maximaler Dämmung und diffusionsoffener Unterspannbahn

Luftschicht zwischen Vordeckung und abschließender Dachdeckung zu belüften, waren nach den Dachdecker-Richtlinien zwei Lüftungsebenen von mindestens 2 cm Schichtdicke einzuhalten, die am Dachfirst miteinander zu verbinden sind, wie in Bild 62, oben, dargestellt. Der Dachfirst wurde dadurch zur ‚Drehscheibe‘ zwischen den Belüftungsebenen auf beiden Dachhälften, die in der Regel unterschiedliche Temperaturen aufweisen, z.B. besonnte Südseite und schneebedeckte Nordseite. Es kann dadurch das passieren, was beim zweischaligen Mauerwerk infolge Quertransports von Feuchtigkeit an unterschiedlich temperierten Außenschalen auch aufgetreten ist (Bild 60). Nur gibt es in diesem Fall vier verschiedene Möglichkeiten, nämlich Übergänge

Bild 62: Satteldachkonstruktionen mit Angabe des Aufbaus von oben nach unten (schematische Darstellungen). Oben: Belüftete Konstruktion nach den Dachdeckerrichtlinien [73] mit zwei Belüftungsschichten, die am First miteinander verbunden sind. Dadurch ist eine Feuchteverteilung durch Strömung und Diffusion nach den Punktfolgen möglich. Die rote Punktfolge zeigt den Weg von der ‚Konterlatten-Luftschicht‘ in die Schicht unter der Unterspannbahn gegenüber. Infolge der Luftdurchlässigkeit der Dachdeckung (Plattenfugen) kann bei Windanströmung auf diesem Weg ein besonders wirksamer Feuchtetransport erfolgen. Unten: Nicht belüftete Konstruktion bei voller Dämmung zwischen den Sparren und Überdeckung durch eine Unterspannbahn bzw. Vordeckung ohne Unterbrechung im Firstbereich, eine wesentlich einfachere Konstruktion.



von der unteren oder oberen Lüftungsebene einer Seite zur unteren oder oberen Lüftungsebene der anderen Seite. Außerdem kann in die Belüftungsebenen eindringende Außenluft zu Tauwasserbildungen an inneren Oberflächen der Dachkonstruktion führen, die wegen nächtlicher Abstrahlung unterkühlt sein können. Dies kann wegen geringer Masse z. B. an Unterdeckbahnen erfolgen, von denen dann das Tauwasser abtropft. Zusätzlich ist mit Feuchtigkeit aus dem Wohnbereich durch Wasserdampfdiffusion und Strömung zu rechnen entsprechend der Dictheit der raumseitigen Dampf- bzw. Luftbremse.

An nach Süden und Norden orientierten Dachflächen in der Freilandversuchsstelle Holzkirchen (Bild 63) wurden diese Einflüsse bei verschiedenen Dachausführungen untersucht. Ein Ergebnis von zwei Dachvarianten ohne bzw. mit Konterlattung ist in Bild 64 dargestellt. Auf der Südseite und der Nordseite ohne Konterlattung nimmt die Sparrenfeuchte im winterlichen Messzeitraum kontinuierlich ab (der Dachstuhl wurde ein halbes Jahr zuvor aufgestellt, hatte also noch eine erhöhte Anfangsfeuchte). Durch die Verteilungsmöglichkeit über die Luftsicht infolge der Konterlattung und dem strömungsoffenen First nimmt jedoch die Sparrenfeuchte auf der Nordseite zunächst erheblich zu mit Höchstwerten in der kalten Winterperiode Februar/März. Je ungehinderter die feucht-warne Luft aus dem Dachbereich unterhalb der zeitweilig besonnten und ggf. schneenassen Deckung

Untersuchungsergebnisse



Bild 63: Ansicht des Versuchsgebäudes mit flachgeneigten Dachflächen (28°), nach Süden und Norden orientiert, hier gedeckt mit unterschiedlichen Dachziegeln bei unterschiedlichem Dachaufbau (rote Ziegel ohne und mit Silikonbehandlung, engobierte Ziegel, Flachdachpfannen und Bierschwanz-Deckung)

auf der Südseite in den kälteren Dachbereich auf der Nordseite gelangen kann, desto mehr besteht dort die Möglichkeit der Tauwasserbildung an der Unterdeckbahn und einer Befeuchtung des Sparrenholzes. Dass durch den Luftraum, der durch die Konterlatten entsteht, eine Luftbewegung von Süd nach Nord entstehen kann, wurde durch Temperaturmessungen bestätigt. Selbst auf der Südseite ist ein gewisser Feuchteintrag aus der Außenluft festzustellen, die durch die Luftschicht infolge der Konterlattung eindringt (Bild 64). Jede Verstärkung einer Belüftung, z. B. auch durch Lüftersteine, kann sich nachteilig auf die Sparrenfeuchte auswirken, sofern nicht konsequent eine Trennung zwischen unterschiedlich beanspruchten Dachflächen erfolgt; weitere Untersuchungsergebnisse mit anderen Dachvarianten in [117], [118] und [119].

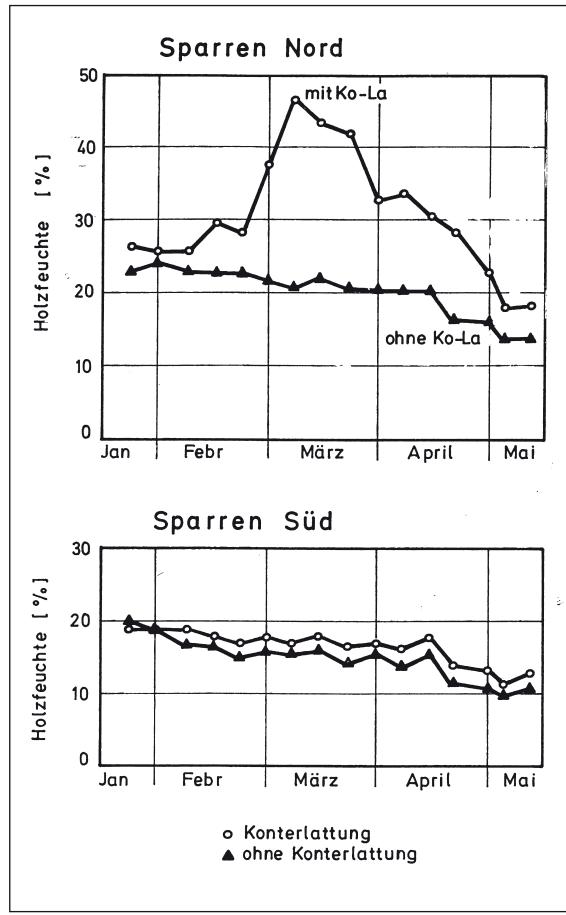


Bild 64: Zeitliche Verläufe der Sparrenfeuchte (seitliche Oberflächen) ohne und mit Konterlattung bei einer Dachkonstruktion gemäß Bild 62, oben, bei nach Nord und Süd orientierten Dachflächen (28° Neigung)

Der Feuchteeintrag durch in die Konstruktion eindringende Außenluft und die Umverteilung der Feuchte zwischen Dachbereichen mit unterschiedlichen Temperaturverhältnissen kann größer sein als der wohnbedingte Feuchteeintrag durch Dampfdiffusion. Bei Volldämmung in Sparrenhöhe und über den Giebelbereich geführte Unterspannbahn sind ›Umschichtungen‹ von Feuchtigkeit wie bei dem belüfteten Dach in Bild 62 nicht möglich. Die ›Belüftungsphilosophie‹ beim wärmegedämmten Satteldach stammt noch aus der Zeit der Vordeckung durch Holzschalung und Dachpappe. Nachdem es diffusionsoffene Unterdeckbahnen gibt, kann ein wärmegedämmtes Satteldach einfacher gemäß Bild 62, unten, konstruiert werden. Es gilt somit das Gleiche wie bei zweischaligem Mauerwerk: Nicht Belüften ist aus Gründen des Wärme- und Feuchteschutzes zu bevorzugen. Lediglich bei Holzkonstruktionen in Verbindung mit Mauerwerk kann zur Vermeidung von Sommerkondensation und dadurch möglicher Schädigung des Holzes eine Belüftung notwendig sein [74].

Folgerung

3.9 Klimabedingter Feuchteschutz

Die 1952 erschienene DIN 4108 »Wärmeschutz im Hochbau« und die Folgeausgaben bis 1981 haben sich in erster Linie mit Fragen des Wärmeschutzes befasst mit Angaben über die Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen und Anforderungen an den Mindestwärmeschutz von Außenbauteilen. Das waren beim konventionellen Mauerwerksbau im frühen 20. Jahrhundert auch die Hauptgesichtspunkte. Beim damaligen Mauerwerk aus kleinformatigen Steinen gab es keine Probleme hinsichtlich des Feuchteschutzes: nicht beim Regenschutz und erst recht nicht in Fragen der Wasserdampfdampfdiffusion, das war für die damaligen Bauleute quasi ein Fremdwort.

Über die neueren Untersuchungen zum Regenschutz von Außenputzen wurde bereits berichtet, und dass auch dabei Fragen der Wasserdampfdiffusion aufgetreten sind, wie auch bei ›geschichteten‹ Wandkonstruktionen und bei Flachdächern. Wieder war es Prof. Otto Graf, der frühzeitig die Behandlung mit diesem zunächst neuen Arbeitsgebiet anregte. Er veranlasste, dass sein Kollege Prof. Dr. K. Egner eine informative Schrift verfasste, zu der Graf als Herausgeber in der Einleitung vorausschauend schrieb: »Das vorliegende Heft betrifft eine Aufgabe, die in der Bautechnik der alten Welt wenig beachtet wurde und die

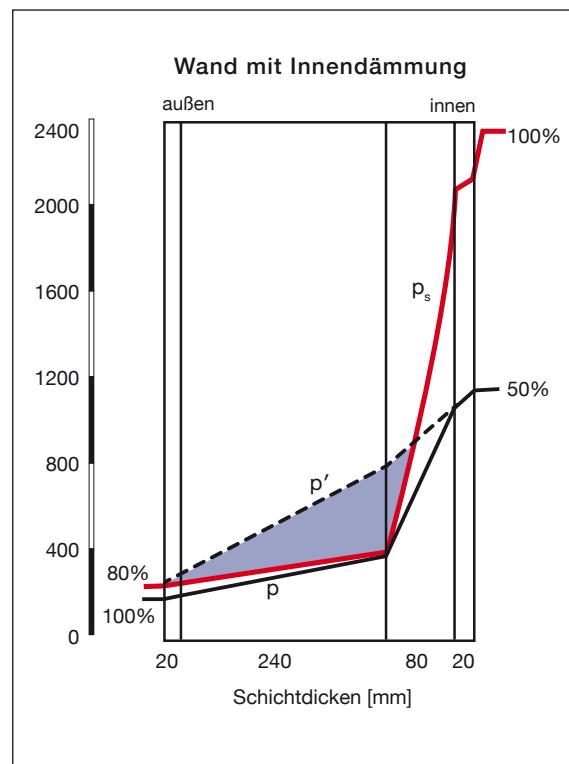
Einstieg in die Diffusionsthematik

im fortschrittlichen Bauen der Zukunft ernst berücksichtigt werden muss. Es handelt sich um die Dampfdurchlässigkeit der Wände.« Diese Veröffentlichung, in der auch einschlägige Erfahrungen durch Literaturauswertungen aus Skandinavien und Nordamerika enthalten sind, kann man als Starthilfe auf diesem Gebiet betrachten [75].

Dampfsperren zur Vermeidung von Dampfdiffusion

Eine Berechnungsmöglichkeit der Tauwassermenge durch eindiffundierenden Wasserdampf in Baukonstruktionen gab es damals noch nicht. Man konnte nur Dampfdruckverlauf und Sättigungsdampfdruck in einer Konstruktion aufzeichnen und feststellen, ob die Möglichkeit von Tauwasserbildung gegeben ist, d.h., ob oder in welchem Bereich der Dampfdruck entsprechend den Diffusionswiderständen höher als der Sättigungsdruck aufgrund des Temperaturverlaufs ist (siehe Beispiel in Bild 65). War dies der Fall, dann wurde eine Dampfsperre empfohlen. Um sicher zu gehen (da man die Tauwassermenge ja nicht ermitteln konnte), wurde in der Regel eine hohe Sperrwirkung gewählt, z.B. Bitumenpappe mit Einlage einer Aluminiumfolie.

Bild 65: Verläufe des Sättigungsdampfdrucks p_s (rot) und des fiktiven Dampfdrucks p' (gestrichelt, Aufteilung des Dampfdrucks zwischen innen und außen entsprechend den Diffusionswiderständen der einzelnen Schichten) für eine verputzte Wand mit Innendämmung bei folgenden Klimaverhältnissen: außen: -10°C , 80 % rel. Feuchte, innen: 20°C , 50 % rel. Feuchte. Im blauen Bereich (fiktiver Dampfdruck über Sättigungsdampfdruck) kann Tauwasserbildung bestehen. Dass der tatsächliche Dampfdruck nicht über dem Sättigungsdampfdruck verlaufen kann, sondern nach der ausgezogenen Linie p , ist die Grundidee von Glaser in [76]. Tauwasser fällt in dem Knick zwischen Innendämmung und Mauerwerk aus.



Erst 1959 wurde durch eine Veröffentlichung von H. Glaser ein grafisches Verfahren zur Ermittlung der Tauwassermenge infolge innerer Kondensation in Bauteilen bekannt [76]. Damit wurde es möglich, die zu erwartende Tauwassermengen in Baukonstruktionen unter vorgegebenen Randbedingungen zu ermitteln (Bild 65). Um aufgrund dieser Möglichkeit eine allgemeine Beurteilungsmodalität einzuführen, wurden von den auf diesem Gebiet tätigen Forschungs- und Prüfinstituten im Jahr 1962 Vorgehensweise und Randbedingungen festgelegt. Man ging davon aus, dass eine Kondensatmenge unter winterlichen Bedingungen zugelassen werden kann, wenn eine Austrocknung unter sommerlichen Bedingungen gewährleistet ist und die vorübergehende Feuchteerhöhung in der Konstruktion keine unzulässigen Nachteile zur Folge hat (Materialschädigung oder starke Minderung der Wärmedämmung). Unter Berücksichtigung der damaligen numerischen Berechnungsmöglichkeiten und zur Vereinfachung wurden für die winterlichen und sommerlichen Verhältnisse ›Blockrandbedingungen‹ festgelegt (zwei Monate ›Winter‹ bei -10°C und drei Monate ›Sommer‹ bei 12°C , weitere Angaben zu den Randbedingungen enthält DIN 4108-3). Man wollte mit diesen Randbedingungen einigermaßen die grundsätzliche Winter/Sommer-Situation in Deutschland darstellen (sicherheitshalber unter ungünstigen Bedingungen).

Das ›Glaser-Verfahren‹ – wie es allgemein genannt wurde – wurde zunächst 1963 in die Holzhausrichtlinien und 1967 in die Flachdachrichtlinien aufgenommen. In diesen Fällen sind die Verhältnisse des Wasserdampfdurchgangs besonders zu berücksichtigen und dabei hat sich eine Beurteilung nach dem Glaser-Verfahren gut bewährt: Es wurden keine Mängel oder Schäden bekannt, wenn die Anforderungen nach dem Glaser-Verfahren eingehalten worden waren.

Die Möglichkeit einer rechnerischen Abschätzung von Diffusionsvorgängen verleitete viele zur Anwendung des Glaser-Verfahrens, auch wenn der Feuchtetransport nur zu einem Teil durch Dampfdiffusion erfolgt. Dies ist z. B. in der Regel bei Mauerwerk der Fall. Deshalb sind in der Norm unter der Überschrift: »Bauteile mit ausreichendem Wärmeschutz nach DIN 4108 Teil 2, für die kein rechnerischer Nachweis des Tauwasserausfalls infolge Dampfdiffusion erforderlich ist« Wand- und Dachkonstruktionen mit näherer Beschreibung aufgeführt, die von der Nachweispflicht ausgeklammert wurden. Dies erfolgte somit nicht zur Arbeitsersparnis, sondern weil in diesen Fällen

Glaser-Verfahren

Anwendung schon Anfang der 1960er-Jahre

Einschränkung beim Glaser-Verfahren

ein Feuchtetransport durch Dampfdiffusion gering ist im Vergleich zum Kapillartransport.

Neues Verständnis für Feuchtetransport

Die Möglichkeit der Berechnung von Feuchtetransport und Tauwassersbildung infolge Wasserdampfdiffusion nach Glaser und später (1994) auch die numerische Berechnung des Feuchtetransports durch Kapillarleitung nach dem Verfahren WUFI [77] oder anderen Programmen bewirkten ein anderes Verständnis des Feuchtetransports in Baukonstruktionen. Man trennte sich von plakativen Aussagen wie »die Feuchtigkeit wandert von der warmen zur kalten Seite« oder »der Diffusionswiderstand soll von innen nach außen abnehmen«. Man bekam ein differenzierteres Verständnis über die realen Vorgänge. Ein Feuchtetransport kann durchaus auch von ›kalt nach warm‹ erfolgen, d.h. eine Wand kann nach außen und innen trocknen, sofern nicht irgendwo eine absolute Sperrsicht vorhanden ist; das wusste man zwar, aber jetzt konnte man es durch Simulationsrechnungen nachvollziehen. Anstelle von Dampfsperren spricht man von Dampfbremssen, und eine diffusionsoffene Schicht (ein neuer, definierter Begriff) ist besser als eine dichte Schicht. Als Prinzip gilt nunmehr »so dicht wie nötig und so durchlässig wie möglich«.

Vergleich Glaser-Verfahren/ Simulationsrechnung

Dass Ermittlungen nach dem Glaser-Verfahren und Simulationsrechnungen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, ist verständlich und sollte eigentlich kein Grund zu Zweifeln oder Korrekturen sein. Folgendes ist zu bedenken: Das Glaser-Verfahren ist ein normatives Verfahren, das eingeführt worden ist, weil es in einfacher Weise eine grundsätzliche Bewertung der diffusionstechnischen Gegebenheiten bei einer Baukonstruktion ermöglicht. Eine Simulationsrechnung liefert hingegen für einen bestimmten Konstruktionsaufbau und vorgegebene Randbedingungen ein für den jeweiligen Einzelfall zutreffendes Ergebnis anstelle eines experimentellen Versuchs, wie es zuvor nötig war (daher die Bezeichnung ›Simulation‹). Dies ist beispielsweise analog zum Ergebnis eines Frost-Tau-Wechsel-Versuchs oder der Würfeldruckfestigkeit, ebenfalls normativ festgelegte Methoden zum Vergleich von Baustoffeigenschaften ohne unmittelbaren Bezug zum Verhalten in der Praxis. Wichtig ist, dass solche normativen Testmöglichkeiten einfach sind und die wesentlichen Einflüsse berücksichtigen.

›Klimabedingter Feuchteschutz‘ erst 1981 genormt

Die Regeneinwirkung und diffusionstechnischen Gesichtspunkte bei Bauteilen waren – wie dargelegt – schon seit Längerem Gegenstand von Untersuchungen und praktischen Anwendungen bzw. Ausfüh-

rungen und manchmal wird die Frage gestellt, warum die Normung so lange auf sich warten ließ. Aber die Erkenntnis, dass die DIN 4108 erneuert und erweitert werden muss, führte zu Beratungen, die sich über ein Jahrzehnt hinzogen. Die Norm ist schließlich 1981 in fünf Teilen erschienen. Der Teil »Klimabedingter Feuchteschutz« ist Teil 3 davon. Über weitere Ausführungen in dieser überarbeiteten Norm wird im Folgenden berichtet.

3.10 Sommerlicher Wärmeschutz

Nachdem sich inzwischen die Zentralheizung durchgesetzt hatte und damit die Frage der Wärmespeicherfähigkeit bzw. des Auskühlens nach Heizungsende weniger bedeutsam war, wurden bei den Beratungen über die Neufassung der DIN 4108 die in den bisherigen Normausgaben geforderten höheren Dämmwerte für leichte Außenwände annulliert. Auf Einwände von Vertretern der Mauerwerksindustrie sollte aber die Wirkung der Wärmespeicherfähigkeit auf die Verhältnisse des sommerlichen Wärmeschutzes in die Norm aufgenommen werden.

Die Frage des Einflusses bzw. der Bedeutsamkeit des Wandgewichts und damit der Wärmespeicherfähigkeit auf die Temperaturverhältnisse bei instationären Wärmeeinwirkungen wurde seit Langem diskutiert. Einziger Vorteil ist die einfache Bestimmung. Aber eigentlich – so wurde eingewendet – haben innen liegende Bauteile (Decken und Zwischenwände) einen größeren Einfluss auf die Wärmespeicherfähigkeit bzw. Temperaturkonstanz, da sie in der Regel über den gesamten Querschnitt gleichmäßig temperiert sind. Physikalisch aussagekräftiger wären Temperaturamplitudendämpfung und Phasenverschiebung bei instationärem Wärmedurchgang durch eine Wand.

Einfluss des Wandgewichts

Zur weiteren Klärung wurden 1975 Untersuchungen an bewohnten Häusern schwerer und leichter Bauart (17 bzw. 23 Objekte) in Bayern, Baden-Württemberg und Hessen durchgeführt [78]. Ergebnis: Die sommerlichen Temperaturverhältnisse in den verglichenen Wohnräumen der Häuser werden nicht nur von den Wandbauarten bestimmt, sondern sind von verschiedenen anderen Einflüssen abhängig, wie Fensterflächenanteil, Verschattung durch Dachüberstände oder Balkonen und Verwendung von vorhandenen Sonnenschutzmaßnahmen, die offensichtlich bei leichter Bauart von den Bewohnern eher genutzt

Praktische Untersuchungen

worden waren. Dies zeigen die in Tabelle 4 zusammengestellten Mittelwerte der gewonnenen Messdaten. Danach ist die Wandbauart nur eine Einflussgröße neben architektonischen und nutzungsbedingten Einflüssen, die bei den vorliegenden Ergebnissen nicht beeinflussbar waren; die überprüften Objekte wurden lediglich nach der Außenwand-Bauart gewählt. Die Konsequenz ist, dass der Einfluss der Bauart ‚schwer oder leicht‘ nicht so entscheidend ist, um normativ behandelt zu werden.

Theoretische Untersuchungen

Parallel dazu wurden in der neu gegründeten Abteilung »Theorie« des Fraunhofer IPB theoretische und numerische Untersuchungen vorgenommen mit dem Ergebnis, dass der Einfluss von Temperaturamplitudendämpfung und Phasenverschiebung bei instationärem Wärmedurchgang auf das Raumklima im Sommer relativ gering ist. Dies trifft insbesondere für die heute geforderte, hohe Wärmedämmung der Außenwände zu ([79], [80]). Von der Einführung einer neuen Kenngröße ‚Temperaturamplitudendämpfung‘ in die Norm wurde daraufhin Abstand genommen.

Folgerung für die Norm

Aufgrund der Ermittlungen in der Praxis und der theoretischen Untersuchungen wurden in Teil 2 der DIN 4108 (1981) Ausführungen zum sommerlichen Wärmeschutz nur als Empfehlung aufgenommen mit verschiedenen Hinweisen konstruktiver und nutzerabhängiger Art. In der Normausgabe von 2003 ist dies noch allgemeiner formuliert worden.

Tabelle 4: Zusammenstellung von Untersuchungsergebnissen über Messungen und Ermittlungen in Wohnräumen von Gebäuden schwerer und leichter Bauart nach [78]. Bei den schweren Bauarten handelte es sich um Außenwände aus Kalkstein, Ziegel und Leichtbetonen, die leichten Bauarten waren Holz-Fertigwände mit Dämmsschichten zwischen 60 und 80 mm entsprechend den damaligen Gepflogenheiten (1975).

Bauart	maximale Raumlufttemperatur	maximale Temperaturschwankung	Fensterflächenanteil	Vordächer und Balkone	Benutzung des Sonnenschutzes
statistisches Mittel (50 %-Wert)		mittlere Häufigkeit			
schwer	23,7 °C	2,5 K	27 %	71 %	53 %
leicht	24,2 °C	4,0 K	22 %	83 %	70 %

3.11 Wasserdampfdiffusion

Die erste Norm zur Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen mit der Bezeichnung DIN 52615 erschien 1973. Zuvor waren die Randbedingungen für die Messung, insbesondere die anzuwendenden Temperaturen und Feuchtigkeiten in den einzelnen Instituten unterschiedlich. Im Fraunhofer IBP Holzkirchen erfolgten die Messungen bis Mitte der 1960er-Jahre z.B. bei 25 °C und Differenzen der relativen Luftfeuchte zwischen 0 und 70 %. Der Grund für die Wahl dieser Randbedingungen war, dass diese Werte in dem zur Verfügung stehenden Messraum (ohne Fenster) das ganze Jahr über einzuhalten waren; eine Raumkühlung zur Klimatisierung war nicht vorhanden. Bei einem Vergleich der Messwerte aus der früheren Zeit von verschiedenen Instituten muss man aus diesem Grund eine größere Toleranz hinnehmen, wie J. S. Cammerer in [81] beschreibt.

Bei der Normung von Diffusionsmessungen wurde die in Amerika übliche Methode übernommen, die Stoffe in zwei verschiedenen Feuchtebereichen zu prüfen, nämlich zwischen 0 und 50 % r. F. (dry-cup-Methode) und zwischen 50 und 100 % r. F. (wet-cup-Methode) [82]. In der deutschen Norm wurden diese Methoden als ›Trockenbereichverfahren‹ und ›Feuchtbereichverfahren‹ bezeichnet. Die Prüfung soll im Allgemeinen nach dem Trockenbereichverfahren erfolgen, eine zusätzliche Messung nach dem Feuchtbereichverfahren kann zur Abschätzung der Feuchtigkeitsabhängigkeit der Wasserdampfdurchlässigkeit dienen. Messungen an verschiedenen Baustoffarten ergaben, dass die Unterschiede der beiden Messwerte umso größer sind, je größer die Hygroskopizität (Wasserdampfsorption) der Stoffe ist [83].

Die erste Ausgabe der DIN 52615 wurde mit Blatt 1 bezeichnet mit der Unterüberschrift »Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung«. In einem zweiten Blatt sollten Ausführungen zur praktischen Anwendung erfolgen. Vorbild war die DIN 52612 »Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät« – mit Blatt 1 »Durchführung und Auswertung« – und Blatt 2 »Weiterbehandlung der Messwerte für die Anwendung im Bauwesen«. Man erkannte aber, dass zu einer gewissen Absicherung je nach Anwendungsfall entweder Zuschläge oder Abschläge erforderlich sein können, im Gegensatz zu den Verhältnissen bei DIN 52612. Deshalb wurden in DIN 4108-4 (1981) in Tabelle 1 für die Diffusionswiderstände μ stets zwei Werte

Ohne Norm: unterschiedliche Randbedingungen

Randbedingungen nach der Norm

Wahl der μ -Werte nach Anwendungsfall

angegeben (mit Schrägstrich, z. B. 5/10) und der Fußnote »*Es ist stets der für die Baukonstruktion ungünstigere Wert einzusetzen.*« Das bedeutet, dass bei Berechnungen nach Glaser zur Ermittlung des Tauwasserausfalls der jeweils kleinere μ -Wert zu verwenden ist und zur Ermittlung der Trocknung der größere.

3.12 Wasserdampfsorption

Feuchtepufferung durch Sorption

Der Wasserdampfsorption von hygrokopischen Stoffen hat man in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts in der Bauphysik wenig Beachtung geschenkt. Erst im Zusammenhang mit Putzuntersuchungen in der Freilandversuchsstelle Holzkirchen wurden auch Messungen über das Sorptionsverhalten von Innenputzen und anderen in Innenräumen verwendeten Schichten hinsichtlich der Beeinflussung der Raumluftfeuchte vorgenommen. Eine erste Veröffentlichung erfolgte 1960 über Untersuchungen in vier Versuchsräumen mit unterschiedlichen Innenputzen, wobei in einem Fall der Putz mit einem dichten Anstrich versehen war [84]. Die deutlichen Unterschiede, je nach Putzart, veranlassten weitere Untersuchungen unter Einbeziehung von Textilien und Messungen in Räumen ohne und mit unterschiedlicher Möblierung [85]. Dadurch konnte dargelegt werden, wie sehr der ›Feuchtehaushalt‹ in einem bewohnten Raum nicht nur von der Feuchtepufferung, sondern auch von der Absorption der Umfassungsflächen und der Inneneinrichtung abhängt. Durch Absorption steigt die Luftfeuchte bei Feuchtepufferung weniger stark an (Feuchtepufferung durch die Raumeinrichtung). Dadurch mindert sich die Gefahr einer Tauwasserbildung an kalten Wandstellen (Wärmebrücken). Weitere Untersuchungen zu diesem Thema in [86], [87], [88] und [89].

Auch Desorption berücksichtigen

Der Vorgang der Absorption muss aber durch Desorption wieder rückgängig gemacht werden, damit keine Feuchteanreicherung entsteht. Dies benötigt eine gewisse Zeit und muss bei der Dauer der anschließenden Lüftung berücksichtigt werden (siehe Kapitel 3.1.4).

Weitere Nutzung der Sorptionsfeuchte

Die Messung der Wärmeleitfähigkeit von Bau- und Dämmstoffen erfolgt im trockenen Zustand nach DIN 52612. Daraus wird durch einen Zuschlag ein ›Rechenwert‹ ermittelt, um den ›praktischen Feuchtegehalt‹ und sonstige Unwägbarkeiten am Bau zu berücksichtigen. Dieser Zuschlag wurde ursprünglich, als der Wärmedämmung noch nicht die Bedeutung wie heute zukam (DIN 4110), relativ großzügig

festgelegt (siehe Tabelle 1). Mit wachsenden Erfahrungen nahmen die sogenannten Unwägbarkeiten wegen nicht voraussehbaren Effekten bei der Anwendung neuer Bauarten ab. Es verblieb letztlich ein Zuschlag auf den Messwert der Wärmeleitfähigkeit zur Berücksichtigung des praktischen Feuchtegehalts (siehe Kapitel 2.3) und der dadurch bedingten Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit.

Die Ermittlung des praktischen Feuchtegehalts war beim früheren einschaligen und verputzten Mauerwerk mit vertretbarem Aufwand möglich, wenn nach Entnahme von Materialproben die Stellen wieder sorgfältig repariert und verputzt worden waren. Bei vielen heutigen Wandkonstruktionen ist das aber nicht mehr in gleicher Weise möglich. Bei Schichtkonstruktionen kommt es auch auf die Anordnung und Eigenschaften der einzelnen Schichten an. Diese und weitere Überlegungen [90] führten dazu, anstelle des praktischen Feuchtegehalts bei neuen Materialien einen Wert zu definieren, der die hygrischen Materialeigenschaften beschreibt und im Labor ermittelt werden kann. Als solcher wurde die Sorptionsfeuchte bei 80 % r. F. [$u_{M,80}$] gewählt und als ›Bezugsfeuchte‹ bezeichnet, gemessen nach DIN 52620 »Bestimmung des Bezugsfeuchtegehalts von Baustoffen«. Mit diesem Wert und der bekannten Zunahme der Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt wird der Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit bei neuen Baustoffen ermittelt.

**Sorptionsfeuchtegehalt als
›Bezugsfeuchte‹**

3.13 Vollwärmeschutz und Mindestwärmeschutz

Die in DIN 4110 und DIN 4108 (1952) angegebenen Mindestwerte für den Wärmeschutz von Außenwänden entsprachen einer 1½-Stein dicken Vollziegelwand. Das war eine wirkliche Mindestanforderung, die nur einen minimalen thermischen Komfort ermöglicht. Wie bereits erwähnt, besteht hinsichtlich des thermischen Komforts ein Zusammenhang zwischen der Lufttemperatur und der Oberflächentemperatur der Umfassungsflächen, die der Engländer Bedfort schon 1948 aufgestellt hat: Je höher die Oberflächentemperatur, desto niedriger kann – bei gleichem thermischen Empfinden – die Lufttemperatur sein [91]. Der Zusammenhang ist in Bild 66 angegeben und wurde in der Folgezeit in verschiedener Weise modifiziert, wie in [92] dargestellt.

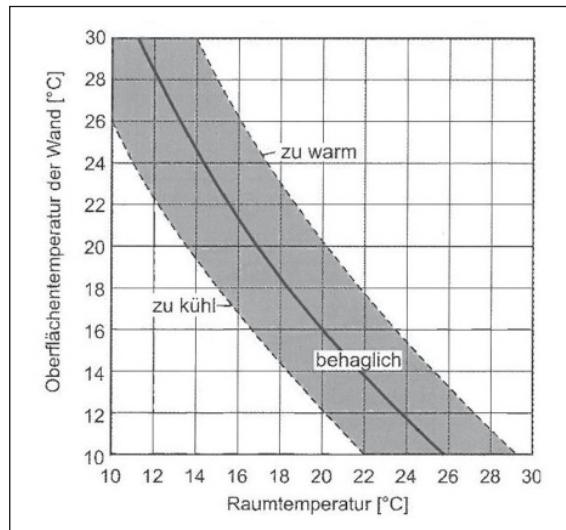


Bild 66: Zusammenhang zwischen Umschließungsflächen- und Lufttemperatur in beheizten Räumen und Bewertung der Behaglichkeit nach Bedfort [91]

Eine Erhöhung der Oberflächentemperatur ist gleichbedeutend mit einer höheren Wärmedämmung, die nach dem Zweiten Weltkrieg von der Dämmstoff- und Mauerwerksindustrie propagiert worden war. »Die Dämmstoffindustrie setzte ab den sechziger Jahren den ‚Vollwärmeschutz‘ gegen den Mindestwärmeschutz«, schrieb Eicke-Hennig in einer Rückschau über die Nachkriegsentwicklung der Wärmedämmtechnik [94]. Mit dem Begriff ‚Vollwärmeschutz‘, der von Leopold Sautter als ‚günstiger Wärmeschutz‘ eingeführt worden war [93], verband sich kein bestimmter Wert, sondern es sollte dadurch nur ein deutlich besserer Wärmeschutz gegenüber dem Mindestwärmeschutz verstanden werden; er sollte mindestens um den Faktor 2 bis 4 über dem Mindestwärmeschutz liegen. Heute wird der Begriff Vollwärmeschutz hauptsächlich in Verbindung mit Wärmedämmverbundsystemen verwendet. Der Mindestwärmeschutz nach damaliger Norm hatte in der späteren Nachkriegszeit keine praktische Bedeutung mehr, höchstens in Streitfällen vor Gericht.

Das Problem Wanddecken

Die Eckbereiche zwischen zwei gleichartigen Außenwänden haben raumseitige Oberflächentemperaturen, die etwa der Hälfte des Dämmwiderstands der angrenzenden Wandflächen entsprechen [95]. Deshalb sind solche Eckbereiche gefährdete Stellen für das Auftreten von Tauwasser- und Schimmelpilzbildung bei zu hoher Raumluftfeuchte. Der jetzt für Außenwände geltende Mindestdämmwert $R = 1,2 \text{ [m}^2 \cdot \text{K/W]}$ ist etwas mehr als doppelt so groß wie der frühere

Wert $R = 0,55$ [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]. Damit entsprechen heute die Temperaturen in der Ecke zwischen zwei Außenwänden etwa den früheren Oberflächentemperaturen an ebenen ungestörten Wandflächen mit damaligem Mindestwärmeschutz.

Auch für andere Wärmebrücken – außer den geometrischen Wärmebrücken zwischen zwei gleichartigen Wänden – wurden Anforderungen formuliert, um lokale Bereiche mit zu niedrigen Oberflächentemperaturen zu vermeiden. Dies erfolgt durch einen Temperaturfaktor für die raumseitige Oberfläche f_{Rsi} , der folgendermaßen definiert ist:

$$f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si} - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_e)}$$

Temperaturfaktor

Dieser dimensionslose Verhältniswert zwischen der Temperaturdifferenz der kältesten Stelle einer Wärmebrücke (θ_{si}) und der Außenluft (θ_e), bezogen auf die Temperaturdifferenz von Raumluft (θ_i) und Außenluft soll $\geq 0,7$ sein. Dann entsprechen die niedrigsten Oberflächentemperaturen an diesen Wärmebrücken etwa denen in den Ecken zwischen zwei Wänden.

Da der R-Wert im Bereich von Ecken und anderen Wärmebrücken nicht definiert ist (keine linearen Wärmestromlinien senkrecht zu den Oberflächen), ist die Festlegung von Mindest-Oberflächentemperaturen der richtige Weg. Die Einhaltung der genannten Werte garantiert aber nicht automatisch Schadensfreiheit, denn zusätzlich müssen nach DIN 4108-2 (2003) »*eine gleichmäßige Beheizung und ausreichende Belüftung sowie eine weitgehend ungehinderte Luftzirkulation an den Außenoberflächen eingehalten werden.*« Das sind Gesichtspunkte, die der Wohnungsnutzer berücksichtigen und einhalten muss, um Schäden zu vermeiden.

3.14 Lüften, Luftwechsel und Wohnungsschimmel

Das Lüften in Wohnungen war in den Jahren vor der Energiekrise kein Thema für Überlegungen oder Untersuchungen; eher mussten sich die Bewohner mit Maßnahmen der Abdichtung befassen, um lästigen Luftzug zu reduzieren. Die Lüftungswärmeverluste wurden bei den damaligen Energiepreisen hingenommen. Dies wurde aber nach

der Energiekrise anders: Nicht nur die Transmissionswärmeverluste durch Außenbauteile, sondern auch die Lüftungswärmeverluste durch Gebäudeundichtheiten – insbesondere im Fensterbereich – mussten reduziert werden.

Luftwechselzahl

Für Transmissionswärmeverluste ist der U-Wert ein zutreffender Kennwert, für die Lüftungswärmeverluste fehlt jedoch ein entsprechender Wert. Die Luftwechselzahl [h^{-1}], die angibt, wie oft sich die Raumluft durch Außenluft innerhalb 1 Stunde austauscht, ist zwar ein anschaulicher Wert, aber keine unmittelbar quantifizierende Größe. Nach DIN 4108-2 (2003) ist ein durchschnittlicher Luftwechsel von $0,5 \text{ h}^{-1}$ aus Gründen der Hygiene als ausreichend zu betrachten. Für das ausgetauschte Luftvolumen und damit den Lüftungswärmeverlust muss aber die Raumgröße berücksichtigt werden. Je nach Raumgröße ergibt sich bei gleicher Luftwechselzahl ein anderer Luftmengenwert. Außerdem ist die Luftwechselzahl für den Wohnungsnutzer nicht messbar und damit nicht kontrollierbar. Zur Kontrolle ist nur die relative Raumluftfeuchte bzw. die Feuchtelast geeignet [96]. Pettenkofer hat übrigens zu Vergleichen den Luftwechsel auf 1 000 Cub. Fuß per Stunde angegeben [97], wobei 1 000 Cub. Fuß etwas 37 m^3 sind.

Luftvolumenstrom

Bei Lüftungsanlagen erfolgt die Auslegung bzw. die Bewertung von lüftungstechnischen Maßnahmen nach DIN 1946-6 »Raumlufttechnik – Lüftung von Wohnungen; Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Installation«. Maßgebende Größe ist dabei der nach Raumgröße und Raumnutzung erforderliche Luftvolumenstrom. Die unterschiedlichen Quantifizierungen des Luftaustauschs bei Fensterlüftung und Lüftungsanlagen – Luftwechsel bzw. Luftvolumenstrom – gehen auf die unterschiedlichen Betrachtungsweisen zurück:

Bei der Fensterlüftung steht die Raumentfeuchtung zur Schadensvermeidung im Vordergrund, mit der in der Regel eine ausreichende Außenluftzufuhr – auch aus hygienischen Gesichtspunkten – verbunden ist (Kontrolle ggf. durch Hygrometer). Bei Lüftungsanlagen ist die nach Raumgröße und Raumnutzung erforderliche Außenluftzufuhr die Zielgröße. Das ist ein vorsorglicher Wert, der aber nicht unbedingt dem tatsächlichen Bedarf entsprechen muss. Zwischen den aus unterschiedlichen Gesichtspunkten festgelegten Werten gibt es keine Möglichkeit einer Umrechnung.

Durch Maßnahmen der Energieeinsparung nach der Energiekrise hat sich einiges verändert: Thermostatventile – zuvor unrentabel – haben eine Raumüberheizung vermieden, welche wegen zeitweiligem Fensteröffnen zur Reduzierung der Lufttemperatur für trockene Luft sorgte, und mit dem Einbau dichter Fenster verringerte sich die Selbstlüftung. Dadurch bedingte höhere Raumluftfeuchten in Wohnungen führten partiell zu höheren Wandfeuchten und ggf. zu Schimmelpilzbildung.

Zur Minderung der Möglichkeit von Schimmelpilzbildung soll an den Innenoberflächen von Außenwänden 80 % rel. Luftfeuchte nicht überschritten werden. Damit soll berücksichtigt werden, dass manche Schimmelpilze schon bei 80 % rel. Luftfeuchte wachsen können.

Das ist aber nur **eine** Bedingung unter vielen anderen und trifft nur für ein entsprechend hygrokopisches Substrat zu, nicht z. B. für Glas oder Metall.

Des Weiteren sind die Art des Nährbodens hinsichtlich der biologischen Verwertbarkeit von entscheidender Bedeutung und auch die Raumluftqualität hinsichtlich der Fungizität, abhängig von der Außenluft. Eine physikalisch definierte Größe ist hingegen nach wie vor der Tauwasserausfall bei Unterschreiten der Taupunkttemperatur.

Die Ursachen für das früher selteneren Auftreten von Schimmelpilzbildung in Wohnungen wurden in Kapitel 2.5 dargelegt. Das nun häufigere Auftreten ist letztlich auf zivilisatorische Fortschritte im Laufe der Entwicklung zurückzuführen: Eine deutliche Verbesserung der Außenluft im Sinne einer Minderung des SO₂-Gehalts wurde Anfang der 1980er-Jahre durch ein zunehmendes Wachstum von Algen an Außenputzen erkennbar, wie in Bild 67 dargestellt. Die reinere Außenluft wirkte sich natürlich auch auf die Raumluft durch bessere Wachstumsbedingungen für Schimmelpilze aus. Auch dauerhafte, abwaschbare Innenanstriche, die nicht häufig zu erneuern sind, mit organischen Bindemitteln und damit wiederum besserem Wachstum für Pilze als frühere alkalische Kalkanstriche sind als weitere Ursachen zu nennen.

Dieser Situation kann nur durch wirksames, gezieltes Lüften begegnet werden. Die durch Wohnprozesse zeitweilig zugeführte und im Raum absorbierte Feuchte benötigt auch eine entsprechende Zeit zur Desorption und eine Raumluft, die Feuchtigkeit aufnehmen kann. Dies ist durch Spaltlüftung möglich, d. h. durch geringes Öffnen des Fens-

Feuchteschäden

80 statt 100 % relative Luftfeuchte an Oberflächen

Weitere Ursachen für Schimmelpilzbildung

Wirksame Fensterlüftung

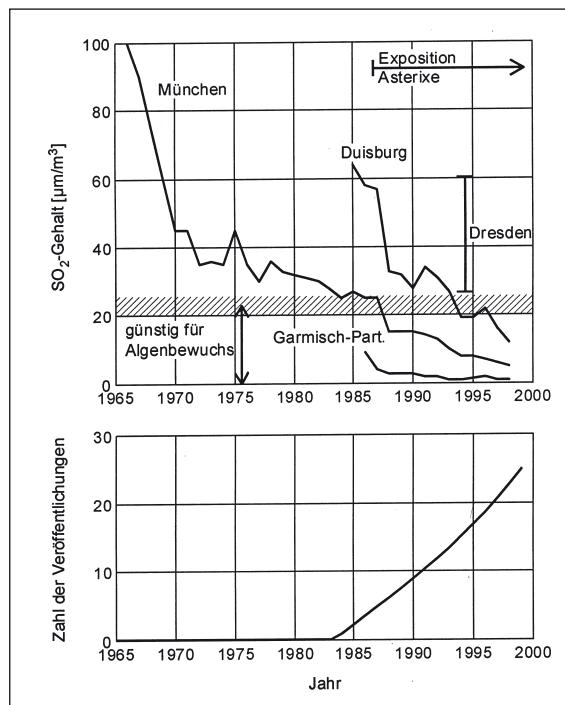


Bild 67: Zeitverläufe des SO₂-Gehalts der Außenluft in verschiedenen Städten und aufsummierte Zahl von Veröffentlichungen zum Thema »Algenbewuchs an Fassaden« nach [102]. Ab unter etwa 20 µm/m³ SO₂-Gehalt nimmt die fungizide Wirkung der Luftverunreinigung ab und das Algenproblem zu, beurteilt nach Fachveröffentlichungen.

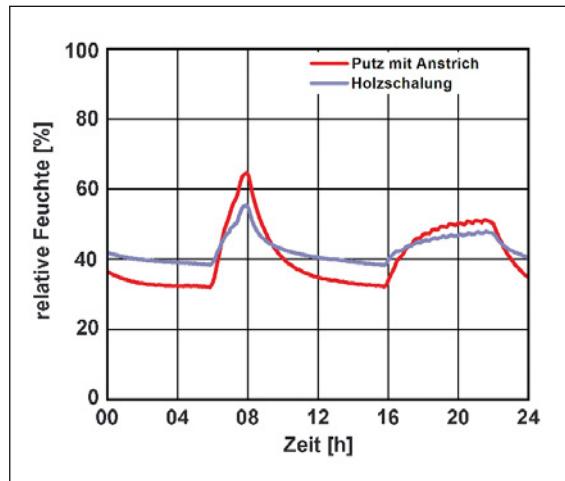


Bild 68: Verläufe der relativen Luftfeuchte in einem Raum mit Putz und Anstrich (rot) und einem gleichartigen Raum mit Holzschalung (blau) bei unterschiedlicher Feuchteproduktion zweimal am Tag. Im Raum mit Putz steigt bei Feuchteproduktion die Luftfeuchte stärker an, sinkt aber anschließend wieder rascher ab als im Raum mit Holzschalung. Der Tagesmittelwert der relativen Feuchte beträgt im Raum mit Putz 39,0 % und im Raum mit Holzschalung 41,5 %. Das ist die Folge der unterschiedlichen Pufferwirkung infolge der Sorption von Putz bzw. Holzschalung.

ters, sodass ein »schleichender« Luftaustausch entsteht ohne starke Absenkung der Raumlufttemperatur. Die einströmende kalte Außenluft wird dann durch Vermischen mit der Raumluft und Kontakt mit Raumflächen erwärmt, wird dadurch relativ trockener und kann

Feuchtigkeit aufnehmen und abführen. Durch Stoßlüften oder gar längeres Dauerlüften kann nach dem einmaligen Luftaustausch kaum weitere Feuchtigkeit abgeführt werden; der Raum kühlt nur aus. Trocknen ist ein endothermer Vorgang, bei dem Wärme zugeführt werden muss.

Richtige Fensterlüftung erzielt man durch eine Kombination von

- Stoßlüften zur Lufterneuerung und
- Spaltlüften zur Raumentfeuchtung,

was sinngemäß schon 1926 durch Schachner vorgeschlagen worden ist durch die Formulierung »Durchzug und Kippflügellüftung« ([17], Kapitel 2.5).

Stoßlüftung dauert wenige Minuten, abhängig von der Raumgröße, den Windverhältnissen und der Außenlufttemperatur. Die Dauer der Spaltlüftung hängt von mehreren Einflüssen ab: vom Feuchteintrag durch die Bewohnung, von der ›Schadensempfindlichkeit‹ der Bausubstanz und den Sorptionsverhältnissen. Während die Schadensempfindlichkeit (abhängig von der Wärmedämmung) im Allgemeinen eine bekannte Einflussgröße ist, gilt dies für die Sorptionsverhältnisse weniger. Deshalb wird auf Bild 68 hingewiesen, woraus deutlich wird, dass infolge Sorption die Luftfeuchte weniger stark ansteigt, aber zur Ermöglichung einer Desorption etwas länger gelüftet werden muss. Einzelheiten hierzu sind in verschiedenen Veröffentlichungen erläutert [99], [100], [101].

Vielleicht hängt das Dilemma mit dem Lüften auch mit Sprachbegriffen zusammen, die sich alle von ›Luft‹ ableiten: Lüften, Luftwechsel, Luftaustausch, verbrauchte Luft, schlechte Luft u.a. Es gibt in dem Zusammenhang kein Wort, das mit Trocknen oder Entfeuchten zusammenhängt. Dies mag historische Ursachen haben: Verbrauchte Luft war stets ein Anlass zum Lüften, während entstandene Feuchtigkeit kontinuierlich und unbemerkt durch Selbstlüftung abgeführt worden ist. Deshalb befasste sich Pettenkofer nur mit der Lüftung – insbesondere größerer Räume – und nicht mit der Feuchteabfuhr.

Lüften wird in heutiger Zeit oft als ›notwendiges Übel‹ betrachtet, weshalb es in Streitfällen oft darum geht, wie viele Stoßlüftungen am Tag ›zumutbar‹ sind. Das ist ein falscher Ansatz, denn darum geht es nicht, sondern darum, was notwendig ist, um bei den gegebenen Ver-

Stoßlüftung und Spaltlüftung

Lüftungsdauer

Lüftungskultur

hältnissen und unserem Zivilisationsstand eine adäquate ›Wohnkultur‹ zu erzielen. Und hierzu ist eine ›Lüftungskultur‹ erforderlich, die Luftaustausch und Raumentfeuchtung berücksichtigt. Das war früher nicht so, ist aber heute die Konsequenz und Forderung, die sich für Wohnungsutzer ergibt, ob Eigentümer oder Mieter. Heizen, Lüften und die Reinigung der Wohnung sind Aufgaben, die den Bewohnern obliegen. Heizen ist durch Zentralheizung weitgehend automatisiert. Lüften kann auch automatisch erfolgen oder ›von Hand‹ bei Befolgung der dargelegten Regeln. Diese sind gar nicht so kompliziert, wie es aufgrund der vielen Veröffentlichungen, Meinungen und Diskussionen der letzten Zeit den Anschein haben kann.

Gebäudezustand

Wie in Kapitel 3.13 erwähnt, enthält erst die Ausgabe aus dem Jahr 2003 der DIN 4108-2 Mindestanforderungen für die Wärmedämmung von Außenbauteilen, die nach hygrothermischen Gesichtspunkten festgelegt worden sind. Dies gewährleistet aber nicht automatisch eine Wohnung ohne Feuchteschäden, sondern erleichtert nur die Lüftungsaufgabe. Es wird somit bei Schadensfällen darauf ankommen, ob der Standard der Gebäude-Wärmedämmung gegeben oder eine bauliche Nachrüstung erforderlich ist oder ob der Schaden durch mangelhaftes Lüften verursacht wurde.

Lüftungsanlagen oder freie Lüftung?

Das häufigere Auftreten von Feuchteschäden und Schimmelpilzbildung in Wohnungen verleitet oft zu der Forderung, generell automatische Lüftungsanlagen einzuführen. Dabei bleibt unberücksichtigt, dass bisher so gut wie keine Lüftungshilfen an Fenstern vorgesehen werden, wie z.B. Arretierung der Öffnungsweite bei Dreh- oder Kippstellung in kleineren Stufen oder Ähnliches. Und schließlich sind die den Bewohnern gegebenen Informationen über das Fensterlüften mangelhaft [98]. Der Betrieb von automatischen Lüftungsanlagen ist zweifellos in größeren Gebäudeanlagen angebracht, wo ein Hausmeister den erforderlichen Wartungsaufwand, wie Reinigen bzw. Austausch von Filtern und anderes, erledigt.

3.15 Weiterentwicklung der Messtechnik und der Rechentechnik

EWM Arbeitskreis

Die Tendenz zu höherer Wärmedämmung im Bauwesen und insgesamt der Wunsch nach besserer Bauqualität und objektiver Bewertung von Bauprodukten hatten zur Folge, dass auf die zuständi-

gen Prüf- und Forschungsinstitute neue Aufgaben zukamen. Es waren zunächst nur wenige Prüfstellen, die dafür infrage gekommen sind, nämlich das Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart und Holzkirchen (IBP), die Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin (BAM), das Forschungsinstitut für Wärmeschutz, München (FIW), der Lehrstuhl für Heizungs- und Trocknungstechnik TH, Darmstadt, das Materialprüfungsamt NRW Dortmund und die Physikalisch-technische Bundesanstalt, Braunschweig (PTA). Die in diesen Instituten tätigen Wissenschaftler gründeten 1963 einen Arbeitskreis mit der Bezeichnung »Erfahrungsaustausch Wärmeschutztechnisches Messen« (EWM). Bei zweimaligem Treffen pro Jahr wurden in diesem Arbeitskreis die anfallenden messtechnischen und organisatorischen Fragen eingehend diskutiert und Erfahrungen ausgetauscht. In diesem Arbeitskreis wurden u. a. Vorarbeiten für neue Prüfmethoden und verschiedene Normen durchgeführt.

Ein wichtiger Punkt war die Vereinheitlichung von wärmeschutztechnischen Messverfahren. Zur Messung der Wärmeleitfähigkeit von Bau- und Dämmstoffen hat R. Poensgen 1912 das sogenannte Plattengerät vorgestellt, das von J. S. Cammerer und E. Schmid weiterentwickelt worden war. Ringversuche innerhalb des Arbeitskreises führten zu einer Vereinheitlichung des Messablaufs mit diesem Plattengerät und einer Verbesserung der Messgenauigkeit. Auch zur Messung der Wasserdampfdurchlässigkeit wurden entsprechende Ringversuche vorgenommen. Im Laufe der Zeit vergrößerte sich der Kreis der vertretenen Prüfstellen, die sich aber jeweils den Ringversuchen anschließen mussten. Auch Vertreter des Deutschen Instituts für Bautechnik und des Bauministeriums kamen hinzu. Durch diesen auf Eigeninitiative der Forschungsstellen zurückzuführenden Arbeitskreis war eine einheitliche Bewertung und Beurteilung anstehender bauphysikalischer Probleme gewährleistet. Ab etwa 1995 fanden die Zusammenkünfte des Arbeitskreises nicht mehr in der ursprünglichen Regelmäßigkeit statt, sondern nur noch sporadisch und immer seltener. Schließlich erfolgen nunmehr erforderliche Festlegungen in anderen Arbeitskreisen, leider unter Verlust einer früheren Einheitlichkeit.

Ringversuche

Im Jahr 1970 wurde am Fraunhofer IBP eine neue Abteilung mit der lapidaren Bezeichnung »Theorie« gegründet. Dies erfolgte aus der Erkenntnis, dass auf dem Gebiet der Bauphysik bisher Beurteilungen und Weiterentwicklungen hauptsächlich durch experimentelle Untersuchungen im Labor oder Freiland erfolgten und es angezeigt war,

Abteilung »Theorie«

eine Erweiterung oder Verallgemeinerung von Kenntnissen durch theoretische Modelle oder numerische Berechnungen zu gewinnen. Das war noch vor dem Computer-Zeitalter. Für numerische Rechnungen besaß das Institut eine Rheinmetall-Rechenmaschine, die zwischen den Instituts-Standorten Stuttgart und Holzkirchen – je nach Bedarf – hin und her wanderte. Für die Rechner-lose Zwischenzeit bekam die Abteilung »Theorie« einen besonders großen Rechenschieber, der dem Leiter der Abteilung, Herrn Dr. Karl Gertis, offensichtlich große Freude bereitete, wie auf Bild 69 zu sehen. In der Folge nahm der Umfang rechnerischer Untersuchungen zu, wobei der große Fundus experimenteller Freiland-Untersuchungen die Vergleichsbasis war.



Bild 69: Die Abteilung »Theorie« im Fraunhofer IBP Holzkirchen bekam für Rechenprozesse einen großen Rechenschieber, über den sich der neu ernannte Abteilungsleiter Karl Gertis wohl mehr freute als später über einen neuen Computer.

4 Beurteilung, Zusammenfassung und Folgerungen

Bauen und Wohnen gehören zu den Grundbedürfnissen des Menschen. Das Elternhaus ist für einen jungen Menschen das erste Heimleben und mehr als nur eine Wohnstelle; damit verbinden sich meist bleibende Erinnerungen. Aus dieser Situation heraus werden Änderungen und Neuerungen im Bereich des Wohnens bzw. der damit verbundenen Lebensführung oft in nicht vorherzusehender Weise bewertet, wie aus den folgenden Beispielen hervorgeht.

Beispiel 1: In einem Buch über die Entwicklung der häuslichen Heizung ist Folgendes zu lesen: »*Hatte früher ein Bauernhaus einen Rauchabzug oder gar gemauerten Schornstein, so galt dies als etwas Absonderliches, als etwas aus der Lebensart des eingesessenen Bauern Herausfallendes. Wo soll mit einem solchen Rauchabzug der Westfälische Schinken geräuchert werden? So gefährlich auch eine Küche ohne Schornstein zu seyn scheint, so ist die Gefahr wirklich eben dadurch vermindert: Von einem Feuer, das ohne Schornstein brennt, fliegen die Funken bei weitem nicht so hoch auf*« [103].

Im Museumsführer des Museumsdorfes Cloppenburg von 1989 [28] ist folgende Aussage eines Arztes um die Zeit von 1800 zitiert: »*Selbst wenn der Bauer Sonntags ins Wirtshaus kommt, nicht leicht ist er zu bewegen, in der warmen Stube seinen Schnaps oder seine Kanne Bier zu nehmen, nein der Wirt, der kein gutes großes Feuer hat, kann sichere Rechnung machen, seine Gäste nach und nach zu verlieren und hätte er auch die schönsten warmen Zimmer*«. Weiter wird erläutert: Ein solches Herdfeuer war aber nur in Häusern ohne Kamin ausreichend warm, denn durch den Einbau von Schornsteinen entstand ein starker Durchzug, der den Feuerplatz ungemütlich machte.

Beispiel 2: Aus der Zeit des Baues der Schwemmmkanalisation in München (um 1860) schreibt Kisskalt in seiner Biografie über Pettenkofer [39]: »*Die Polizei forderte einen Hausbesitzer auf, seinen Abort umändern zu lassen. Der erwiderte aber: Das fällt mir gar nicht ein, der Abtritt soll nur stinken, ich will mein Häusl schmecken. – Ein Hauptgegner war auch die Landwirtschaft. Bis dahin hatten die Bauern den Grubeninhalt abgeholt und durch die Stadt auf ihre Felder gefahren. Aber sie hatten für das kostbare Gut nichts bezahlt, hatten es auch nicht unentgeltlich weggeschafft, sondern für die*

Räumung einer Abortgrube bezahlte man jährlich 30 Gulden«. Es gab noch viele Diskussionen: Justus von Liebig, der Begründer der Agrikulturchemie, der damals in München ansässig war, wies auf den Verlust von wertvollem Dünger durch die Kanalisation hin und Max von Pettenkofer vertrat natürlich die gesundheitlichen Aspekte. Schließlich wurde die Schwemmkanalisation in München von Regierung, Magistrat und Ärzteverein einstimmig angenommen. Dies war ein positives Signal auch für andere Städte, die ebenfalls eine Schwemmkanalisation bauen wollten.

Beispiel 3: Der Bau von Wasserleitungen anstelle vom Wasserschöpfen am nahe gelegenen Brunnen wurde überwiegend begrüßt, aber es gab auch ablehnende Äußerungen. So ist nach »Jugenderinnerungen vom Leben in einer württembergischen Kleinstadt«, in der 1919 eine Wasserleitung eingerichtet worden war, Folgendes eingewendet worden [104]: »Die Gründe, die gegen den Bau einer Wasserleitung angeführt wurden, waren unterschiedlich. Zum Teil war es Liebe zum Althergebrachten, zum Teil wurde auch der Verlust einer täglichen Erholungs- und Plauderstunde bedauert, in der man die Nachbarsfrauen getroffen habe. Nun treffe man niemand mehr und erfahre auch nicht, was in der Welt vorgehe«.

Auch der heutige Mensch ist nicht vor solchen nostalgischen Reaktionen gefeit, wenn man die heutige Renaissance der Verwendung von Lehm beim modernen Bauen betrachtet [105], [106].

Diese Beispiele zeigen das Spannungsfeld auf zwischen Tradition oder Nostalgie und technischen Neuerungen, wobei auf dem Gebiet des Bauens und Wohnens die Nostalgie aus den eingangs erwähnten Gründen wohl eine größere Rolle spielt als auf anderen Gebieten. Sie zeigen auch, dass bei solchen Veränderungen auch kommerzielle und strukturelle Gesichtspunkte eine Rolle spielen können, die momentan gravierend sind, aber im Laufe der Zeit hingenommen oder andersartig gelöst werden. Schließlich gibt es den Westfälischen Schinken auch heute noch und die Argumente gegen die Schwemmkanalisation sind mit der Verwendung von Kunstdünger längst vergessen.

Die angeführten Beispiele sind aber ein Schlüssel für das Verständnis von Maßnahmen, die im Baubereich nach einstmals aktuellen Gesichtspunkten eingeführt worden sind und die dann bei veränderten Bedingungen oft beibehalten oder mit anderen Begründungen erhalten oder modifiziert worden sind. Die Weiterentwicklungen erfolgten nicht durch wissenschaftliche Untersuchungen, wie heute üblich, son-

dern nach Ermessen aufgrund der jeweiligen Erfahrungen und Kenntnissen. Umwege und Fehlwege sind dabei nicht auszuschließen.

So sind die geschilderten Entwicklungen zu verstehen, die im Folgenden abschließend zusammengefasst werden.

Die zu Beginn des 20. Jahrhunderts aufgetretenen Außenputzprobleme bei Wänden aus Leichtbetonblocksteinen oder aus porosierte Leichtziegelblöcken sind auf ein und dieselbe Ursache zurückzuführen, nämlich auf eine geringe Flächenstabilität quer zur Belastungsrichtung des Mauerwerks. Die Ursache dafür kann entweder das Schwinden oder die Anisotropie der Mauersteine sein oder eine Kombination dieser Eigenschaften. Dadurch bedingte Formänderungen im Mauerwerk müssen durch die Entkopplungsfähigkeit des Außenputzes kompensiert werden, um Putzrisse zu vermeiden. Das alte Mauerwerk, errichtet aus kleinformatigen Vollsteinen im Läufer/Binder-Verband bildete dagegen eine stabile Wandscheibe. Einwirkungen, die zu Spannungen bzw. Verformungen führen können, kamen in diesem Fall von außen durch die Witterungsbeanspruchung. Der Putz bildete nur den äußeren Abschluss, hatte also im Wesentlichen eine ›überdeckende‹ Funktion »[...] damit man nicht siehet, woraus die Mauer oder Wand bestehet«, wie es in der Enzyklopädie von 1792 [2] heißt. In der heutigen Bautechnik werden dem Außenputz viele Funktionen zugeschrieben: Entkopplung, Wärmedämmung (Dämmputz) und feuchteregulierende Schicht (Regenschutz, Ausblühungsschutz). Bedauerlicherweise verharrt die neueste nationale Ergänzung der Putznorm von 2012 im Allgemeinen immer noch auf der alten Grundregel ›weich auf hart‹ und lässt die heute gängigen Außenputze als Ausnahmen zu.

Bei zweischaligem Mauerwerk wurde ursprünglich eine vorübergehende Belüftung des Luftzwischenraumes zur Beschleunigung der Bauaustrocknung vorgeschlagen. Bei häufig berechneten Wänden wurde die Belüftung auch weiterhin beibehalten und auch nicht geändert, nachdem sich die Baufeuchte wegen besserer Beheizung und anderer Mauersteine reduziert hatte (größere Steinformaten und weniger Mauermörtel). Das Belüften gehörte gewissermaßen zur zweischaligen Bauart und wurde 1974 in DIN 1053 sogar ohne Begründung und ohne Untersuchungen verstärkt gefordert. Vielleicht hatte man den lange zurückliegenden Zweck des Belüftens aus dem Bewusstsein verloren und unter dem Eindruck der Verhältnisse bei (andersgearteten) belüfteten Fachdächern die Belüftung bei zweischaligen Wänden intensiviert. Bei solchen Fällen spielt oft auch die konservative Einstel-

Putztechnologie

Belüftung von Luftschichten

lung und Gewöhnung nach der Art »das haben wir immer so gemacht« eine nicht unbedeutende Rolle.

Hierzu ein Beispiel: Im Jahr 1963 wurde ich zu einem Vortrag vor Architekten und Baufachleuten nach Delft zu dem Thema »Das Feuchteverhalten von zweischaligem Mauerwerk und von Wänden mit vorgehängten Bekleidungsplatten« eingeladen und erläuterte dort, dass zweischaliges Mauerwerk im Allgemeinen nicht belüftet werden muss [107]. Ohne mein Wissen und ohne Abstimmung berichtete der Kollege von TNO Delft, Bob Voss, ebenfalls zu diesem Thema und kam zum gleichen Ergebnis. Der Vortragsleiter folgerte aber am Schluss sinngemäß »*das ist zwar interessant, was die Wissenschaftler vorgetragen haben, aber wir Praktiker sind sicher gut beraten, beim Bewährten zu bleiben*«.

Seit 2010 entsprechen die Normvorschriften für zweischaliges Mauerwerk mit Luftsicht oder mit Kerndämmung den Folgerungen aus den durchgeführten Untersuchungen: Die »Muss-Vorschriften« sind durch »Darf-Vorschriften« ersetzt worden. Der lange Weg dorthin hing wohl mit einer falschen Einschätzung der Wirkung einer Belüftung zusammen. Man erhoffte sich dadurch eine zusätzliche Sicherheit, um vorhandene oder entstehende Feuchtigkeit zur Vermeidung von Schäden abzuführen, gewissermaßen als Nothelfer, ohne zu bedenken, dass auch das Gegenteil der Fall sein kann (Querdiffusion). Eine richtig aufgebaute, kompakte Konstruktion ist aus bauphysikalischer Sicht meist zweckmäßiger, wie z.B. das nicht belüftete Flachdach.

Technische Vorschriften und Normen

Die beschriebenen »Irrwege« gehen zum Teil auf die Einhaltung bzw. unüberlegte Auslegung von Vorschriften und Normen zurück. Zahl und Umfang solcher Vorschriften haben sich im Laufe der Zeit sehr vergrößert. Die erste Wärmeschutznorm DIN 4108 von 1952 hatte einen Umfang von 18 Seiten. Damals und auch Jahre später, betrachtete man die Norm als eine Rahmenvorgabe, innerhalb welcher der Fachmann eigenverantwortlich planen und arbeiten kann und soll. Keinesfalls sollten Normen Lehrbücher ersetzen. Heute umfasst die DIN 4108 in sieben Teilen einen Umfang von 328 Seiten mit zunehmender Tendenz. Und das ist nur eine der vielen Baunormen, die der Architekt und Bauschaffende berücksichtigen muss. Die von einem Bauingenieur erhobene Frage sind »Technische Standards Wegweisung oder Irrgarten?« [108] sollte wirklich Anregung zum Nachdenken geben. Denn wenn Normen nicht eingehalten werden, kann das zu Regressansprüchen führen.

Nicht nur Vielfalt und Umfang von Normen hemmen die Arbeit und Klarheit, sondern auch der ›Normenwirrwarr‹ bei der Bestimmung von Materialkennwerten, wie es in einer IBP-Mitteilung ausgeführt wird [109]. Während man früher produktübergreifende Prüfnormen anstrebte, die einheitlich für verschiedene Produkte mit gleichen Wertdimensionen galten, existieren heute fast für jeden Baustoff produktpezifische Normen mit oft drei bis vier unterschiedlichen Wertdimensionen. Dies hängt zum Teil mit der europäischen ›Harmonisierung‹ zusammen, die aber infolge Besitzstandswahrung einzelner Gruppierungen das Gegenteil von Harmonie bewirkt.

Zur Reduzierung und Relativierung der ›Normengläubigkeit‹, damit ist die vorrangige Hinwendung auf Normausführungen gemeint unter Hintanstellung anderer Erkenntnisquellen, sind Aussagen von Dieter Eschenfelder beachtenswert, der sich als ehemals Leitender Ministerialrat im Ministerium für Bauen und Wohnen Nordrhein-Westfalen mit bauaufsichtlichen und baurechtlichen Fragen befasst hat und seine Erfahrungen in prägnanten Sätzen formuliert hat, die nachfolgend zitiert werden [110]:

»Allgemein zu DIN-Normen

Der Begriff der allgemein anerkannten Regel geht über den der allgemeinen technischen Vorschriften (DIN-Normen usw.) hinaus.

Eine normierte technische Regel enthält nicht die optimale und einzige Lösung einer technischen Aufgabe.

Es besteht die tatsächliche, aber jederzeit widerlegbare Vermutung, dass die normierte Regel die allgemein anerkannten Regeln der Technik wiedergibt.

Normung darf den technischen Fortschritt nicht behindern. Sie ist deshalb ständig der technischen Entwicklung anzupassen.

Die DIN-Norm verliert dann ihre Verbindlichkeit, wenn sie von Fachleuten allgemein als erneuerungsbedürftig angesehen wird.

DIN-Entwürfe (Vornormen) können nur dann als verbindlich gelten, wenn das alte Regelwerk überholt ist und der Neu-Entwurf dem Stand der Technik entspricht.

Prüfpflicht bei Versagen der Regelwerke: Der Anwender einer Technischen Regel hat sich selbst zu informieren, ob nicht weitere Vorsichtsmaßnahmen erforderlich werden. Ein Abstützen auf Formalien der Normungsarbeit genügt nicht.

Hinweise für den Anwender einer Norm

Grundsatz: Jeder deliktfähige Mensch hat sein Handeln selbst zu verantworten.

1. DIN-Normen sind nicht für Laien gedacht. Der Anwender einer Norm muss das dafür notwendige Verständnis besitzen.
2. Die Norm ist nicht einzige, sondern nur eine Erkenntnisquelle für technisch-ordnungsgemäses Verhalten.
3. In der Norm wird der Regelfall normiert. Deshalb kann keine Eignung für die Befriedigung von Höchstansprüchen im Einzelfall hergeleitet werden.
4. Normung versucht den Stand der Technik zu erreichen, was durch die fortwährende Weiterentwicklung in der Technik nicht möglich ist (siehe Bild 70).
5. Das Anwenden einer Norm verbietet sich wider besseres, eigenes Wissen (z. B. Fehler in der Norm).

Bauaufsichtliche Einführung technischer Normen

1. §3 Absatz 3 MBO¹: Die von der obersten Bauaufsichtsbehörde durch öffentliche Bekanntmachung als Technische Baubestimmungen eingeführten technischen Regeln sind zu beachten. [...] Von den Technischen

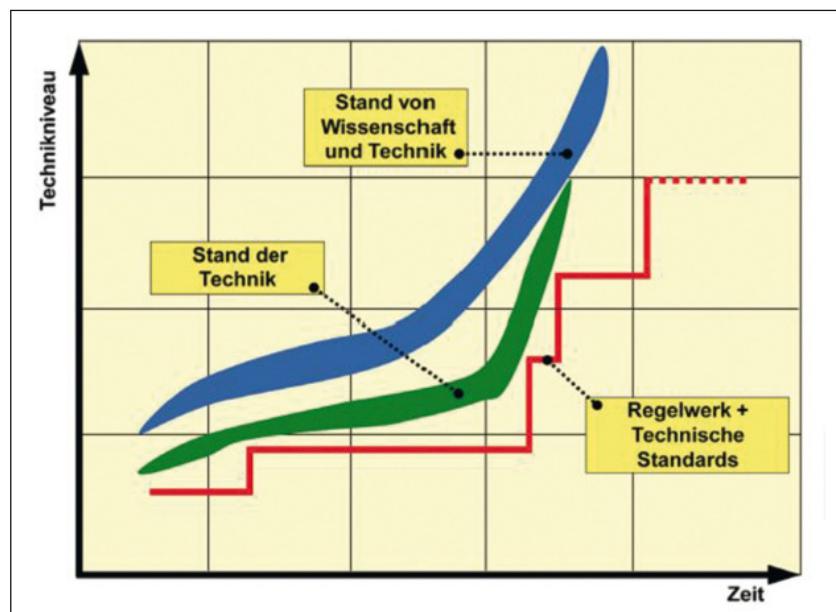


Bild 70: Schematische Darstellung zur zeitlichen Zunahme (Technikniveau) des Stands der Wissenschaft (blau), der Technik (grün) und der Übernahme in Regelwerke (rote Stufen). Wissenschaftliche Erkenntnisse benötigen einige Zeit, bis sie allgemein technisch realisiert werden, und können erst nach Erprobung und praktischer Bewährung als technischer Standard gelten [110].

¹ Musterbauordnung der Arbeitsgemeinschaft der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen (ARGEBAU) zuständigen Minister und Senatoren der Länder der Bundesrepublik Deutschland

Baubestimmungen kann abgewichen werden, wenn mit einer anderen Lösung in gleichem Maße die allgemeinen Anforderungen [...] erfüllt werden.

2. Der dynamische Charakter technischer Normen wird durch die bauaufsichtliche Einführung nicht verändert.
3. Deshalb ist der Verbindlichkeitsgrad einer bauaufsichtlich eingeführten DIN-Norm nicht anders als bei den übrigen Normen.
4. Bauaufsichtlich eingeführte Normen besitzen nicht den Charakter von Rechtsnormen.
5. Technisch überholte, aber noch bauaufsichtlich eingeführte Normen verlieren ohne formellen Akt ihre Verbindlichkeit.
6. Eine DIN-Norm kann, bauaufsichtlich eingeführt oder nicht, eine allgemein anerkannte Regel der Technik sein.
7. Die bauaufsichtliche Einführung hat lediglich die Vermutung für sich, dass die Durchführung der Baumaßnahme nach der bauaufsichtlich eingeführten Norm den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht.
8. Diese Vermutung ist widerlegbar durch anderweitigen Nachweis.
9. Die bauaufsichtliche Einführung bedeutet eine Dienstanweisung an die untere Bauaufsichtsbehörde, im Baugenehmigungsverfahren die eingeführten Normen zu beachten. Jeder, der sich daran hält, kann damit rechnen, dass hierfür die Baugenehmigung erteilt wird.
10. Bei technischen Baubestimmungen (bauaufsichtlich eingeführte Norm) handelt es sich um öffentliches Recht. Sie ersetzen nicht zivilrechtlich geschuldete Leistungen.
11. Die alleinige Einhaltung der bauaufsichtlich eingeführten technischen Regel (technische Baubestimmung) ist keine Garantie für eine mängelfreie Leistung. Eigenverantwortlichkeit des Planers.
12. Allerdings ist die Einhaltung der bauaufsichtlich eingeführten technischen Regel eine Mindestnotwendigkeit zur Erlangung einer Baugenehmigung.
13. Nichtbeachtung der einschlägigen DIN-Normen beweist noch nicht, dass die erbrachte Leistung nicht den Regeln der Technik genügt oder mangelhaft ist. Dies wird aber vermutet. Dies gilt gleichermaßen für technische Baubestimmungen.«

Die dargestellten Entwicklungen im Bauwesen lassen im Verlauf des 19. und 20. Jahrhunderts eine deutliche Wandlung erkennen, nämlich von der Handwerkstechnik über die Gesundheitstechnik zur Bauphysik. Veränderungen der Baustile hat es immer schon gegeben (Romanik, Gotik usw.) aber die Bauten wurden immer in gleicher Weise ›Stein auf Stein‹ errichtet. Der Anlass der Wandlung war letztlich die gro-

Wandlungen im Bauwesen

ße Bevölkerungszunahme und das dadurch erforderliche Bauvolumen, das durch die bisherige ›Stein-Methode‹ nicht mehr zu schaffen war. Sparwände wurden entwickelt, die aber weitere Fragen aufwarfen, wie eingangs erläutert. Es entstand die Vision des ›Neuen Bauens‹, die aber durch die Ereignisse des Zweiten Weltkriegs nicht zu Ende gedacht und ausgeführt werden konnte. Die beiden Kriege bildeten große Barrieren für alle nicht kriegsrelevanten Entwicklungen. In dieser Zeit gab es praktisch keine Bauforschung. Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP wurde 1929 unter dem Namen Anstalt für Schall- und Wärmetechnik an der Technischen Hochschule Stuttgart gegründet und musste während des Krieges u. a. akustische Zünder entwickeln und erproben. Anderen Institutionen auf diesem Gebiet ging es wohl ähnlich.

Bauphysik

Nach dem Krieg gab es nach anfänglicher Stagnation einen riesigen Nachholbedarf, der zu einem Aufschwung auf allen Gebieten geführt hatte, wie in Kapitel 3 ausgeführt. Dabei handelte es sich in erster Linie um neue Baustoffe und Baumethoden, deren physikalische Eigenschaften zu ermitteln und mit denen konventioneller Varianten zu vergleichen waren. Erst im Laufe der Zeit hat sich dafür die Bezeichnung ›Bauphysik‹ eingebürgert. Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP hat diesen Namen seit 1972 und hieß zuvor Institut für Technische Physik (nach – wie oben ausgeführt – Anstalt für Schall- und Wärmetechnik). In der ersten Buchveröffentlichung von Gösele und Schüle 1965 kam die Bezeichnung Bauphysik nicht vor, der Titel des Buches war »Schall – Wärme – Feuchte« [111]. Die hier zitierten Fachbücher aus Vorkriegszeiten waren meist vergriffen und der Fachwelt nicht unmittelbar zugänglich. Vergriffen war auch das 1936 nur als 1. Auflage herausgekommene Standardwerk von J. S. Cammerer [42]. Dadurch fehlte ein nahtloser Übergang in der wissenschaftlichen Dokumentation. Manches Wissen aus früherer Zeit ist so zunächst verloren gegangen. Beim Neuanfang hatte man nur einen Blick nach vorn in die Zukunft.

Bauhygiene – Bauklimatik

In Ostdeutschland wurden die Entwicklungen im Bauwesen mit den Begriffen ›Bauklimatik‹ oder ›Bauhygiene‹ beschrieben. Der Gründer und frühere Leiter des Instituts für Bauhygiene und Haustechnik an der Technischen Universität Dresden, Professor Werner Cords, hat nach dem Zweiten Weltkrieg als Erster ein ziemlich umfassendes Buch über die verschiedenen technischen Gesichtspunkte für das Bauen mit dem Titel »Technische Bauhygiene« veröffentlicht [112]. Er formulierte die bereits erwähnte Wandlung im Vorwort seines Buches

folgendermaßen: »Solange in immer ähnlicher Weise mit gleich bleibenden Baustoffen kaum sich ändernde Anforderungen zu erfüllen waren, konnten alt überlieferte Erfahrungen hierbei ausreichend helfen. Seit dem aber darin ein grundlegender Wandel eingetreten ist, auch immer neue Möglichkeiten erprobt werden, um die sich weiter klärenden Anforderungen der Gesundheitsfürsorge und -pflege mit verbesserten technischen Mitteln zu erfüllen, reicht die Erfahrung allein nicht mehr aus. Wissenschaftlich begründete Erkenntnisse aus der angewandten Naturwissenschaft müssen an ihre Stelle treten«. Das über 400 Seiten dicke Buch enthält folgende Abschnitte:

- A Wärmeschutz, Wärmebedarf und Wärmeversorgung
- B Lüftung, Klimatisierung und Kühlung
- C Feuchtigkeitsschutz
- D Besonnung
- E Beleuchtung
- F Schall- und Erschütterungsschutz.

Das sind genau die Themen, die auch unter »Bauphysik« verstanden werden. Bauphysik, Bauhygiene und Bauklimatik sind somit als Synonyme zu betrachten. Ein weiteres Buch aus Ostdeutschland aus jener Zeit hat übrigens den Titel »Bauphysikalische Entwurfslehre« [113].

An Universitäten und Hochschulen hat sich als Lehrfach die Bezeichnung Bauphysik, häufig in Zusammenarbeit mit Baustoffkunde, Technischem Ausbau oder Haustechnik durchgesetzt. Der erste Lehrstuhl in Deutschland entstand bereits 1952 in Dresden mit der Bezeichnung »Technische Bauhygiene« und zwar in Verbindung mit dem Lehrstuhl »Landwirtschaftliches Bau- und Siedlungswesen«, den der bereits erwähnte Werner Cords seit 1947 betreute. Einen der ersten Lehrstühle für Bauphysik im Westen Deutschlands baute 1976 der Leiter der Abteilung Theorie im Fraunhofer IPB, Dr. Karl Gertis, an der Universität Essen auf. Zwei Jahre danach wurde auf Anregung von Gertis die »Ständige Konferenz der Hochschullehrer des Fachgebietes Bauphysik an wissenschaftlichen Hochschulen« eingerichtet, die das Memorandum herausgegeben hat: »Die Bauphysik muss fester Bestandteil der Architekten- und Bauingenieurausbildung werden« [114].

Damit war die Bauphysik als Wissenschaftsdisziplin voll in den universitären Bereich eingegliedert. Voraussetzung dafür waren die umfangreichen Forschungen in den Jahrzehnten davor, wodurch die Grundlagen geschaffen worden sind, um die früheren Ermessensentscheidungen durch wissenschaftlich erarbeitete Erkenntnisse zu

ersetzen. Das waren auch die Voraussetzungen und letztlich der Grund dafür, dass das in den 1920er-Jahren so vehement angestrebte ›Neue Bauen‹ eigentlich erst jetzt Wirklichkeit werden konnte. Für die Ideen von damals fehlten die erforderlichen technologischen Kenntnisse.

Heute ist die Bauphysik eine Wissenschaft, die durch lange Erfahrungen, experimentelle Untersuchungen und theoretische Bestätigungen begründet ist. Festlegungen ›nach Ermessen‹ sollten, sofern noch vorhanden, überprüft, korrigiert oder beseitigt werden. Gleichwohl stehen noch Aufgaben zur Vereinheitlichung von Prüfverfahren und bauphysikalischen Bewertungen an, um die nationale und internationale Kommunikation zu fördern. Vor allem sollte aber berücksichtigt werden, Normen und Regelungen nur im Grundsatz zu formulieren, um Weiterentwicklungen nicht zu beeinträchtigen.

Das sind die Lehren, die aus der bisherigen Entwicklung zu ziehen sind.

Anhang

Die Entwicklung der einschlägigen Normen

Die Kenntnis der Zuordnung von Normbezeichnungen (DIN-Nummern) und Norminhalten wird vorausgesetzt. Im Folgenden werden Normen aufgeführt, die mit den Themen des Buches zusammenhängen. Um dabei die zeitliche Entwicklung der Normung aufzuzeigen, werden zunächst die nationalen Normen angegeben, auch wenn diese später durch europäische Normen ersetzt worden sind.

Wärmeschutznormen

DIN 4110

Technische Bestimmungen für die Zulassung neuer Bauweisen, Erstausgabe 1934.

In dieser Ausgabe wird die 1½-Stein dicke Vollziegelwand als Standard für neue Bauweisen angegeben, die in der zweiten Ausgabe 1938 durch den Wärmedurchlasswiderstand $1/\Lambda = 0,55 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}/\text{kcal}$ ersetzt worden ist. Dieser Wert erscheint zahlenmäßig auch als Mindestwert für Außenwände in der DIN 4108, Ausgabe 1981, jedoch mit der Dimension $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ (16 % höherer Dämmwert).

DIN 4108

Wärmeschutz im Hochbau, Erstausgabe 1952, weitere Ausgaben 1960, 1969 und 1981, Letztere in drei Teilen.

Die Ausgabe von 1981 war die erste größere Erweiterung durch Übernahme von feuchtetechnischen Gesichtspunkten (Regenschutz, Glaser-Verfahren) und wurde in fünf Teile unterteilt:

Teil 1: Größen und Einheiten,

Teil 2: Wärmedämmung und Wärmespeicherung; Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung,

Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung,

Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte,

Teil 5: Berechnungsverfahren.

In späteren Ausgaben wurden die Inhalte auf die einzelnen Normteile oft anders aufgeteilt. Die Erhöhung der Mindestwerte der Wärmedämmung von Bauteilen erschien erstmals 2001 in DIN 4108-2.

Diese Norm wurde zurückgezogen und durch die Ausgabe 2003 ersetzt, aber mit unveränderten Mindestanforderungen (hier wird im Hinblick auf die Mindestdämmwerte die letztgenannte Normausgabe genannt).

Putznormen

DIN 18550

Putz, Baustoffe und Ausführung, Erstausgabe 1955, weitere Ausgaben 1967 mit Beiblatt und 1985, Letztere in drei Teilen:

Teil 1: Putz; Begriffe und Anforderungen,

Teil 2: Putz; Putze aus Mörteln mit mineralischen Bindemitteln, Ausführung.

Teil 3 war für Putze mit organischen Bindemitteln vorgesehen, da aber diese Industriegruppe eine eigene Normbezeichnung beanspruchte, welche die Bezeichnung DIN 18558 erhielt, wurde Teil 3 später an derweitig vergeben.

DIN 18558

Kunstharzputze; Begriffe, Anforderungen, Ausführung (1985).

Begriffe und Anforderungen nach DIN 18550, Teil 1 gelten auch für Kunstharzputze.

DIN EN 15824

Festlegungen für Außen- und Innenputze mit organischen Bindemitteln; Deutsche Fassung 2009.

DIN 18550-3

Wärmedämmputzsysteme aus Mörteln mit mineralischen Bindemitteln und expandiertem Polystyrol (EPS) als Zuschlag, Ausgabe 1991.

DIN 18550-4

Putz – Leichtputze; Ausführung, Ausgabe 1993.

DIN EN 998-1

Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 1: Putzmörtel, Ausgabe 2003.

Diese Norm beinhaltet die nationalen Normen DIN 18550, Teile 1 bis 4 sowie DIN 18558. Nicht berücksichtigt werden aber manche eingeführte Festlegungen, wie z.B. »wasserabweisende Außenputze«. Zur nationalen Ergänzung wurde deshalb die folgende Vornorm eingeführt.

DIN V 18550

Putz und Putzsysteme – Ausführung, Ausgabe 2005, die weiterbearbeitet wurde und 2012 als Entwurf veröffentlicht worden ist.

E DIN 18555-1

Putz und Putzsysteme – Ausführung, Ausgabe 2012.

DIN EN 15824

Festlegungen für Außen- und Innenputze mit organischen Bindemitteln, Ausgabe 2009.

Hinweise

In DIN EN 998-1 wird die kapillare Wasseraufnahme nach den Kategorien W0, W1, W2 in der Wertedimension $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ aufgeführt. In DIN EN 15824 wird die Wasseraufnahme als »*Durchlässigkeitsrate für flüssiges Wasser*« angegeben nach den Kategorien W_1 , W_2 , W_3 mit der Dimension $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$ wie in DIN 4108-3. Auch in der Angabe der Wasserdampf-Diffusionsstromdichte gibt es Unterschiede: DIN 4108-3: $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ und in DIN EN 15824: $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$.

Solche Unterschiede in den Dimensionen in den Normen DIN EN 998-1 und DIN EN 15824 ($[\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}]$, $[\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}]$, $[\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}]$, $[\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}]$) und irreführende Bezeichnungen wie W1 oder W_1 sollten in Normen, die eigentlich einer Vereinheitlichung dienen sollen, nicht auftreten. Da hinsichtlich Wasseraufnahme und Wasserdampfdurchlässigkeit verschiedene Putz-Kategorien definiert werden, die aber keinen bestimmten Anwendungsbereichen zugeordnet werden, ist deren Sinnhaftigkeit nicht verständlich.

Alle nationalen Putznormen enthalten die Regel, dass bei zweilagigen Putzsystemen der Oberputz weniger fest oder gleich fest sein soll wie der Unterputz, begründete Ausnahmen sind zulässig. Da dies aber für die Mehrzahl der heute angewandten Putzsysteme zutrifft, ist die Beibehaltung dieser Regel nicht verständlich. (Die der Norm-Putzregel entsprechenden Putze sind die Ausnahme!)

Normen zur Belüftung von zweischaligen Wänden und Dachkonstruktionen

DIN 1053

Berechnungsgrundlagen für Bauteile aus künstlichen und natürlichen Steinen, Erstausgabe 1937. In dieser ersten Norm wird zweischaliges Mauerwerk überhaupt nicht erwähnt.

DIN 1053

Mauerwerk – Berechnung und Ausführung, Ausgabe 1952. In dieser Norm wird zweischaliges Mauerwerk definiert und eine Belüftung durch 150 cm^2 Öffnungsfläche auf 20 m^2 Wandfläche als ‚Darf-Maßnahme‘ angegeben.

Ab der Normausgabe von 1974 und folgende wurden die Belüftungsflächen verdoppelt und als ‚Soll-Maßnahme‘ angegeben. Diese Regelung blieb bestehen bis zum Normentwurf von 2009 mit der Bezeichnung DIN 1052-12 und veröffentlicht 2012 als DIN EN 1996-2/NA:2012-01, in dem Entwässerungsöffnungen oder Belüftungsöffnungen wieder als ‚Darf-Maßnahme‘ bezeichnet werden ohne Angaben über die Größe und Anordnung von Öffnungsflächen.

Die Frage der Belüftung stellte sich bei belüfteten Flachdächern und Satteldächern als Abschluss von Wohnungen.

DIN 4108

Für nicht ausgebaute Dachgeschosse ist erstmals in der Ausgabe 1969 (Abschnitt 7.2.5) der Satz zu finden: »Im nicht ausgebauten Dachgeschoss ist für eine ausreichende Entlüftung zu sorgen«. In einer Fußnote werden Zu- und Abluftöffnungen von mindestens 2% der Grundfläche des Luftraumes als Mindestwert angegeben.

In DIN 4108-3 von 1881 und späteren Ausgaben werden detailliertere Angaben über die Belüftung von Dächern in Abhängigkeit von der Dachneigung bzw. den Dachabmessungen oder der Dampfdurchlässigkeit gemacht. Insbesondere wird darauf hingewiesen, dass bei klimatisch unterschiedlich beanspruchten Flächen eines Daches (z.B. Nord/Süd-Dachflächen) eine Abschottung der Belüftungsschicht im Firstbereich zweckmäßig ist.

Somit werden die Ergebnisse bauphysikalischer Untersuchungen bei zweischaligen Wänden und belüfteten Dächern durch entsprechende Norm-Änderungen berücksichtigt. In der Putztechnologie ist dies jedoch nicht der Fall. Die Normaussagen entsprechen hier nicht dem Stand des Wissens und der Technik.

Prüfnormen

Die hier aufgeführten nationalen DIN-Normen werden durch die angegebenen europäischen Prüfnormen ersetzt, z. T. mit gewissen Veränderungen.

Wasserdampfdiffusion

DIN 52615

Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen, Erstausgabe 1973.

Diese Norm diente zur Festlegung der Prüfmethoden und der Randbedingungen, die zuvor in den verschiedenen Prüfstellen unterschiedlich waren. Folgeausgabe 1987.

DIN EN ISO 12572:2001-09

Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit (ISO 12572:2001); Deutsche Fassung EN ISO 12572:2001; Ersatz für DIN 52515.

Kapillare Wasseraufnahme

DIN 52617

Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten von Baustoffen. Erstausgabe 1987.

DIN EN ISO 15148:2003-03

Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten – Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen (ISO 15148:2002); Deutsche Fassung EN ISO 15148:2002.

Wasserdampfsorption

DIN 52620

Bestimmung des Bezugsfeuchtegehalts von Baustoffen, Erstausgabe 1991.

DIN EN ISO 12571

Bestimmung der hygroskopischen Sorptionseigenschaften, Ausgabe 2000.

Literaturverzeichnis

- [1] Vitruv: Zehn Bücher über Architektur. Wiesbaden: Marxverlag, 2009
- [2] Stieglitz, Chr. L.: Encyklopädie der bürgerlichen Baukunst. Leipzig, 1792
- [3] Ahnert, R.; Krause, K. H.: Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz. Bd. 1: Gründungen, Wände, Decken, Dachtragwerke. 3., neubearb. u. erw. Aufl. Wiesbaden: Bauverlag, 1991
- [4] Kirmeyer, J.: Aufhebung und Verkauf des Klosters Benediktbeuern. In: Fraunhofer in Benediktbeuern. Mitteilung der Fraunhofer-Gesellschaft, 2008
- [5] Bundesverband Leichtbeton e.V.: Chronik der Bimsindustrie und ihres Verbandes. 2006
- [6] Hammerl, H.; Kloss, R.: Entwurf, Ausführung und Benützung von Bauwerken. In: Prausnitz, W.: Atlas und Lehrbuch der Hygiene, München 1909
- [7] Mecenseffy, E. von: Baustoffe und Baugefüge. In: Prausnitz, W.: Atlas und Lehrbuch der Hygiene. München, 1909
- [8] Triebel, W.: Geschichte der Bauforschung. Hannover: Vincentz Verlag, 1983
- [9] Siedler, E. J.: Die Lehre vom Neuen Bauen. Berlin: Bauwelt-Verlag im Ullsteinhaus, 1932
- [10] Kaufmann, F.: Außenputz für Massivwände. Richtlinien und Erläuterungen für die Ausführung. Wiesbaden: Bauverlag, 1950
- [11] Piepenburg, W.: Entstehen und Verhalten ortsüblicher Außenputze. Berichte aus der Bauforschung (1966), Nr. 29, S. 7–98
- [12] Piepenburg, W.: So macht man guten Putz. Wiesbaden: Bauverlag, um 1955 (ohne Jahresangabe)
- [13] Arbeitsgemeinschaft für wirtschaftliches Bauen e.V.: Außenputz. Bremen, 1951
- [14] Rybczynski, W.: Verlust der Behaglichkeit (Wohnkultur im Wandel der Zeit). München: dtv Sachbuch, 1991
- [15] Haenel, E.; Tscharmann, H.: Das Einzelwohnhaus der Neuzeit. Leipzig: J. J. Weber, 1907

- [16] Prausnitz, W.: *Atlas und Lehrbuch der Hygiene. Aufgabe der Bauordnungen*. München, 1909
- [17] Schachner, R.: *Gesundheitstechnik im Hausbau*. München: Oldenbourg-Verlag, 1926
- [18] Commission des Verbandes »Arbeiterwohl« (Hrsg.): *Das häusliche Glück – Haushaltungsunterricht nebst Anleitung zum Kochen für Arbeiterfrauen*. 1882. Nachdruck 1975 Rogner & Bernhard, München
- [19] Prausnitz, W.: *Arbeiter-Wohnungen*. In: Prausnitz, W.: *Atlas und Lehrbuch der Hygiene*. München, 1909
- [20] Esmarch, E. von: *Hygienisches Taschenbuch*. Berlin: Springer-Verlag, 1902
- [21] Cammerer; J. S.: *Das Problem der Schwitzwasserbildung im Bauwesen*. Heraklith-Rundschau, Nr. 1, Januar 1951
- [22] Caemmerer, W.; Neumann, R.: *Wärmeschutz im Hochbau. Kommentar DIN 4108*. Berlin, 1983
- [23] Künzel, H.: *Erinnerungen an Dr. Ing. habil. Joseph Sebastian Cammerer anlässlich dessen 25. Todesjahres*. Bauphysik 30 (2008), Nr. 5, S. 340–345
- [24] Cube, H. L. von: *Die Auskühlung von Häusern*. Dissertation T. H. Stuttgart, 1949
- [25] Schüle, W.: *Feuchtigkeit in Bauteilen von Wohnhäusern*. Berichte aus der Bauforschung (1966), Nr. 48
- [26] Reiher, H. et al.: *Wärme- und Feuchtigkeitsschutz in Wohnbauten*. Bericht über die Versuchszeit 1952 bis 1956. Berlin: W. Ernst & Sohn, 1958
- [27] Editorial: *Die Heraklith-Leichtbauplatte*. Heraklith-Rundschau, Nr. 1, Januar 1951
- [28] Museumsführer des Museumsdorfes Cloppenburg, 1981
- [29] Brown, G. I.: *Graf Rumford*. München: Deutscher Taschenbuch Verlag, 2002
- [30] Usemann, K. W.: *Entwicklung von Heizungs- und Lüftungstechnik zur Wissenschaft*. München: Oldenbourg Verlag, 1993
- [31] Schüle, W.; Fauth, U.: *Heiztechnische und raumklimatische Untersuchungen in Wohnungen mit verschiedenen Heizeinrichtungen*. HLH 12 (1961), Nr. 9, S. 1–5

- [32] Philippson, A.: Wie ich zum Geographen wurde. Bonn: Bouvier Verlag, 1996
- [33] Mollier, H.: Über die Wärmeableitung von Fußböden. Bayerisches Industrie- und Gewerbeblatt 96(1910), Nr. 24, S. 231–233
- [34] Schüle, W.: Fußwärme und Wärmeableitung von Fußböden. Beiträge aus der Bauforschung (1964), Nr. 40
- [35] Usemann, K. W.: Goethe im Anblick winterlichen Heizens. *gi Gesundheits-Ingenieur* 131 (2010), Nr. 4, S. 215–221
- [36] Mayer, E.: Tagesgang für thermisches Behaglichkeitsempfinden. *gi Gesundheits-Ingenieur* 107 (1986), Nr. 3, S. 173–176
- [37] Recknagel, H.: Lüftung und Heizung, Badeeinrichtungen, Dampfwäscherei. In: Prausnitz, W.: Atlas und Lehrbuch der Hygiene. München, 1909
- [38] Leoprechting, K. von: Aus dem Lechrain – Zur deutschen Sitten- und Sagenkunde. 1855. Nachdruck 1975 Süddeutscher Verlag, München,
- [39] Kiskalt, K.: Max von Pettenkofer. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 1948
- [40] Payer, P.: Der Gestank von Wien. Wien: Döcker Verlag, 1997
- [41] Künzel, H.: Die atmende Außenwand – Ein Irrtum in der Vergangenheit und seine Folgen. *gi Gesundheits-Ingenieur* 99 (1978), Nr. 1, S. 22 ff. und Nr. 2, S. 29–33
- [42] Cammerer, J. S.: Die konstruktiven Grundlagen des Wärme- und Kälteschutzes im Wohn- und Industriebau. Berlin: Springer Verlag, 1936
- [43] Künzel, H.: Max von Pettenkofer – Wegbereiter der Bauphysik? *Bauphysik* 23 (2001), Nr. 3, S. 180–181
- [44] Pettenkofer, M. von: Über die Luft im Boden oder Grundluft. In: Populäre Vorträge. Erstes Heft. Braunschweig: Verlag Viehweg und Sohn, 1877
- [45] Reiher, H. et al.: Messungen an bewohnten Häusern im Alpenvorland. Wärme- und Feuchtigkeitsschutz in Wohnbauten. Bericht über die Versuchszeit von 1956 bis 1959. Berlin: W. Ernst & Sohn, 1960
- [46] Reiher, H.; Künzel, H.: Vergleichende Untersuchungen an Außenputzen auf verschiedenen Wandmaterialien. Wärme- und

- Feuchteschutz in Wohnbauten. Bericht über die Versuchszeit von 1956 bis 1959. Berlin: W. Ernst & Sohn, 1960
- [47] Künzel, H.: Untersuchungen über die Feuchteverhältnisse in häufig beregneten Außenwänden. *gi Gesundheits-Ingenieur* 85 (1964), Nr. 9, S. 274–280
- [48] Künzel, H.: Anforderungen an Außenanstriche und Beschichtungen aus Kunstharzdispersionen. *Kunststoffe im Bau. Themenheft 12.* 1968
- [49] Künzel, H.: Der Regenschutz von Außenwänden. In: *Mauerwerk-Kalender 1986. Taschenbuch für Mauerwerk, Wandbaustoffe, Schall-, Wärme- und Feuchtigkeitsschutz.* 11. Jg. Berlin: Verlag Ernst & Sohn, 1986
- [50] Hardtwig, E: Klima und Witterung 1952 bis 1956 auf dem Versuchsgelände bei Holzkirchen. Bericht über die Versuchszeit 1952 bis 1956. Berlin: W. Ernst & Sohn, 1958
- [51] Künzel, H.; Bernhardt, P.: Beurteilung des Regenschutzes von Kunstharzputzen. Unveröffentlichter Forschungsbericht des B.Ho 11/84 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP
- [52] Künzel, H. M. et al.: Feuchteschutz verschiedener Fassadensysteme. Beanspruchungen, Systemanforderungen und Langzeitbeständigkeit. In: Venzmer, H. (Hrsg.): *Fassadensanierung. Praxisbeispiele, Produkteigenschaften, Schutzfunktionen.* Berlin: Beuth, 2011
- [53] Künzel, H.: Feuchtigkeitstechnische Eigenschaften und Formänderungen von Kunstharzbeschichtungen an Außenwänden. *Berichte aus der Bauforschung* (1972), Nr. 79, S. 27–40
- [54] Künzel, H.: Haftfestigkeit von Kunstharzbeschichtungen auf Gasbeton. *Betonstein-Zeitung* 36 (1970), Nr. 2, S. 115–117
- [55] Künzel, H.: Schäden an Fassadenputzen. 3., überarb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2011 (Schadenfreies Bauen; 9)
- [56] Böhm, H.; Künzel, H.: Feuchtigkeitsabhängige Sperrwirkung von Kunstharzputzen. *Bauphysik* 11 (1989), Nr. 4, S. 145–149
- [57] Künzel, H.: Warum sich Wärmedämmverbundsysteme durchgesetzt haben. *Bauphysik* 20 (1998), Nr. 1, S. 2–8
- [58] Industrieverband Werkmörtel e.V. et al.: Merkblatt Außenputz auf Leichtziegel. Dezember 1988
- [59] Industrieverband Werkmörtel e.V. et al.: Merkblatt Außenputz auf Ziegelmauerwerk. Mai 2002

- [60] Böhm, H.; Künzel, H.: Kann ein Spritzbewurf Risse verhindern? *Der Stukkateur* (1989), Nr. 11, S. 60–63
- [61] Künzel, H.: Mauerwerk und Außenputz. Teil 2: Hygrothermische Formänderungen und Spannungen. *Der Bausachverständige* 4 (2008), Nr. 3, S. 27–30
- [62] Künzel, H.: Einfluss des Putzgrundes und der Herstellungsbedingungen auf die Saugfähigkeit von Außenputzen. *Berichte aus der Bauforschung* (1972), Nr. 79, S. 18–26
- [63] Leonhardt, H.; Lucas, R.; Kießl, K.: Handgerät zur vereinfachten Vor-Ort-Bestimmung bauphysikalischer Kennwerte von Steinoberflächen. *Jahresberichte Forschungsprogramm Steinzerfall-Steinkonservierung*. Band 1. 1989, S. 243–253
- [64] Schwenk Putztechnik GmbH & Co KG: Technik informiert. Ausgabe 10/2008. Die Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit dem Forschungs- und Prüfinstitut Steine und Erden Karlsruhe e.V. durchgeführt.
- [65] Künzel, H.: Bauphysik und Denkmalpflege. 2., erw. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2009
- [66] Künzel, H.: Trocknungsblockade durch Mauerversalzung. *Bauenschutz + Bausanierung* 14 (1991), Nr. 4, S. 63–66
- [67] Künzel, H.: Sanierputze sind mehr als eine begleitende Maßnahme. Berlin: Verlag für Bauwesen, 1997, S. 167–177 (Feuchte und Altbau-sanierung; 8)
- [68] Künzel H.: Wärme- und Feuchteschutz von zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung. *Bauphysik* 13 (1991), Nr. 1, S. 1–9
- [69] Wulkan, K. H.: Das Verhalten von Dämmstoffen in nachträglich verfülltem zweischaligem Mauerwerk mit Luftsicht. *Bauphysik* 5 (1983), Nr. 4, S. 116–121
- [70] Künzel, H.: Die Auswirkung von Klinker-Vorsatzschalen auf den Feuchtehaushalt von zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung. *Ziegelindustrie International* 48 (1995), Nr. 11, S. 843–850
- [71] Künzel, H.: Zweischaliges Mauerwerk mit verputzter Vorsatzschale. Rissanfällige Konstruktion. *Bauschäden-Sammlung* 2/99. DAB 31 (1999), Nr. 2, S. 256–257
- [72] Eichler, F.; Arndt, H.: Bautechnischer Wärme- und Feuchtigkeits-schutz. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen, 1981

- [73] Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks (Hrsg.): Regeln für Dachdeckungen mit Dachziegeln und Dachsteinen. Köln: R. Müller, 1985
- [74] Künzel, H. M.; Kehrer, M.: Einfluss der Hinterlüftung auf das Feuchteverhalten von Holzbauwänden. Festschrift zum 60. Geburtstag von Gerd Hauser. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2008
- [75] Egner, K.: Feuchtigkeitsdurchgang und Wasserdampfkondensation in Bauten. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen. Reihe C, Nr. 1. Stuttgart: Frank'sche Verlagsbuchhandlung, 1950
- [76] Glaser, H.: Ein grafischen Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen. Kältetechnik 11 (1959), Nr. 10, S. 345–349
- [77] Künzel, H. M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart, 1994
- [78] Künzel; H.; Frank, W.: Die sommerlichen Temperaturverhältnisse in Wohngebäuden schwerer und leichter Bauart. gi Gesundheits-Ingenieur 100 (1979), Nr. 3, S. 85–92
- [79] Gertis, K.; Hauser, G.: Instationäre Berechnungsverfahren für den sommerlichen Wärmeschutz im Hochbau. Berichte aus der Bauforschung (1975), Nr. 103
- [80] Hauser, G.; Gertis, K.: Kenngrößen des instationären Wärmeschutzes von Außenbauteilen. Berichte aus der Bauforschung (1975), Nr. 103
- [81] Cammerer, J. S.: Beiträge zum Problem der Wasserdampfdiffusion durch Bauteile. Berichte aus der Bauforschung (1973), Nr. 80, S. 21–38
- [82] Künzel, H.: Einfluss der Versuchsbedingungen auf die Ergebnisse von Diffusionsmessungen. Berichte aus der Bauforschung (1973), Nr. 80, S. 3–12
- [83] Künzel, H.; Bernhardt, P.: Wasserdampfdurchlässigkeit von Baustoffen bei verschiedenen Feuchtigkeitszuständen. Berichte aus der Bauforschung (1973), Nr. 80, S. 13–20
- [84] Künzel, H.: Die ‚klimaregelnde‘ Wirkung von Innenputzen. gi Gesundheits-Ingenieur 81 (1960), Nr. 7, S. 196–201.
- [85] Künzel, H.: Die Feuchtigkeitsabsorption von Innenoberflächen und Inneneinrichtungen. Berichte aus der Bauforschung (1965), Nr. 42

- [86] Künzel, H.; Snatzke, C.: Die Feuchtigkeitsabsorption der Innenoberflächen von Beton- und Kunststoffwänden. Berichte aus der Bauforschung (1968), Nr.51
- [87] Künzel, H.: Auswirkung mangelnder Feuchteabsorption in Räumen. Berichte aus der Bauforschung (1972), Nr.79
- [88] Künzel, H.: Instationärer Wärme- und Feuchteaustausch an Gebäudeinnenoberflächen. In: Aachener Institut für Bauschadensforschung und Angewandte Bauphysik gGmbH -AIBau- (Hrsg.): Problemstellungen im Gebäudeinneren. Wärme – Feuchte – Schall. Rechtsfragen für Baupraktiker. Wiesbaden: Bauverlag, 1988
- [89] Künzel, H. M. et al.: Feuchtebufferwirkung von Innenraumbekleidungen aus Holz oder Holzwerkstoffen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2006 (Bauforschung für die Praxis; 75)
- [90] Künzel, H.: Zur Frage des Zuschlags auf Messwerte der Wärmeleitfähigkeit zur Ermittlung des Wärmeschutzes von Baukonstruktionen. wksb 30(1985), Sondernr., S. 50–53
- [91] Bedfort, Th.: Basic Principles of Ventilating and Heating. London, 1948
- [92] Künzel, H.: Bauphysik und Raumklima – Entwicklungen in der Vergangenheit. wksb 51(2006), Nr.57, S. 3–8
- [93] Grünzweig und Hartmann AG (Hrsg.); Sautter, L.: Bauen mit Vollwärmeschutz. 1962
- [94] Eicke-Hennig, W.: Kleine Geschichte der Dämmstoffe. wksb 56(2011), Nr.66, S. 6–34
- [95] Künzel, H.: Der Wärmeschutz von Ecken. gi Gesundheits-Ingenieur 82 (1961), Nr. 10, S. 297–300
- [96] Künzel, H. M.: Raumlufteuchte in Wohngebäuden – Randbedingungen für die Feuchteschutzbeurteilung. wksb 51 (2006), Nr. 56, S. 31–41
- [97] Pettenkofer, M. von: Über den Luftwechsel in Wohngebäuden. München: Cotta'sche Buchhandlung, 1858
- [98] Künzel, H.: Der lange Weg zur richtigen Fensterlüftung. Der Bausachverständige 8(2012), Nr.5, S. 30–33
- [99] Künzel, H.: Richtige Fensterlüftung. Der Bausachverständige 7(2011), Nr.5, S. 17–21

- [100] Künzel, H.: Richtiges Heizen und Lüften in Wohnungen. 5., überarb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2012
- [101] Künzel, H.: Warum es heute in vielen Wohnungen schimmelt. Der Bausachverständige 5(2009), Nr.5, S. 31–34
- [102] Künzel: H.: Algenbewuchs an Fassaden: Eine Folge reiner Luft! Arconis 5(2000), Nr.3, S. 20–22
- [103] Faber, A.: Entwicklungsstufen der häuslichen Heizung. München: R. Oldenbourg, 1957
- [104] Stern, B.: Meine Jugenderinnerungen. Stuttgart: W. Kohlhammer Verlag, 1968
- [105] Künzel, H.: Lehm: Ersatzbaustoff in Notzeiten oder ernstzunehmende Technologie? Arconis 1(1996), Nr.2, S. 2–4
- [106] Künzel, H.: Das Märchen vom Lehm. Deutsche Bauzeitung db 134(2001), Nr.9, S. 106–112
- [107] Künzel, H.: Das Feuchteverhalten von zweischaligem Mauerwerk und von Wänden mit vorgehängten Verkleidungsplatten. Technisch-Wetenschappelijk Tijdschrift 32(1963), Nr. 6
- [108] Scheffler M.: Technische Standards – Wegweisung oder Irrgarten? Der Bausachverständige 5(2009), Nr.5, S. 35–37
- [109] Fitz, C.; Krus, M.: Normenwirrwarr bei der Bestimmung von feuchtetechnischen Materialkennwerten. IBP-Mitteilung 441, 2004
- [110] Eschenfelder, D.: Vortrag beim IBK-Seminar am 16. April 1986 und anderen Veranstaltungen
- [111] Gösele, K.; Schüle, W.: Schall – Wärme – Feuchte. Wiesbaden/ Berlin: Bauverlag: 1965 (Erstauflage), bis 1997 neun weitere Auflagen
- [112] Cords-Parchim, W.: Technische Bauhygiene. Leipzig: Teubner Verlagsgesellschaft, 1953
- [113] Eichler, F.: Bauphysikalische Entwurfslehre (3 Bände). Berlin: VEB Verlag, Bd. 1 und 2 1967, Bd. 3 1970. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen
- [114] Hochschullehrer-Memorandum – Die Bauphysik muss fester Bestandteil der Architekten- und Bauingenieurausbildung werden. Bauphysik 2(1980), Nr. 4., S. 137–143

- [115] Künzel, H.: Entwicklungsgeschichte des zweischaligen Mauerwerks und die neue DIN 1053-12. *Bauphysik* 31 (2009), Nr. 4, S. 253–258
- [116] Künzel, H.: Keine Probleme bei zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung. *Baumarkt* 89 (1990), Nr. 9, S. 631–633
- [117] Künzel, H.; Großkinsky, Th.: Nicht belüftet, voll gedämmt – die beste Lösung für das Satteldach. *Das Dachdeckerhandwerk* 24 (1989), S. 24–30
- [118] Künzel, H.: Warum ein wärmegedämmtes Satteldach nicht belüftet werden sollte. *Baumarkt* 91 (1992), Nr. 7, S. 536–543
- [119] Künzel, H.: Dachdeckung und Dachbelüftung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 1996
- [120] Altaha, N.; Seim, W.: Eurocode 6 – Kommentar und Anwendungshilfen: DIN EN 1996-2NA: Nationaler Anhang. In: Läger, W.: Mauerwerk-Kalender 2012. Berlin: Ernst & Sohn, 2012

Bautraditionen auf dem Prüfstand

Die Entwicklung der Bauphysik im Spannungsfeld zwischen Tradition und Forschung

Heute gültige Regeln und Vorschriften in der Bauphysik gehen vielfach auf handwerkliche Traditionen und praktische Erfahrungen zurück. Erst ab etwa Mitte des 20. Jahrhunderts wurden wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt, die zu Bestätigungen oder auch zu Korrekturen der Festlegungen geführt haben. Auch Entwicklungen in den baulichen Ausführungen und technischen Anforderungen können Änderungen überkommener Regeln erfordern.

So war etwa die Belüftung von Hohlwänden ursprünglich eine vorübergehende Maßnahme zur Beschleunigung der Bauaustrocknung, wurde aber später als ein unverzichtbares Attribut zweischaligen Mauerwerks betrachtet. Der Außenputz diente zunächst nur als äußerer Abschluss des Mauerwerks, heute werden ihm weitere Funktionen wie Regenschutz, Dämmen und Sanieren übertragen.

Manches Wissen geriet im Laufe der Zeit auch in Vergessenheit, etwa der Begriff »Steinfraß«, der richtigerweise auf organische Verunreinigungen des Erdreichs zurückgeführt worden ist. Dagegen findet man z.B. den Begriff »aufsteigende Feuchte« bei Grundmauern in der Literatur vor dem Zweiten Weltkrieg überhaupt nicht.

Das Buch gibt einen Überblick über den Wandel der Handwerkstechnik und der Ansprüche an gesundes Wohnen und, quasi als Konsequenz daraus, die Entwicklung der Bauphysik. Es liefert nicht nur Hintergrundwissen für Fachleute vom Bau, sondern kann für jeden von Interesse sein, der sich über die Entwicklung der Bau- und Wohnkultur in unserem Land informieren will.

Dr.-Ing. Helmut Künzel ist ein in der Fachwelt anerkannter Bauphysiker. Als Leiter der Freilandversuchsstelle Holzkirchen des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP von 1952 bis 1991 konnte er die neuere Entwicklung der Bauphysik unmittelbar verfolgen und mitgestalten. Seine Erfahrungen auf dem Gebiet des baulichen Wärme- und Feuchteschutzes hat er in einer Vielzahl von Fachaufsätzen und Fachbüchern weitergegeben. Der Autor versteht es, komplizierte physikalische Sachverhalte leicht verständlich darzustellen.

