[Aus dem Hygienischen Institut der Universität Berlin.]
(Direktor: Geheimrat Prof. Dr. C. Flügge.)

Hygienische Untersuchungen über neuere Baustoffe und Ersatzbauweisen für Kleinhäuser.

Von

Professor **Korff-Petersen**,
Abteilungsvorsteher am Institut.

Die zur Lösung der Siedelungs- und Kleinhausfrage unbedingt nötige Wiederaufnahme der Bautätigkeit wird, außer durch die Steigerung aller Preise und Löhne, vor allem durch den fast völligen Mangel an Baustoffen aufs äußerste erschwert. Der immer größer werdende Kohlenmangel hat den Betrieb von Ziegeleien lahmgelegt und die Herstellung von Zement und Kalk sehr erschwert; die überall herrschende Wohnungsnot erfordert aber unbedingt möglichst baldige Abhilfe, die vornehmlich in der Herstellung von Kleinhäusern zu geschehen hat, da das Großmietshaus, das die Bewohner von der freien Natur abschließt, auch bei an sich einwandfreier Beschaffenheit den hygienischen Anforderungen nicht genügen kann.¹ Der Bau von Kleinwohnungen hat allerdings zunächst zur Vorbedingung einen auf gesetzgeberischem Wege zu erreichenden angemessenen Bodenpreis, dann aber muß das Bauen auch durch Verbilligung der Bauweisen selbst ermöglicht werden.

Zu dieser Verbilligung des Bauens sollen die neuerdings gewährten Erleichterungen in den Bauvorschriften beitragen. Vor allem aber kommt es auf die Verwendung möglichst preiswerter und dabei hygienisch einwandfreier Baustoffe an, und eine genauere Prüfung, ob die Baustoffe, die wegen ihrer Billigkeit und leichten Herstellbarkeit jetzt besonders empfohlen werden, auch den hygienischen Forderungen entsprechen, erscheint von immer größerer Bedeutung, je mehr die Ersatzbauweisen um sich greifen.

¹ Flügge, *Großstadtwohnungen und Kleinhaussiedelungen*.

Vom wirtschaftlichen Standpunkte zu stellende Forderungen.¹

Die erste Anforderung, die jetzt an einen Baustoff gestellt wird, ist die des billigen Preises. Mit der Billigkeit sind die vom volkswirtschaftlichen Standpunkte zu stellenden Forderungen aber keineswegs erschöpft. Bei der augenblicklich herrschenden Kohlen- und Verkehrsnot, die voraussichtlich noch lange anhalten werden, wird bei der Auswahl der Baustoffe in erster Linie das Augenmerk darauf zu richten sein, ob bei der Herstellung des betreffenden Baustoffes Kohlen in großer Menge notwendig sind. Das Reichskohlenkommissariat hat wiederholt darauf hingewiesen, daß für die Herstellung von Baustoffen nur ganz geringe Mengen von Kohlen freigegeben werden können. Es wird also der Baustoff zu bevorzugen sein, zu dessen Herstellung gar keine oder nur sehr wenig Kohlen verwendet werden. Vor allem wird man auf den bisher gebräuchlichsten Baustoff, den gebrannten Ziegel, für längere Zeit größtenteils verzichten müssen. Ferner muß überlegt werden, ob die Heranschaffung des Baustoffes an die Baustelle nicht das an und für sich billige Material allzusehr verteuert. Jeder Baustoff wird einen durch die Lage seines Herstellungsortes bedingten geographischen Verwendungsbezirk haben. Die Eisenbahn darf bei Errichtung von Kleinwohnungen als Zubringer von Baustoffen nur in beschränktem Umfange in Anspruch genommen werden. Um die Transportmöglichkeit zu vergrößern, sucht man daher die Baustoffe möglichst leicht zu machen. Meist wird das leichte Material auch den besten Temperaturschutz bieten. Durch unmittelbare Herstellung der Baustoffe am Bauplatz oder in dessen nächster Nähe kann die Transportschwierigkeit weiter verringert werden.

Von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist die Möglichkeit, daß die Baustoffe rasch und möglichst durch ungelernte Arbeiter zusammengefügt werden können. Der Arbeitslohn macht beim Hausbau nach Scheidt² direkt 45 Prozent und indirekt weitere 35 Prozent der Kosten aus. Es muß also versucht werden, hier nach Möglichkeit zu sparen. Dies sucht man zu erreichen, indem man an Stelle vieler kleiner Mauersteine großkörperliche Bauglieder herstellt. Es sind in letzter Zeit eine große Anzahl von Verfahren angegeben worden, die darauf hinzielen, große maschinell hergestellte Bauteile durch ungelernte Arbeiter, womöglich unter Mithilfe des Anzusiedelnden selbst, in kurzer Zeit zusammenzustellen. Die wichtigsten von ihnen werden in einem besonderen Abschnitt später zu besprechen sein.

¹ Siehe hierzu: G. Langen, Jeder sein eigener Baumeister! *Feuilleton-Korresp. Welt u. Wissen*. — A. Wiener, Sparsame Baustoffe. *Zeitschr. f. Wohnungswesen*. 1919. Nr. 2. — Behrens und de Fries, *Vom sparsamen Bauen*. 1908.

² Reichs- u. Preuß. Staatskommissar f. d. Wohnungswesen, *Druckschrift* Nr. 1.

Aus dem Angeführten ergibt sich, daß wir zurzeit die altbewährten Bausteine und Baukonstruktionen für die Kleinsiedelungen nicht oder nur in beschränktem Maße verwenden können. Die Verwendung der Ersatzstoffe darf aber, soweit es sich nicht lediglich um wieder zu beseitigende Notbauten handelt, nicht dazu führen, minderwertige Stoffe und Bauweisen einzuführen. Es wäre falsche Sparsamkeit, wollte man etwa solchen Bauweisen das Wort reden, die zur Herstellung zwar wenig Kosten erfordern, bei denen aber andauernd Reparaturen nötig werden. Derartige Bauten werden nicht nur volkswirtschaftlich, sondern auch hygienisch minderwertig sein, und man wird Wiener (a. a. O.) zustimmen, wenn er außer unmittelbar gesundheitlichen Schädigungen von solchen Wohnungen auch eine seelisch und geistig niederdrückende Wirkung befürchtet. „Der grundlegenden Forderung nach weitgehender Billigkeit muß das Verlangen nach bestmöglicher Qualität beigeordnet werden“ (Behrens, a. a. O.).

Hygienische Anforderungen.

1. Wärmeschutz.

Die erste Anforderung dieser Art ist die eines möglichst guten Verhaltens hinsichtlich der Wärmeökonomie. Die Wohnung soll einen weitgehenden Schutz bieten gegen die Schwankungen der Außentemperatur.

Die Wichtigkeit dieser Forderung für die Winterzeit leuchtet ohne weiteres ein, und in zahlreichen Abhandlungen ist neuerdings darauf hingewiesen worden, daß ein billiges Bauen zwecklos ist, wenn nicht genügend Rücksicht auf guten Wärmeschutz genommen wird. Was nämlich unter diesen Umständen beim Bau des Hauses etwa gespart wird, das geht infolge der nötig werdenden Beheizungskosten wieder verloren. Hier möge aber besonders betont werden, daß der Wärmeschutz für die Sommerzeit nicht weniger bedeutungsvoll ist. Gerade die Kühlhaltung der Wohnräume in der Hitzeperiode ist von großer Wichtigkeit, denn eine kühle Wohnung erhöht im Sommer nicht nur das Wohlbefinden der Bewohner, es kann auch der dauernde Aufenthalt in nicht genügend gegen das Eindringen der Hitze geschützten Wohnungen mittelbar oder unmittelbar zu schweren Gesundheitsschädigungen führen, wofür die erhöhte Sommersterblichkeit der Säuglinge ein Beispiel ist.

Der Temperatúrausgleich durch die Wände hindurch darf sich also nur langsam vollziehen, d. h. die zum Bau der Wände verwandten Stoffe müssen ein möglichst geringes Wärmeleitvermögen haben. Durchweg wird poröses Baumaterial oder die Anordnung von Hohlräumen mit ruhender Luft in den Wänden diese Eigenschaft begünstigen. Es genügt jedoch noch

nicht, daß die Wände diesen Bedingungen entsprechen. Sie müssen vielmehr auch ein gewisses Wärmespeichungsvermögen besitzen. Ist nämlich die in den Wänden während des Heizens an einem Wintertage aufgespeicherte Wärmemenge zu gering, so wird in der Nacht, während die Heizung ruht, eine zu große Auskühlung der Mauern erfolgen, der Wärmeverlust des menschlichen Körpers durch Strahlung an die Wände wird ein zu großer sein und die Behaglichkeit empfindlich stören, wenn nicht die Wohnung mit einer Dauerheizung versehen ist, oder die Temperatur der Raumluft besonders hoch gehalten wird, was aber seinerseits wieder Unannehmlichkeiten im Gefolge haben kann. Während der sommerlichen Hitzeperiode ist ebenfalls ein gewisses Wärmespeichungsvermögen der Wand angezeigt, da sich sonst die Außentemperatur zu schnell der Innenluft mitteilt. Da das Wärmespeichungsvermögen der Stoffe von ihrer Masse abhängig ist, wird man mit der Anordnung von Hohlräumen in den Wänden Maß halten müssen, um die Masse nicht zu gering werden zu lassen. Freilich birgt eine große Wärmekapazität bei länger dauernder Hitze- oder Kälteperiode auch gewisse Nachteile, indem die Wände im ersten Falle sehr langsam auskühlen und im zweiten Falle bei unterbrochener Heizung, mit der in Kleinhäusern zu rechnen ist, zur Durchwärmung lange Zeit und dementsprechend viel Feuerung gebrauchen. Es muß daher durch Berechnungen und Versuche das günstigste Verhältnis von Wärmeleitfähigkeit und -kapazität ermittelt werden, um danach eine möglichst vorteilhafte Kombination von Baustoffen für die Außenmauern vorschlagen zu können.

2. Schutz gegen Feuchtigkeit.

Eine weitere unerläßliche Anforderung ist die der Vermeidung der Wandfeuchtigkeit. Die Feuchtigkeit der Wände kann verschiedene Ursachen haben. Die für Neubauten wichtigste Ursache ist die Aufnahme von Wasser beim Bau des Hauses. Diese wird in folgendem nicht näher in Betracht zu ziehen sein, da stets eine hinreichende Austrocknungsfrist vorgesehen zu sein pflegt, bis das Haus bezogen werden darf, die bei Kleinhäusern verhältnismäßig kurz sein kann. Die später zu besprechenden Eigenschaften der Baustoffe werden allerdings auf die Länge dieser Frist auch von einigem Einfluß sein. Das Aufsteigen des Grundwassers in den Mauern und das Durchdringen der Feuchtigkeit von außen soll nur kurz erwähnt werden. Die erste Ursache der Feuchtigkeit kann durch geeignete Behandlung des Baugrundes und durch Einfügen von Isolierschichten völlig beseitigt werden, und gegen die zweite kann Abhilfe geschaffen werden durch Verputzen oder Verkleiden der Außenwände, besonders an der Wetterseite mit wasserundurchlässigen Stoffen (Verblendsteinen, Schiefer u. a.).

Dagegen ist die wichtigste und häufigste Ursache der Wandfeuchtigkeit Kondensation von Wasser aus übersättigter Innenluft. Daher ist hier besonders zu untersuchen, wie sich die Baustoffe der durch Kondensation entstandenen Feuchtigkeit gegenüber verhalten. Die wichtigste Aufgabe ist es, eine Kondensation von Wasserdampf auf der Innenoberfläche der Wände überhaupt zu vermeiden. Dies wird erreicht, wenn sich diese niemals unter den Taupunkt der Raumluft abkühlt. Die im vorangehenden als günstig für den Wärmeschutz aufgezählten Eigenschaften der Baustoffe werden also auch in dieser Beziehung von Bedeutung sein. Eine besondere Prüfung der Stoffe auf ihre Fähigkeit, Wasser aufzunehmen und festzuhalten, wird aber noch darüber hinaus nötig sein, da unter Umständen eine stärkere Wasserdampfansammlung in den Räumen nicht vermieden werden kann, so daß immer mit gelegentlicher Kondensation von Wasser an den Wänden gerechnet werden muß. Die Art der Poren und auch die chemische Zusammensetzung der Baustoffe sind aber von Einfluß darauf, ob die von den Wänden aus der Luft aufgenommene Feuchtigkeit alsbald durch Verdunstung wieder entfernt werden kann, oder ob sie übermäßig lange festgehalten wird. Stoffe, welche leicht lösliche Salze, wie Chlorkalzium, Kalziumnitrat, Magnesiumsulfat u. a. in größerer Menge enthalten, können die Ursache dauernder Feuchtigkeit werden. Am vorteilhaftesten für die Trockenhaltung der Wände wird ein Material sein, das von außen keine Feuchtigkeit eindringen läßt, aber doch porös genug ist, um bis zu einem gewissen Grade die in den Räumen entstehende und sich an den kälteren Wandpartien kondensierende Luftfeuchtigkeit aufzusaugen, ohne daß sich an der Oberfläche Nässe zeigt. Ferner muß Luft so leicht in die Wände eintreten können, daß sie imstande ist, die angesammelte Feuchtigkeit wieder aufzunehmen.

3. Natürliche Ventilation.

Eine gewisse Luftdurchlässigkeit der Baustoffe wird man schon im Hinblick auf die Verdunstung eingedrungenen Wassers begrüßen können. Früher hat man auf diese Luftdurchlässigkeit noch besonders Gewicht gelegt, weil man annahm, daß sie von großer Bedeutung für die Lüfterneuerung der Räume wäre, und in neuester Zeit taucht diese Ansicht in verstärktem Maße wieder auf. Im folgenden wird gezeigt werden, daß bei den meist gebräuchlichen Baustoffen die Durchgängigkeit so gering ist, daß sie unter keinen Umständen für die Ventilation der Räume in Betracht kommen kann. Nur bei den sog. rheinischen Schwemmsteinen ist sie so groß, daß sie einer besonderen Besprechung bedarf. Im allgemeinen wird man von der „natürlichen Ventilation“ absehen und eine geeignete, leicht

zu handhabende Lüftungseinrichtung einbauen müssen. Die „natürliche Ventilation“ durch zufällige Ritzen und Spalten wird im Sommer, wo ein größerer Luftwechsel erwünscht ist, wegen des Fehlens eines als Triebkraft wirkenden Temperaturunterschiedes zwischen Innen- und Außenluft versagen. Im Winter dagegen besteht die Gefahr, daß unkontrollierbarer Zug auftritt. Man wird daher besser eine derartige Möglichkeit des Luftaustausches zu vermeiden suchen.

Über die bisher besprochenen Eigenschaften der Baustoffe liegen bereits eine größere Zahl von Untersuchungen vor, und es war meine Aufgabe, diese verstreuten Untersuchungen zu sammeln und kritisch zu ordnen. In vielen Fällen waren neue Experimente und Berechnungen nötig, um festzustellen, ob die in jüngster Zeit auf den Markt gebrachten Baustoffe und Bauweisen den an sie zu stellenden Anforderungen genügen, und nach Möglichkeit unter Berücksichtigung auch der wirtschaftlichen Bedingungen die geeignetsten auszusuchen. Als abgeschlossen können diese Untersuchungen noch nicht gelten. Nach mancher Richtung sind noch weitere Versuche nötig. Die bisher erzielten Ergebnisse können aber doch schon zur Klärung einiger Fragen beitragen und vielleicht auch in einigen Punkten auf andere Untersucher anregend wirken.

Verhalten der Baustoffe hinsichtlich Wärmeleitfähigkeit, Wärmespeicherung, Bestrahlung.

1. Wärmeübertragung.

Eingehende Untersuchungen über die Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen sind neuerdings im Laboratorium für technische Physik der technischen Hochschule in München unter Leitung von Professor Knoblauch angestellt und in einer Reihe von Veröffentlichungen¹ niedergelegt worden. Ferner ist seit kurzem in München ein besonderes „Forschungsheim für Wärmewirtschaft“ begründet, das ebenfalls vorzugsweise in dieser Richtung arbeitet, und dessen Leiter Herr Dr. Ing. K. Hencky, mich bei diesem

¹ Knoblauch, Die Gesetze der Wärmeübertragung. *Handwörterbuch der Naturwissenschaften*. 1913. — Derselbe, Die wissenschaftliche Grundlage des Wärmeschutzes. *Bayerisches Industrie- und Gewerbeblatt*. 1919. Nr. 7/8. — Hencky, Der Wärmeschutz von Gebäuden. *Ebenda*. — Nüsselt, Die Wärmeleitfähigkeit von Isoliermitteln. *Forschungsheft des Vereins deutscher Ingenieure*. 1909. S. 63/64. — Gröber, Wärmeleitfähigkeit von Isolier- und Baustoffen. *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*. 1910. S. 1319. — Pönsgen, Ein technisches Verfahren zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit. *Ebenda*. 1912. S. 1653. — van Rinsum, *Ebenda*. 1918. S. 601.

Abschnitt meiner Arbeit vielfach mit seinem Rat unterstützt hat, wofür ich ihm auch an dieser Stelle verbindlichst danken möchte. Die den nachfolgenden Tabellen zugrunde gelegten Zahlen sind, soweit sie nicht von mir selbst bestimmt wurden, größtenteils den Arbeiten dieser Institute entnommen, da die im Leitfaden zur Berechnung an Heizungs- und Lüftungsanlagen von Rietschel und in den Normalien des Verbandes Deutscher Zentralheizungsindustrieller enthaltenen Zahlen nach Henckys Angaben nicht als vollkommen zuverlässig gelten können. Zur Erläuterung möge einiges über die Begriffe „Wärmedurchgang“, „Wärmeleitzahl“ und „Wärmeübergangszahl“ vorausgeschickt werden.

Der Wärmedurchgang, d. h. diejenige Wärmemenge, welche durch eine gegebene Wand hindurchgeht, wenn die Luft an beiden Seiten bestimmte Temperaturen t_i und t_a hat, wird nach der Formel bestimmt:

$$Q = k Z F \cdot (t_i - t_a). \quad (1)$$

Hierin bedeutet Q die gesuchte Wärmemenge, F die Oberfläche der Wand in qm, Z die Beobachtungszeit und k die sog. Wärmedurchgangszahl, die berechnet wird nach der Formel:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_a}} \quad (2)$$

α_i und α_a bedeuten hier die Wärmeübergangszahlen innen und außen, d. h. die Wärmemenge, die in 1 Stunde von 1 qm der inneren bzw. äußeren Wandoberfläche an die Luft der Umgebung abgegeben bzw. aus ihr aufgenommen wird, wenn zwischen der Oberfläche der Wand und der Luft 1° C Temperaturdifferenz besteht. Nach Knoblauch sind die Werte für α

$$\left. \begin{array}{ll} \text{an vertikaler Wand (innen)} & \dots = 5 \\ \text{an vertikaler Wand (außen)} & \dots = 10 \\ \text{an der Decke (Unterseite)} & \dots = 4 \\ \text{am Fußboden} & \dots = 6 \end{array} \right\} \quad (3)$$

δ_1, δ_2 sind die Dicken der die Wand zusammensetzenden Stoffe in Meter, λ_1, λ_2 die entsprechenden Wärmeleitzahlen. Die Wärmeleitzahl ist die stündlich durch 1 qm Fläche eines Stoffes zu einer anderen im Abstände von 1 m übertretende Wärmemenge bei 1° C Temperaturunterschied beider Flächen. Diese Wärmemenge nimmt mit der Temperatur des Stoffes zu. Zwischen 0° und 100° beträgt diese Zunahme $\frac{1}{273}$ ihres Wertes bei 0° für 1° C.

Nach Hencky¹ wird der Wärmedurchgang wegen der Unsicherheit der Bestimmung von α statt nach Formel (1) besser berechnet nach der Formel:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot Z F (t_1 - t_2), \quad (4)$$

¹ Ges. Ing. 1918. Nr. 10.

worin t_1 und t_2 wiederum die Oberflächentemperaturen der Wände außen bzw. innen bedeutet. Zur Messung von t_1 und t_2 sind Quecksilberthermometer nicht brauchbar. Henicky gibt ein besonderes thermoelektrisches Meßverfahren an, das die Fehler der Quecksilberthermometer vermeidet.

Die bisher angeführten Formeln beziehen sich auf Vollwände ohne Einschluß von Luftschichten. Sind derartige Luftschichten vorhanden, so gestaltet sich die Berechnung des Wärmedurchganges verwickelter, weil dann außer Wärmeübergang und Leitung auch die Wärmestrahlung in Betracht zu ziehen ist. In solchen Fällen findet nachstehende Formel Anwendung, wobei Voraussetzung ist, daß es sich nicht um zu große Temperaturdifferenzen und um Temperaturen handelt, die nicht sehr weit von der Zimmertemperatur abweichen¹:

$$Q = \frac{F \cdot Z(t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \sum \frac{1}{\frac{K'}{a} + C'} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (5)$$

Die einzelnen Größen sind dieselben, wie in Formel (1); nur tritt in dieser die Summe $\sum \frac{1}{\frac{K'}{a} + C'}$ auf, worin K' die Wärmeübertragung infolge

von Leitung und Strömung durch ein gasförmiges Medium ausdrückt, das zwischen zwei festen im Strahlenaustausch stehenden Körpern eingeschlossen ist. Nach Nüsselt nähert sich K' bei sehr engen Luftschichten ziemlich weitgehend der Wärmeleitzahl der Luft, 0.02. Bei weiteren Luftschichten ist es größer, bei etwa 1.5 cm = 0.035, bei 4 bis 14 cm = 0.07. a ist der Abstand der die Luftschicht begrenzenden Wände und C' eine Konstante, die mit ihrem beiderseitigen Strahlungsvermögen zusammenhängt und in dem Abschnitt über Wärmestrahlung eingehender besprochen wird.

In der nachstehenden Tabelle sind nach den Veröffentlichungen von Nüsselt und Poensgen sowie nach Gutachten des Laboratoriums für technische Physik in München die Wärmeleitzahlen für die gebräuchlichsten Baustoffe sowie für eine Reihe von Füll- und Wärmeisolistoffen bei einer Temperatur von 20° zusammengestellt.

Tabelle 1.

Rhein. Schwemmstein	$\lambda = 0.13$	Ziegelmauerwerk	$\lambda = 0.35$
Asbestschiefer	0.19	Lehmpatzen	0.38
Hochofenschlackenbeton	0.19	Kalksandstein	0.58—0.8
Hohlziegelmauerwerk	0.28	Beton 1:4 (trocken)	0.65
Münchener Handziegel	0.34	Beton 1:12 (frisch)	0.70
Maschinenziegel	0.45	Verputz	0.68

¹ Nüsselt, *Forschungsheft d. Ver. deutscher Ing.* 63/64. Zitiert nach Knoblauch, *Handwörterbuch der Naturwissenschaften*. S. 469.

Luft $\lambda = 0.02$.			
Korkmehl	$\lambda = 0.036$	Korkplatten	$\lambda = 0.34—0.057$
Blätterholzkohle	0.05	Platten aus gebundener	
		Blätterholzkohle	0.048
Sägemehl	0.05	Kieselgurstein	0.058—0.075
Torfmull	0.055—0.07	Korkmentlinoleum	0.069
Kieselgur	0.052	Torfoleumsteine	0.144
Hochofenschaumschlacke	0.09	Linoleum	0.16
Koksschlacke	0.13	Gipsplatten m. Korkstücken	0.25
Asbest	0.14	Baugips	0.37
Rhein. Bims Kies	0.08—0.14	Kies	0.32

Kiefernholz senkrecht zur Faser	$\lambda = 0.13$
Kiefernholz parallel zur Faser	0.30
Teakholz senkrecht zur Faser	0.15
Leakholz parallel zur Faser	0.32
Eichenholz senkrecht zur Faser	0.15
Eichenholz parallel zur Faser	0.31

Die günstigsten Verhältnisse hinsichtlich der Wärmeleitfähigkeit zeigt also von festen Baustoffen der rheinische Schwemmstein, die ungünstigsten der Beton. Patzen aus ungebranntem Lehm haben etwa dieselbe Leitfähigkeit wie gebrannte Ziegel. Die Wärmeleitfähigkeit des künstlichen Kalksandsteins schwankt bei den verschiedenen Fabriken stark. Je fester die Steine sind, desto weniger Luft schließen sie ein und desto höher ist dementsprechend ihre Leitfähigkeit. Auf die Größe des Wärmedurchganges durch Mauerwerk verschiedener Herstellungsart, bei der die Leitfähigkeit eine wesentliche Rolle spielt, wird später eingegangen werden. Zunächst mögen Angaben über das sonstige Verhalten der einzelnen Baustoffe der Wärme gegenüber folgen.

2. Wärmespeicherung.

Wie bereits erwähnt, ist es wünschenswert, daß die Umfassungswände eines Wohnraumes ein gewisses Wärmespeichungsvermögen besitzen, da hierdurch eine größere Stetigkeit der Lufttemperatur gewährleistet und eine zu starke Abkühlung der Wände vermieden wird. Dies ist auch zur Vermeidung von Schwitzwasserbildung von nicht geringer Bedeutung. In der einschlägigen Literatur ist diese Eigenschaft der Baustoffe bisher erheblich weniger als ihre Wärmeleitfähigkeit berücksichtigt worden, und doch dürfte ihr besonders bei Kleinhausbauten eine nicht geringe Bedeutung beizumessen sein. Infolge der verhältnismäßig großen Ausdehnung der Außenwände bei Kleinhäusern ist ihre Wärmeökonomie, verglichen mit der großer Mietshäuser, verhältnismäßig schlecht. Eine gewisse Wärmehaltung wird also gerade bei derartigen Bauten äußerst wichtig sein. In

letzter Zeit wird allerdings gelegentlich auf die Bedeutung des Wärmespeichungsvermögens aufmerksam gemacht, so betont Marks¹ den Wert des Wärmespeichers für das Wohlbefinden der Raumbewohner. Es ist aber zu berücksichtigen, daß ein (bisher nicht genauer bekannter) Teil der in den Wänden aufgespeicherten Wärme nicht wieder dem Wohnraume zugute kommt, sondern infolge des größeren Temperaturgefälles nach außen zu verloren geht. Ferner ist zu berücksichtigen, daß für solche Räume, die nur zeitweilig benutzt werden, aber schnell anheizbar sein sollen, ein großes Wärmespeichungsvermögen nicht angezeigt ist. Nußbaum², der ebenfalls auf die Bedeutung der Wärmespeicherung hinweist, schlägt eine Bauart der Wände vor, bei der der äußere Teil vorwiegend als schlechter Wärmeleiter und der innere als Wärmespeicher ausgebildet wird, eine Anordnung, die unter Umständen vielleicht zweckmäßig sein kann.

Trotzdem über die spezifische Wärme der Baustoffe, auf der ihr Wärmespeichungsvermögen beruht, weniger Angaben als über die Leitfähigkeit vorliegen, ließen sich doch für die hauptsächlichsten Baustoffe die Zahlen zusammenstellen. In einigen Fällen waren noch Feststellungen nötig, die von mir in den Räumen und mit den Einrichtungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg ausgeführt wurden. Dem Herrn Präsidenten der Anstalt, sowie den Herren Geheimrat Scheel und Professor Henning gestatte ich mir, auch an dieser Stelle meinen ergebensten Dank für ihre liebenswürdige Unterstützung bei diesen Arbeiten auszusprechen. Die Bestimmungen geschahen in der Weise, daß eine bestimmte Menge der zu untersuchenden Substanz in ein dünnwandiges Messinggefäß, dessen Wasserwert festgestellt war, eingelötet und auf 100° erhitzt wurde. Dann wurde dies erhitzte Gefäß in ein teilweise mit Wasser gefülltes und mit einem Rührer versehenes Dewargefäß, dessen Wasserwert ebenfalls festgestellt war, eingetaucht. Aus dem Temperaturanstieg wurde die spezifische Wärme berechnet. Die Stoffe wurden in lufttrockenem Zustande untersucht.

In der nachstehenden Tabelle 2 ist in Spalte 3 die Wärmemenge in Kg-Kalorien (WE) angegeben, die nötig ist, um 1 kg des betreffenden Stoffes um 1° C zu erwärmen. In Spalte 5 findet sich die Wärmemenge (WE), die bei der Erwärmung eines Kubikmeters des betreffenden Stoffes um 1° C aufgespeichert wird.

¹ *Ges. Ing.* 1918. Nr. 45.

² *Hygiene des Wohnhauses.*

Tabelle 2.

1	2	3	4	5
Baustoffe	Autor	Spez. Wärme WE/kg	Raumgewicht kg/cbm	Wärmespeicherung WE/cbm
Ziegel (Handarbeit) . . .	C. Lang ¹	0.241	1545	370.2
Ziegel (Maschinenarbeit) .	„	0.316	1670	528.4
Ziegel	Kinoschita ²	0.177	1643	291
Kalksandstein	„	0.202	2072	429
Beton { fein.	„	0.210	2135	448
{ grob	„	0.213	2200	469
Rhein. Schwemmstein . .	Korff-Petersen	0.279	630	175
Lehm	Korff-Petersen	0.234	{ 1049* 1670*	{ 240 390
Kieselgur	Kinoschita	0.212	357	75.8
Bimskies	Korff-Petersen	0.279	303—441	84—122
Koks	„	0.201	466—642	93.5—129
Schlacke	„	0.188	1022—1419	196—267
Holzwohle	(Hütte)	0.65	66.5—158.5	43.2—103
Torfmuß	Korff-Petersen	0.530	127—231	67.5—122
Kies	—	(0.2)	1520—2058	349—432
Sägemehl	—	0.65	215	140

Die Wärmespeicherung von Ziegel und Kalksandstein ist recht beträchtlich. Es können also Mauern aus diesen Stoffen recht große Wärmemengen ansammeln. Noch größer ist die Wärmespeicherung bei Beton bezogen auf den Kubikmeter. Da aber Betonwände meist nur eine geringe Dicke zu haben pflegen, so werden sie trotzdem nicht viel Wärme in sich aufnehmen. Ebenso ist die Möglichkeit, in Wänden aus rheinischen Schwemmsteinen Wärme zu speichern, sehr gering, und es erscheint fraglich, ob bei derartigen Wänden nicht schon die Gefahr zu weit gehender Auskühlung in kalten Winternächten besteht. Dagegen kommt die Wärmespeicherung in Lehmwänden der in Ziegelmauern fast gleich.

Bei den Füllstoffen kann man — was bisher ganz übersehen ist — das Wärmespeichungsvermögen in gewissen Grenzen abändern, je nachdem man Material von gleicher Korngröße oder Gemische verschiedener Größen verwendet. Bei Verwendung von Material, dessen einzelne Körner gleichgroß sind, schwankt das Raumgewicht nur wenig, ob nun die Körner

¹ Zeitschr. d. bayr. Architekten u. Ing.-Vereins. 1873.

² Ges. Ing. 1916. Nr. 47.

* Die obere Zahl bezieht sich auf Lehm, der in lufttrockenem Zustande festgestampft wurde, die untere auf Lehmpatzen, die aus einem Gemisch von Lehm und Sand 1:1 in feuchtem Zustande hergestellt und dann getrocknet wurden.

einen großen oder kleinen Durchmesser haben. Nur bei großen, sehr unregelmäßig gestalteten Stücken (s. Schlacke), die sich schlecht aneinander lagern, wird das Raumgewicht bei Zunahme der Korngröße erheblich kleiner und das Volum der eingeschlossenen Luft entsprechend größer. Dagegen wird das Raumgewicht erheblich größer, wenn die zwischen den einzelnen großen Körnern befindlichen Poren durch kleinere Körner ausgefüllt werden. In nachstehender Tabelle sind die Raumgewichte und das Porenvolum einiger Füllstoffe bei Verwendung verschiedener Korngröße und bei Mischungen zusammengestellt.

Tabelle 3.

Kies			Koks		
Korngröße cm	Raum- gewicht kg/cbm	Poren- volum Prozent	Korngröße cm	Raum- gewicht kg/cbm	Poren- volum Prozent
1. > 0.7	1520	43.5	1. > 0.7—1.0	500.5	65.7
2. 0.4—0.7	1520	43.5	2. 0.4—0.7	506.6	65.3
3. 0.2—0.4	1549	41.5	3. 0.2—0.4	520.8	64.3
4. Sand < 0.1	1679	35.5	4. 0.1—0.2	—	—
Gemisch 1—3	1609	38.0	5. Nußgroß	465.7	68.1
„ 1—4	2058	21.8	Gemisch 1—3	537	63.2
			„ 1—5	642	56.0

(Fortsetzung.)

Schlacke			Bims Kies		
Korngröße cm	Raum- gewicht kg/cbm	Poren- volum Prozent	Korngröße cm	Raum- gewicht kg/cbm	Poren- volum Prozent
1. > 0.7—2.0	1022	62.9	Erbsen- bis hasel- nußgroß	303	84.8
2. 0.2—0.4	1076.5	61.7		325	83.7
3. 0.1—0.2	1132	58.6	Gemisch aus beiden	441	77.9
Gemisch 1—3	1419	49.0			
Faustgroß . .	655	76.8			
Porenvolum des einzelnen Schlacken- stückes 39 bis 43 Prozent					

Bei Mischung verschiedener Korngrößen läßt sich also das Raumgewicht und damit das Wärmespeichungsvermögen erheblich steigern. Die Steigerung ist prozentual größer bei solchen Stoffen, deren einzelne Körner nicht porös sind, als bei solchen, deren einzelne Körner noch ihrerseits Poren einschließen.

Inwieweit die verschiedenen Korngrößen auf die Wärmeleitfähigkeit von Einfluß sind, ist noch nicht genügend geklärt. Der Liebenswürdigkeit des Herrn Dr. Ing. Hencky verdanke ich nachstehende Zahlen:

1. Korkschröt: Korngröße 1 bis 2 mm, Raumgewicht 47·6 kg/cbm, Wärmeleitzahl 0·029. — Korngröße 3 bis 5 mm, Raumgewicht 45·4, λ 0·033.

2. Hochofenschauenschlacke: Korngröße 2 bis 5 mm, Raumgewicht 360 kg/cbm, Wärmeleitzahl 0·095. — Korngröße 30 mm, Raumgewicht 360 kg/cbm, Wärmeleitzahl 0·131. — Mischung aus beiden, Raumgewicht 304 kg/cbm, Wärmeleitzahl 0·114.

Danach scheint es, als ob eine kleine Korngröße, bei der also Luft und feste Substanz möglichst häufig wechseln, die kleinsten, im hygienischen Sinne also günstigsten Leitzahlen ergäben. Herr Dr. Hencky hat sich liebenswürdigerweise bereit erklärt, weitere Untersuchungen in dieser Richtung anzustellen.

Bei Torfmull läßt sich durch mehr oder weniger starkes Zusammen-drücken das Raumgewicht in weitesten Grenzen verändern. Das gleiche gilt von Holzwolle.

Bei allen Füllmaterialien ist das Wärmespeichungsvermögen, verglichen mit den festen Baustoffen, gering. Nur Schlacke kommt ihnen einigermaßen nahe. Durch Ausfüllen von Mauerhohlräumen mit Füllmaterial ist also meist nur ein verhältnismäßig kleiner Wärmespeicher zu erzielen, der aber doch schon von nicht zu unterschätzendem Einfluß auf die Wärmeökonomie sein kann. Bei Verwendung eines Gemisches hochporöser Füllstoffe mit Kies und Sand ließen sich allerdings Wärmespeicher in fast jeder gewünschten Abstufung herstellen, wobei aber darauf Bedacht genommen werden muß, daß hierdurch die Wärmeleitfähigkeit nicht wieder zu sehr erhöht wird.

3. Wärmestrahlung.

Für die Aufnahme bzw. Abgabe von Wärme durch die Baustoffe kommt schließlich noch die Wärmestrahlung in Betracht. Sie spielt eine nicht zu unterschätzende Rolle bei der Bestrahlung der Wände durch die Sonne im Sommer, wo sich besonnte Wände sehr stark erhitzen können. Ein Wärmeverlust des Hauses durch abgestrahlte Wärme kommt besonders in klaren Frosträchten in Frage. Auch für das Wohlbefinden der Bewohner ist das Strahlungsvermögen der Wände von großer Bedeutung. In allseitig geschlossenen Räumen findet die Wärmeregulierung des Körpers zu einem beträchtlichen Teile durch die dunkle Wärmestrahlung statt. Es ist also wünschenswert, daß im Sommer der Körper möglichst ungehindert Wärme durch Strahlung an kühlere Wände abgeben kann, während im Winter

ein möglichst geringer Wärmeverlust des Körpers durch Strahlung an die Wände zu erstreben ist. Wir müssen also danach trachten, die Temperatur der Wände im Sommer durch Bekleidung mit glatten, hellfarbigen Steinen, bzw. Anstrich mit Kalkmilch, Berankung mit Schlinggewächsen oder dergl. herabzusetzen. Um andererseits eine zu starke Abstrahlung von Körperwärme an die Wände zu verhüten, darf die Innenoberfläche der Mauern im Winter zu Nachtzeit nicht zu stark abgekühlt werden, was ebenfalls durch eine gewisse Wärmekapazität verhütet werden kann.

Schließlich ist das Strahlungsvermögen der Stoffe für den Wärmedurchgang durch Wände mit Hohlschichten von Bedeutung. Nach Nüsselts Versuchen, die allerdings bei verhältnismäßig hohen Temperaturen vorgenommen wurden, war der durch Strahlung verursachte Wärmeverlust in einem Luftmantel dem durch Leitung und Konvektion gegenüber sehr groß. Die in Formel (5), Seite 490, vorkommende Größe C' hängt, wie dort bereits erwähnt, von dem Strahlungsvermögen der beiden sich gegenüberstehenden Oberflächen ab, und zwar ist $C' = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C}}$, worin C_1 und C_2 die

Strahlungszahlen der betreffenden Stoffe und C die eines absolut schwarzen Körpers sind. Die Größe der Strahlungszahlen ist abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit und der Farbe des Materials. Glatte oder glasierte hellfarbige Baustoffe setzen die Wirkung der Bestrahlung erheblich herab, während rauhe und dunklere, wie z. B. Handziegel, durch Strahlung stark erhitzt werden. Die Größe C ist bisher nur für verhältnismäßig wenige künstliche Baustoffe bestimmt, während sie für eine Anzahl natürlicher Gesteinsarten bekannt ist.

Aus der „Hütte“¹ sind folgende, für die vorliegende Frage in Betracht kommende Zahlen entnommen:

Absolut schwarzer Körper C .	= 4.76
Glas	= 4.4
Kalkinörtel	= 4.3
Lehm	= 1.85

Die Feststellung dieser Konstanten für einige weitere Baustoffe wäre sehr erwünscht und wird in die Wege geleitet.

4. Verhalten gegen Wasser.

Das Verhalten der Baumaterialien gegenüber dem Eindringen von Wasser und ihr Vermögen, dieses festzuhalten, ist für die Trockenhaltung

¹ Hütte, *Des Ingenieurs Taschenbuch*. Berlin 1915.

und das mehr oder weniger rasche Austrocknen der Wohnungen ausschlaggebend. Die wichtigsten für den Kleinhausbau in Betracht kommenden Baumaterialien sind nach dieser Richtung hin vergleichend von mir untersucht worden. Verglichen wurden: Handgefertigte Ziegel, Kalksandstein, Zementstein (hergestellt aus 1 Teil Zement, 4 Teile Sand), ungebrannter Lehmstein (Lehm und Sand zu gleichen Teilen) und rheinischer Schwemmstein. Dieser letzte ist so durchlässig, daß Wasser durch ihn wie durch ein Sieb hindurchläuft. Vergleicht man dagegen die Steighöhe des in ihm in der Zeiteinheit kapillär gehobenen Wassers mit der bei den übrigen Baustoffen, so zeigt sich kein großer Unterschied. In $\frac{1}{2}$ Stunde wurde das Wasser im Schwemmstein 6 cm hoch gehoben, während es im Ziegel 8 bzw. 6 cm, im Kalksandstein 4 cm, im Zementstein $6\frac{1}{2}$ cm und im ungebrannten Lehmstein $5\frac{1}{2}$ cm hoch stieg. Die meisten Poren des Schwemmsteins sind eben so groß, daß sie nicht mehr kapillär wirken. Bei einem zweiten Versuch ergaben sich folgende Zahlen:

	Steighöhe in Zentimeter nach:			
	$\frac{1}{4}$ Std.	$\frac{1}{2}$ Std.	$\frac{3}{4}$ Std.	$4\frac{1}{2}$ Std.
Kalksandstein . .	1.4	1.7	2.2	4.0
Zementstein . . .	6.0	8.0	10.0	völlig durchtränkt
Schwemmstein . .	4.5	5.5	6.5	12.0
Ziegel gelb . . .	9.0	13.0	16.0	völlig durchtränkt

Je nach der Herkunft der Baustoffe zeigen sie also eine beträchtliche Verschiedenheit. In früherer Zeit hat man der Eigenschaft der Baustoffe, Wasser in sich fortzuleiten, großes Gewicht beigelegt, da man annahm, daß die in den Wohnungen etwa auftretende Feuchtigkeit im wesentlichen aus dem Boden gehobenes Grundwasser oder von außen nach innen durchgedrungenes Niederschlagswasser sei. Wir können uns aber jetzt gegen diese beiden Arten der Feuchtigkeit leicht schützen und wissen, daß das Feuchtwerden der Wohnungen meistens auf Kondensation von im Raume entstandenem Wasserdampf auf den Wänden beruht. Wenn wir nun auch in erster Linie unser Augenmerk darauf zu richten haben, daß eine solche Kondensation möglichst vermieden wird, daß also einerseits keine übermäßige Dampferzeugung stattfindet, bzw. durch gehörige Lüftung gleich beseitigt wird, und andererseits die Wände nicht unter den Taupunkt der Raumluft ausgekühlt werden, so müssen wir doch von den Baustoffen verlangen, daß sie imstande sind, einen trotzdem entstehenden Feuchtigkeitsniederschlag in sich aufzunehmen, ohne daß es zur Bildung von Wassertropfen

kommt. Die geprüften Baustoffe erwiesen sich alle als hinreichend wasser-aufnahmefähig, um dies zu gewährleisten. Geprüft wurde einmal in der Weise, daß mit einem Sprühapparat je 5 ccm Wasser in feinen Tröpfchen auf die Steine aufgebracht und beobachtet wurde, wie lange es dauerte, bis die Wassermenge aufgesaugt war. Mit Ausnahme des ungebrannten Lehmsteins betrug diese Zeit in allen Fällen weniger als eine Sekunde. Beim Lehmstein brauchte die Feuchtigkeit ein wenig mehr als eine Sekunde zum Eindringen, und die Oberfläche erwies sich danach als aufgeweicht. Ein zweiter Versuch, der der Wirklichkeit näher kommen dürfte, wurde in der Weise angestellt, daß die vorher auf etwa $+4$ bis 5° abgekühlten Steine in einen Raum von etwa 20° gebracht wurden, in welchem durch fortgesetztes Einleiten von Wasserdampf die relative Feuchtigkeit auf 100 Prozent gehalten wurde. Es hätte also an der Oberfläche der Steine Kondensation stattfinden müssen, da der Taupunkt erheblich über der Temperatur der Steinoberfläche lag. In keinem Falle jedoch kam es zur Tropfenbildung, vielmehr behielten die Steine auch bei längerem Verweilen im Raume alle ihr ursprüngliches Aussehen. Nur wenn man den Dampfstrahl unmittelbar gegen die Oberfläche der Baustoffe leitete, entstanden feuchte Stellen, die aber nach Aussetzen des Dampfstrahles sogleich wieder verschwanden. Eine für wenige Augenblicke sichtbare Bildung von Wassertropfchen entstand nur auf dem Zement- und dem Schwemmstein. Also auch dieser hochporöse Stein war in dieser Hinsicht den anderen nicht überlegen. Beim ungebrannten Lehmstein war allerdings eine ganz oberflächliche Aufweichung feststellbar.

Die quantitative Aufnahmefähigkeit der Steine für Wasser in Gewichtsprozent ausgedrückt, ergibt sich aus nachstehender Tabelle. Geprüft wurde sie in der Weise, daß die im Trockenschrank bis zum Gleichbleiben des Gewichtes getrockneten Steine nach dem Wägen in Wasser eingesenkt wurden, das darauf zum Sieden erhitzt wurde, um möglichst alle Luft aus den Poren zu vertreiben. Nach dem Erkalten wurde wieder gewogen. Beim Lehmstein war dieses Verfahren natürlich nicht anwendbar, vielmehr wurde hier der völlig nasse Lehmstein gleich nach seiner Herstellung gewogen und dann getrocknet (s. Tabelle 4).

Im allgemeinen zeigt sich auch hier wiederum kein großer Unterschied, nur der Schwemmstein vermag weit mehr Wasser zu fassen, als die übrigen. Hochporöse Ziegel kommen ihm hierin allerdings recht nahe. Naturgemäß werden auf die vorher beschriebene Weise nicht alle wirklich vorhandenen Poren ermittelt. Ein großer Teil steht mit der Außenluft nicht oder nur mit dem einen Ende in Verbindung, so daß also Wasser nicht hineindringen kann. Um das wirkliche Porenvolum zu ermitteln, wurde

Tabelle 4.

	Aufgenommenes Wasser Prozent	Porenvolum Prozent
Rhein. Schwemmstein . .	57.5	65.2—69.6
Ziegel	16.9—21.4	29.8—45.0
„ stark porös . . .	41.7	56.5
Kalksandstein	14.7—17.6	31.5
Zementstein	16.0	22.2
Lehmstein	15.7	34.0—37.0

Raumgewicht — kg pro cbm — durch spezifisches Gewicht dividiert und die so erhaltene Zahl von 1000 abgezogen. Ein Zehntel dieser Zahl stellt dann das wirkliche Porenvolum, ausgedrückt in Prozent, dar. Es zeigt sich, daß man gebrannte Ziegel herstellen kann, die hinsichtlich der Porosität dem Schwemmstein nahe kommen.

Die Schnelligkeit, mit der die Baustoffe austrocknen, zeigt folgende Zusammenstellung:

Tabelle 5.

Baustoffe	Gewicht		nach Tagen:									
	trocken	völlig durchtrocknet	1	3	4	6	7	14	17	20	28	
Schwemmstein .	1800	2835	2620	2430	2354	2280	2205	1920	1880	1860	1845	
Kalksandstein 1	2920	3350	3240	3075	3038	3020	3000	2962	2950	2945	2945	
„ 2	3202	3765	3635	3450	3404	3390	3370	3312	3295	3285	3270	
Ziegel 1 . . .	3165	3760	3640	3430	3351	3300	3255	3165	—	—	—	
„ 2 . . .	3150	3705	3600	3420	3346	3290	3240	3150	3145	—	—	
„ 3 . . .	3005	3650	3555	3445	3256	3185	3110	3020	3005	—	—	
„ 4 . . .	2855	3460	3375	3195	3110	3035	2975	2855	—	—	—	
Zementstein .	4575	5309	5210	4990	4900	4820	4740	4625	4610	4600	4600	
Lehmstein . .	4320	4995	—	4730	—	—	—	4360	4330	—	4320	

Die Austrocknung erfolgte bei Zimmertemperatur und ruhender Luft. Der größeren Übersichtlichkeit wegen ist für eine Reihe dieser Steine die Menge des zurückgehaltenen Wassers zu den verschiedenen Zeiten in Form einer Kurve aufgezeichnet, und zwar nach Gewichtsprozent.

Die Kurve zeigt, daß der Schwemmstein von allen untersuchten Baustoffen das Wasser am längsten festhält, was kaum als ein Vorteil angesehen werden kann. Die Kurven der übrigen Baustoffe weichen nicht sehr stark

voneinander ab, doch trocknen Kalksandstein und Zementstein nicht so vollkommen aus, wie Ziegel oder wie ungebrannter Lehm.

Nicht ohne Belang dürfte es noch sein festzustellen, wie sich die einzelnen Baustoffe verhalten, wenn sie längere Zeit in einer sehr feuchten Luft gehalten werden. Man hat von geschäftlich nicht uninteressierter Seite behauptet, der Lehmstein nähme aus der Luft so viel Feuchtigkeit auf, daß

Fig. 1.

dadurch eine Aufweichung hervorgerufen und die Sicherheit des ganzen aus solchen Steinen erbauten Hauses gefährdet werden könne. Um hierüber Aufklärung zu erhalten, wurden die Steine 10 Tage lang in einem Kasten gehalten, in den täglich stundenweise Dampf eingeleitet, also eine relative Feuchtigkeit von 100 Prozent erzeugt wurde. In der Zwischenzeit sank die Feuchtigkeit auf etwa 90 Prozent ab. Einmal täglich wurden die Steine gewogen. Die aufgenommene Wassermenge ergibt sich aus nachstehender Tabelle.

Tabelle 6.

	Trocken	Gewicht nach Aufenthalt in der feuchten Kammer					Trocknung bei Zimmertemp.			In 14 Tagen aufgenommene Wassermenge	Nach 4 Tagen Trocknung noch vorhanden
		1 Stde.	1 Tag	8 Tage	11 Tage	14 Tage	1 Tag	8 Tage	4 Tage		
										%	%
Ziegel . . .	1745	1745	1749	1749	1749	1750	1745	1746	1746	0.285	0
Lehmstein . .	3850	3860	3870	3899	3902	3903	3880	3866	3862	1.38	0.31
Kalksandstein	2718	2721	2725	2744	2745	2745	2738	2731	2728	1.0	0.37
Schwemmstein	1398	1402	1405	1415	1420	1426	1413	1412	1412	2.0	1.07

Es zeigt sich also, daß der gebrannte Ziegelstein sich schon nach einem Tage mit der Feuchtigkeit der Luft ins Gleichgewicht stellt. Er nimmt nur eine sehr geringe Menge Feuchtigkeit aus der Luft auf, und zwar zeigten dies auffallende Verhalten eine ganze Reihe Ziegel verschiedener Herkunft. Beim ungebrannten Lehmstein und beim Kalksandstein ist der Gleichgewichtszustand erst nach etwa 8 bis 10 Tagen erreicht, während beim Schwemmstein am Ende des Versuches dies noch nicht erreicht war. Die hohe Aufnahmefähigkeit des Schwemmsteines könnte vorteilhaft erscheinen, wenn ihr eine gleichgroße Wasserverdunstung gegenüber stände. Das ist aber augenscheinlich nicht der Fall. Eingehender gewürdigt wird dies Verhalten bei der Besprechung der einzelnen Baustoffe werden. Bezüglich des ungebrannten Lehmsteins sei hier bemerkt, daß er bei der Probe keine ungünstigen Veränderungen zeigte.

Luftdurchlässigkeit.

Auf die Durchlässigkeit der Baustoffe für Luft hat zuerst Pettenkofer hingewiesen. Er zeigte diese Durchlässigkeit, indem er durch einen Ziegelstein hindurch ein Licht ausblies.¹ Ausführliche Untersuchungen über die Größe der unter bestimmten Verhältnissen durch die einzelnen Baustoffe hindurchgehenden Luftmenge hat Lang² angestellt, nachdem vorher schon Schürmann³ und Märker⁴ einige diesbezügliche Beobachtungen mitgeteilt hatten. Später haben Gosebruch⁵ und v. Thielmann⁶ diese Untersuchungen erweitert. Auch ich habe einige ergänzende Versuche in

¹ *Populäre Vorträge*. Braunschweig 1877.

² *Über natürliche Ventilation*. Stuttgart 1897.

³ *Jahresbericht der chem. Centralstelle f. öffentl. Gesundheitspflege*. III. 1874.

⁴ *Landwirtschaftl. Jahrbuch*. 1876. Bd. VI.

⁵ *Dissert.* Univ. Berlin 1877.

⁶ *Ges.-Ing.* 1915. Nr. 23.

dieser Richtung angestellt. Die Versuchsanordnung war im allgemeinen bei allen Beobachtern dieselbe. Die zu untersuchenden Baustoffe wurden in ein trichterförmiges Blechgefäß luftdicht eingekittet, so daß sie mit der einen Seite an die Außenluft grenzten. Das Innere des Trichters war mit einem Manometer verbunden, das den Überdruck in Millimeter Wassersäule anzeigte, und gleichzeitig ragte ein Thermometer in den Trichter hinein, so daß Druck und Temperatur der hindurchtretenden Luft gemessen wurden. Lang und v. Thielmann haben nun die Luft durch die Stoffe hindurchgedrückt, indem sie sie aus einem Gasometer bzw. einer Stahlbombe unter Druck in den Trichter eintreten ließen, während ich sie mittels einer Wasserstrahlpumpe hindurchsaugte. Das Volum der durch die betreffenden Stoffe hindurchgehenden Luft wurde mittels Gasuhr gemessen und auf 0° und 760 mm reduziert.

Aus den Versuchen lassen sich folgende Schlüsse ziehen: Die Annahme Langs, daß „die unter Druck durch eine poröse Wand geförderte Luftmenge“ „diesem Druck nahezu direkt proportional“ sei, ist theoretisch nicht ganz richtig. Thielmann und Gosebruch weisen darauf hin, daß mit zunehmendem Druck die hindurchtretende Luftmenge verzögert zunimmt. Nennt man die Proportionalitätskonstante c , so ergibt sich deren Größe für verschiedenen Druck aus nachstehender von v. Thielmann veröffentlichten Kurve (Fig. 2).

Ich selbst fand bei einigen Versuchen für den Faktor c bei Kalksandstein und einem Druck von 100 mm Wassersäule 2.47, bei 50 mm ebenfalls 2.47. Für Ziegel ergab sich bei 200 mm Wassersäule $c = 1.33$, bei 100 mm $c = 1.67$ und bei 50 mm $c = 1.46$. Bei Schwemmstein, der mit Kalkmörtel verputzt war, ergaben sich die Werte: bei 150 mm $c = 152$, bei 100 mm $c = 168$ und bei 50 mm $c = 169.7$.

Wenn sich also auch bei stark durchgängigen Stoffen eine stark abfallende Kurve für die Durchlässigkeitskonstante bei zunehmendem Druck ergibt, so läuft doch die Kurve für mäßig durchgängige Stoffe fast vollkommen der Abszissenachse parallel, so daß man für die Praxis die Durchlässigkeit dem Druck direkt proportional setzen kann. Daß die Durchlässigkeit bei gleichmäßigen Stoffen der Oberflächenausdehnung direkt proportional ist, dürfte ohne weiteres klar sein.

Lang kommt auf Grund seiner Versuche zu dem Ergebnis: „Die unter konstantem Drucke durch (homogenes) poröses Material fließende Luftmenge ist der Dicke des Versuchsstückes umgekehrt proportional.“ Thielmann steht auf dem gleichen Standpunkt. Mir schien dieser Schluß, den Lang aus Beobachtungen an einem Klotz aus Gips und einem aus Mörtel zieht, nicht ohne weiteres stichhaltig zu sein. Es wäre möglich, daß die

Steine von röhrenartigen Kanälen durchzogen wären, die aber nicht alle durch das ganze Versuchsstück von einer Seite zur anderen hindurchführten, sondern daß ein großer Teil blind im Innern des Stoffes endet. Da bei dieser Annahme in einer dünnen Platte aus dem betreffenden Stoffe offenbar

Fig. 2.

weit mehr Kanäle durch die ganze Dicke hindurchführen müßten, als bei einer dickeren, so war anzunehmen, daß die Durchgängigkeit nicht proportional mit der wachsenden Dicke, sondern schneller abnehmen würde.

Um daher die von Lang und besonders von Thielmann gefundenen Werte nachzuprüfen, die in beiden Fällen an verhältnismäßig dünnen Platten der betreffenden Stoffe gewonnen waren, benutzte ich die Baustoffe in den Abmessungen, wie sie in der Praxis verwendet werden. Stimmten dann die von mir für c gewonnenen Werte mit denen der früheren Beobachter überein, so mußte deren Annahme, daß die Durchlässigkeit der Dicke um-

gekehrt proportional sei, richtig sein. Die Versuche ergaben nun in der Tat eine Übereinstimmung zwischen den von mir und den früheren Untersuchern gefundenen Werten in den Grenzen, die überhaupt bei dem nie gleichmäßig ausfallenden Material zu erwarten waren.

Um Form, Anordnung und Verlauf der Poren in den verschiedenen Steinen zu zeigen, schienen Dünnschliffe besonders geeignet zu sein. Herr Professor Scheffer, Lektor für wissenschaftliche Photographie an der Berliner Universität, hatte die Liebenswürdigkeit, derartige Schliffe herzustellen und bei einer Vergrößerung von 10:1 zu photographieren. Für seine große Mühe gestatte ich mir, ihm auch an dieser Stelle herzlichst zu danken. Von diesen Photogrammen sind die des Ziegels und des Schwemmsteins hier abgebildet. Die Bilder zeigen, daß die Poren im ganzen Stein wie in einem Schwamm verteilt sind. Besonders schön zeigt dies die Abbildung des Ziegelsteins. Es handelt sich also nicht um röhrenförmige Kanäle, sondern um ein ausgedehntes Netzwerk von mehr oder weniger feinen, untereinander im Zusammenhang stehenden Spalten. Bei dem Kalksandstein und dem Zementstein sind diese Spalten zwar etwas geringer an Zahl, aber die Art, wie sie im Stein verteilt sind, ist doch ganz ähnlich. Dies Verhalten der Poren läßt es erklärlich erscheinen, daß die durchtretende Luftmenge wirklich der Dicke proportional ist.

Nennt man also

Q die Luftmenge, ausgedrückt in Litern/Stunde,

d die Dicke des Probestückes, ausgedrückt in Metern,

F die Oberfläche in Quadratmetern,

p den Luftüberdruck, in Millimetern Wassersäule bzw. kg/qm so ist

$$Q = c \cdot \frac{p \cdot F}{d}.$$

Die Werte für c sind nach den Ergebnissen der verschiedenen Beobachter (L = Lang, T = Thielmann, P = Korff-Petersen) in nachstehender Tabelle zusammengefaßt. T und P haben die bei einem Druck von 100 mm Wassersäule gefundenen Werte ihrer Berechnung zugrunde gelegt. L hat mit einem Druck von 108 mm gearbeitet.

Tabelle 7.

1. Sandstein	0.12—0.13	(L)
2. Beton	0.26	(L)
Zementstein 1:4	0.195	(P)
3. Lehmsteine (ungebrannt)	0.29	(P)
4. Ziegelsteine	0.5 —2.26	(T)
	0.09—0.38	(L)
	1.67	(P)

Fig. 3. Ziegel, 10:1.

Fig. 4. Rhein. Schwemmstein, 10:1.

5. Klinker, glasiert	0	(L)
„ unglasiert	0.145	(L)
6. Kalksandsteine	0.46—14.4	(T)
	2.47	(P)
7. Schlackensteine	1.69—7.6	(L)
8. Rheinischer Schwemmstein	228.7—1704	(T)
	576.2—2259	(P)
9. Lochsteine	5.83	(T)
10. Luftmörtel	0.9	(L)
11. Mauerputz (4 Sand, 1 Kalk)	4.25	(T)
12. Verlängerter Portlandzement (1 Zement, 1 Kalk, 3 Sand)	0.57	(T)
13. Portlandzement	0.14	(L)
	0.57	(T)
14. Muschelkalk	0.14—0.45	(T)
15. Gips (gegossen)	0.04	(L)
16. Eichenholz (über Hirn)	0.007	(L)
17. Fichtenholz (über Hirn)	1.01	(L)

Die obigen Zahlen sind an lufttrockenen Stoffen gewonnen, sie schwanken bei gleichen Baustoffen verschiedener Herkunft oft in sehr weiten Grenzen. Bei Durchfeuchtung nimmt die Durchgängigkeit der Baustoffe für Luft ganz beträchtlich ab, entsprechend der Füllung der Poren mit Wasser, und kann bis auf 0 (Beton, Zement) sinken. Naturgemäß ist das Absinken der Durchgängigkeit bei den verschiedenartigen Baustoffen verschieden, und zwar erleidet die Durchgängigkeit um so weniger Einbuße, je größer die Poren des Materials sind (Lang, a. a. O.). Ausgiebige Benetzung einer Wand durch Regen wird ihre Luftdurchlässigkeit also stark herabsetzen, wenn auch wohl kaum je ganz aufheben.

Von weitgehendem Einfluß auf die Durchlässigkeit ist naturgemäß die Bekleidung der Wände, ihr Verputz, Farbanstrich, Tapezierung. Bei Verputz der stark durchgängigen rheinischen Schwemmsteine mit Kalkmörtel (1 Kalk, 4 Sand) sank die Durchlässigkeitszahl bei meinen Versuchen von $c = 576.2$ auf 168, also auf 29 Prozent, bei Verputz mit Zement war $c = 3.65$, also auf 0.65 Prozent gesunken. Über die Veränderung der Luftdurchlässigkeit durch Farbanstrich und Tapezierung berichtet Lang (a. a. O.). Durch Anstreichen von Gipszylindern mit gewöhnlicher Kalkfarbe sank die Durchlässigkeit auf 73.0 Prozent, mit schwach geleimter Farbe auf 47.6 Prozent und mit Ölfarbe auf 0 Prozent. Auch Anstrich der Wände mit Wasserglas hebt ihre Durchgängigkeit für Luft fast völlig auf. Auf die Verminderung der Luftdurchlässigkeit durch Tapezierung wird naturgemäß die Art des Papiers und des Kleisters von Bedeutung sein. Lang fand die Durchlässigkeit bei verschiedener Tapezierung um 18 bis 75 Prozent herabgesetzt.

Bedeutung der Luftdurchlässigkeit für die Lüfterneuerung der Wohnräume (Porenventilation).

Die Versuche zeigen, daß alle Baustoffe luftdurchgängig sind. Bei den meistgebräuchlichen weicht die Durchlässigkeit der verschiedenen Stoffe nicht allzusehr voneinander ab. Nur die rheinischen Schwemmsteine übertreffen die übrigen Baustoffe ganz gewaltig, zum Teil um das Mehrtausendfache. Es fragt sich nun, wie weit die Durchlässigkeit der Wände für die Lüfterneuerung in den Wohnräumen des Hauses von Belang ist. Pettenkofer hat anscheinend der Porenventilation für die Reinhaltung der Luft bewohnter Räume eine recht große Bedeutung beigemessen, wenn er auch darüber sich nicht bestimmt ausgesprochen hat. Auch Lang hält diese Art der Lüfterneuerung für sehr wichtig. Auf demselben Standpunkte stehen Gosebruch a. a. O. und v. Thielmann. Demgegenüber halten Flügge¹, Prausnitz² und Nußbaum³ die Porenventilation in bezug auf Reinigung der Zimmerluft für durchaus ungenügend, und da sie größtenteils in vertikaler Richtung vor sich geht, also einen Austausch der Luft im Zimmer nicht mit der reinen Außenluft, sondern mit der häufig verunreinigten Luft anderer Stockwerke bewirkt, für wenig wünschenswert. Über die Größe des Anteils, den die Poren an der Gesamtwirkung eines Raumes haben, hat Flügge⁴ Untersuchungen angestellt. In einem Zimmer, das eine Ventilationsgröße von 6.75 cbm in $\frac{1}{4}$ Stunde hatte, ging diese Größe nach möglichst sorgfältiger Abdichtung der Ritzen auf 1.6 cbm, also um 76.3 Prozent, herab. Auch G. Recknagel⁵ macht darauf aufmerksam, daß durch die eigentlichen Baumaterialien selbst nur ein ganz geringer Bruchteil des Luftaustausches zwischen Innen- und Außenluft stattfindet. Eine Berechnung dieser Größe findet sich bei Emmerich⁶: „Selbst bei einer Temperaturdifferenz von 20° C im Innern und 0° C der Außenluft ist das Gewicht der wärmeren Luft nur um $\frac{1}{3}$ kg größer als das der kalten, d. h. es steht ein Druck von nur 0.32 kg pro qm als Motor der natürlichen Ventilation zur Verfügung. $\frac{1}{3}$ kg pro qm ist aber genau $\frac{1}{3}$ mm Wasserhöhe. Mit so kleinen Drucken haben wir es bei windstillem Wetter zu tun.

„Sogar der sehr poröse Hochofenschlackenstein ($c = 1.69 - 7.6$) wird somit in diesem günstigen Fall (bei 20° C Temperaturdifferenz) nur etwa

¹ *Grundriß der Hygiene.*

² *Grundzüge der Hygiene.*

³ *Hygiene des Wohnhauses.*

⁴ *Beiträge zur Hygiene.* Leipzig 1879.

⁵ *Vierteljahrsschrift f. öffentl. Ges.-Pfleger.* 1885. Bd. XVII. H. 1.

⁶ „Die Wohnung“ im *Handbuch der Hygiene* von Pettenkofer-Ziemsens. 1894.

81 Liter Luft pro Stunde und qm durchlassen und in einem Zimmer mit zwei ans Freie grenzenden, je 36 qm großen und nur 30 mm dicken Wänden aus diesem Material werden 5800 Liter oder rund 6 cbm Luft pro Stunde gefördert werden.

„Eine sehr kleine Menge, wenn man bedenkt, daß pro Kopf und Stunde ein Luftwechsel von mindestens 40 cbm notwendig ist.“

Selbst im Winter bei großer Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Innenluft ist also bei Windstille nur ein verschwindend kleiner Luftaustausch durch die Poren der meistgebräuchlichen Baustoffe hindurch zu erwarten. Im Sommer, wo fast kein Temperaturunterschied zu bestehen pflegt, dafür das Bedürfnis nach ausgiebiger Ventilation aber um so lebhafter ist, müssen wir vollends die Porenventilation als nicht vorhanden annehmen.

Bei bewegter Außenluft liegen die Verhältnisse etwas anders. Ein „mäßiger“ Wind übt einen Druck von 1.9 bis 6 kg/qm aus, der also etwa 18 mal so groß ist, wie der in dem Emmerichschen Beispiel angenommene. In diesem Falle würden also doch schon 108 cbm Luft durch die Luftporen hindurchgehen. „Frischer“ Wind bewirkt etwa den doppelten, „starker“ den dreifachen Druck wie „mäßiger“. Bei solchen Windgeschwindigkeiten würde die Porenventilation unter den obigen Annahmen also wohl zu beachtlicher Größe anwachsen können. Nun ist aber der obigen Berechnung die Annahme zugrunde gelegt, daß die Wände aus dem sehr durchlässigen Schlackenstein ohne Verputz und Anstrich bestehen. Würden sie aus dem im Durchschnitt fast 5mal weniger durchlässigen Ziegel bestehen, und, wie das doch meist zu sein pflegt, verputzt und gestrichen oder tapeziert sein, so würden sich Verhältnisse ergeben, bei denen nur bei recht heftigem Windanfall, wie er doch nur gelegentlich zustande kommt, eine irgendwie beträchtlichere Luftmenge durch die Poren der Wand hindurch gefördert würde. Hier muß noch darauf hingewiesen werden, daß innerhalb von Ortschaften in der Nähe der Wohnstätten die Windgeschwindigkeit ganz erheblich niedriger zu sein pflegt als im Freien. Nach H. Wolpert¹ beträgt die Windgeschwindigkeit in nächster Nähe eines Wohnhauses, insbesondere vor den Fenstern und in Höfen nur in seltenen Fällen mehr als etwa 10 Prozent der freien Windgeschwindigkeit, meist nur wenige Prozent, zuweilen nur einige Promille dieser Größe. Außerdem werden die oben angeführten Druckgrößen nur von senkrecht auffallendem Winde ausgeübt. Bei schräg auffallendem Winde ist nach A. Wolpert¹ der Druck der zweiten Potenz des Sinus des Winkels proportional, unter welchem der Wind die Fläche trifft, nimmt also dadurch sehr stark ab. Bei den bisher zumeist gebrauchten

¹ *Archiv für Hygiene*. 1905. Bd. LII. S. 45.

Baustoffen müssen wir also die Porenventilation für den Luftwechsel der Wohnräume gänzlich außer Betracht lassen. Es muß besonders bei Kleinwohnungen auf die Möglichkeit anderweitiger Lüftung Bedacht genommen werden.

Einer besonderen Betrachtung bedürfen die sog. rheinischen Schwemmsteine. Wir haben darin ein außerordentlich luftdurchgängiges Material vor uns. Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, können diese Steine 1000- bis 2000mal luftdurchlässiger sein, als die gewöhnlichen Baustoffe. Durchschnittlich ist ihre Durchgängigkeit 600mal größer als die gewöhnlicher Baustoffe und noch etwa 150mal größer, als diejenige des Schlackensteins, der den Emmerichschen Berechnungen zugrunde gelegt ist. Selbst nach Verputz mit Kalkmörtel bleiben sie noch einige hundertmal durchlässiger als Ziegelstein. Erst bei Zementverputz nähert sich ihre Durchlässigkeit der der sonstigen Baustoffe. Bei Schwemmsteinwänden ist also zunächst theoretisch anzunehmen, daß wenigstens ein Teil des Austausches zwischen Außen- und Innenluft durch die Wände hindurch stattfindet. Dieser Austausch könnte insofern als erwünscht gelten, als er den in der Wohnung gebildeten Wasserdampf wenigstens zum Teil nach außen befördern und vielleicht auch eine stärkere Anhäufung von üblen Gerüchen verhindern würde. Freilich verhalten sich, wie Kisskalt² gezeigt hat, die Geruchsstoffe wesentlich anders als z. B. Kohlensäure. Während diese durch Lüftung leicht entfernt wird, werden jene durch Adsorption festgehalten und durch Luftwechsel erheblich schwerer entfernt.

Bei wirklich ausgeführten Häusern zeigt es sich zudem, daß in der Praxis der Luftaustausch durch die Wände auch in Schwemmsteinbauten eine ganz untergeordnete Rolle spielt. Dies ergaben vergleichende Ventilationsbestimmungen an zwei gleichgroßen Räumen in der Gartenstadt Staaken bei Spandau. Die Aufzeichnungen über diese Untersuchungen mögen hier folgen:

26. 3. 19. 1. Konferenzzimmer des Verwaltungsgebäudes, Ecke Marktplatz und Lewaldstraße. Zimmer im ersten Stock. $1\frac{1}{2}$ Stein-Backstein-Mauer, Innenverputz, Wasserfarbenanstrich. Breite 2·95 m, Länge 5 m, Höhe 2·5 m, dazu an Längswand Erker mit Doppelfenster, Länge 2 m, Breite 0·8 m, Höhe 2·4 m, 2 Türen, Kubikinhalt $m = 40\cdot7$ cbm. Zwei Außenmauern, längere nach Norden, schmalere nach Osten. Fenster durch Verkleben mit paraffiniertem Papier, Türen durch Einlegen mehrerer Lagen feuchter Wattestreifen abgedichtet, ebenso Ofentür. Außentemperatur $+1\cdot2^\circ$, Innentemperatur $+6^\circ$. Wind: Ostwind, frisch. Kohlensäuregehalt

¹ *Ventilation und Heizung*. 1880.

² *Archiv f. Hyg.* Bd. LXXI.

zu Beginn des Versuchs 3.09 Promille, nach 80 Minuten 2.24 Promille, Außenluft 0.5 Promille. Ventilationsgröße $C = 12.17 \text{ cbm/Std. } \frac{C}{m} = 0.3/\text{Std.}$ Fläche der Außenwände: rund 20 qm.

2. Wohnzimmer: Am langen Weg. Schwemmsteinbau 1 Stein = 25 cm, beiderseits verputzt, Wasserfarbenanstrich, Erdgeschoß. Höhe 2.55 m, Breite 2.95 m, Länge 4.6 m. Kubikinhalt $m = 34.4 \text{ cbm}$. Breite Außenwand nach Norden, schmale nach Westen. Großes Fenster (doppelt) in Schmalwand, kleines in längerer Wand. Fenster, Ofentür, Stubentür mit angefeuchteten Wattestreifen abgedichtet. Außentemperatur $+2^\circ$, Innentemperatur $+8^\circ$, Wind: Ost, frisch. CO_2 -Gehalt zu Beginn: 2.38 Promille, nach 60 Minuten 1.9 Promille, Außenluft 0.5 Promille. Ventilationsgröße $C = 9.81 \text{ cbm/Std. } \frac{C}{m} = 0.29/\text{Std.}$ Fläche der Außenwände: rund 20 qm.

Beim zweiten Versuch am 21. 4. 19 ergab sich bei schwachem Ostwind und einer Außentemperatur von $+5^\circ$ und einer Innentemperatur von $+7.8^\circ$ im Verwaltungsgebäude (Ziegelbau) $\frac{C}{m} = 0.26$; im Schwemmsteinbau bei einer Innentemperatur von $+10^\circ$ $\frac{C}{m} = 0.27$.

Der Ventilationskoeffizient ist also in beiden Zimmern praktisch gleich, und von einer „atmenden Wand“, von der in Reklameschriften für Schwemmsteine oft die Rede ist, kann jedenfalls unter den bei meinen Versuchen vorliegenden Verhältnissen nicht die Rede sein.

Von einigem Interesse dürfte noch das Verhalten der Porenventilation bei gleichzeitigem Vorhandensein anderweitiger Eintrittsöffnungen für Luft sein. Um hierüber Anhaltspunkte zu gewinnen, bin ich wie folgt vorgegangen: Durch einen Stein, der in der oben beschriebenen Weise in den Blechtrichter eingekittet war, wurde ein Loch gebohrt und darin ein ziemlich eng ausgezogenes Glasrohr eingekittet. Ferner wurde auf den Stein ein Glastrichter aufgekittet. Die übrige Oberfläche wurde dick mit Paraffin beschmiert. Beim Durchsaugen von Luft konnte diese also nur durch das Glasrohr bzw. die Ausflußöffnung des Trichters eintreten. Wurde nun die eine oder andere Öffnung verschlossen, so konnte festgestellt werden, wieviel Luft durch die Glasröhre bzw. die Poren des Steines allein, und wieviel durch beide Wege gleichzeitig hindurchtraten. Die Versuche wurden an Ziegelsteinen und verputzten Schwemmsteinen durchgeführt. Ihre Ergebnisse sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt (s. Tabelle 8).

Die Versuche zeigen folgendes Verhalten:

Bei stark durchlässigen Stoffen (Schwemmstein) behält die Porenventilation ihre Wirksamkeit, auch wenn der Luft bequemere Wege zum Durchtritt zur Verfügung stehen. Die bei Verschluß der bequemeren Öff-

Tabelle 8.

Nr.	Art des Materials	Angewandter Druck	Luftdurchtritt/Stde.		$\frac{b}{a}$	$a+b$	Durchtritt von Luft bei gleichzeitiger Öffnung von a und b
			a Glasrohr	b Stein- poren	in ‰		
1.	Ziegelstein	20 mm	180.0 L.	11.2 L.	6.2	191.2	177.5
2.	„	20 „	192.0 „	15.0 „	7.8	207.0	192.0
3.	„	100 „	120.0 „	60.0 „	50.0	180.0	152.0
4.	verputzt. Schwemmst.	40 „	111.8 „	43.6 „	39.0	155.4	158.8
5.	„ „	40 „	144.0 „	40.0 „	27.8	184.0	186.0

nung durch die Poren des Steines hindurchtretende Luftmenge summiert sich vollkommen zu der durch die erste eintretende Menge bei gleichzeitiger Öffnung beider Durchtrittsgelegenheiten. Anders bei schwerdurchlässigen Stoffen. Hier wählt die Luft ganz oder zum größten Teil den bequemeren Weg. Selbst bei einem Verhältnis der Porenventilation zu der durch größere Wege von 50 Prozent, wie er in Wirklichkeit nie vorkommen wird, findet keine Summierung der Luftmengen statt, sondern nur ein kleiner Teil der durch die Poren bei Verschluß der großen Wege durchtretenden Menge kommt bei Öffnung beider Wege zur Geltung. Ist das Verhältnis aber ungünstiger, so hört die Porenventilation überhaupt ganz auf, und der ganze Druckausgleich findet lediglich durch die größeren Öffnungen hindurch statt.

Notwendigkeit besonderer Lüftungsmöglichkeit.

Aus den vorhergehenden Erörterungen geht hervor, daß bei Bauten aus wenig durchgängigen Stoffen unbedingt eine besondere Lüftungsmöglichkeit vorgesehen werden muß. Aber auch bei Bauten aus dem so stark durchlässigen rheinischen Schwemmstein sollte grundsätzlich diese Forderung gestellt werden. Es wird doch vielfach in der Praxis durch Verputz der Wände, durch Farbanstrich, Tapezierung und sonstige Verkleidung die Luftdurchlässigkeit auch in diesen Fällen in unkontrollierbarer Weise so stark herabgesetzt werden, daß man sich auf ihr Vorhandensein nicht wird verlassen können, wie dies meine Untersuchungen in Staaken lehren. Aber auch wenn der Verputz fortfällt und die hohe Durchlässigkeit erhalten bleibt, ist die Lüftung durch die Poren der Wände keine erwünschte. Sie könnte im Winter bei sehr heftigen Winden so stark werden, daß sie den Aufenthalt im Zimmer sehr beeinträchtigt, ohne daß man in der Lage ist, sie abzuschwächen. Hierbei wird auch vorzugsweise in den unteren Wandabschnitten die Luft einströmen und dadurch leicht Zugempfindung auslösen. Die Regulierbarkeit der Lüftung je nach dem Bedarf ist eine Forderung, von

der wir nicht Abstand nehmen können; und dieser Forderung entspricht die Porenventilation in keiner Weise. Unser Bestreben muß deswegen darauf gerichtet sein, sie nach Möglichkeit einzuschränken und dafür geeignete regulierbare Ventilationsöffnungen vorzusehen.

Kohlenverbrauch bei der Herstellung der Baustoffe.

Auf Grund der bisher festgestellten Eigenschaften der Baustoffe wäre nun ein Urteil darüber zu fällen, ob der eine oder der andere vom hygienischen Standpunkte aus den Vorzug verdient. Auch die neuerdings empfohlenen „Ersatzbauweisen“, die im Streben nach möglichster Sparsamkeit an Stelle der alten, massiven Ziegelmauer Hohlmauern verschiedenster Art, zum Teil mit Füllstoffen und besonders konstruierte Bausteine anwenden, sollen hinsichtlich ihrer hygienischen Eigenschaften geprüft werden. Vorher wird aber noch ein kurzer Überblick über die zur Herstellung der gleichen Menge der verschiedenen Baustoffe verbrauchten Kohlen nötig sein, da es hiervon im wesentlichen abhängt, ob der betreffende Baustoff in der nächsten Zeit überhaupt anwendbar sein wird. — Zur Herstellung von 1 cbm Vollziegel werden nach Angabe von Dr. Fabian¹, dem Geschäftsführer des deutschen Tonindustrievereins, etwa 90 kg Kohle verbraucht, nach der Schrift des preußischen Staatskommissars für das Wohnungswesen „Ersatzbauweisen“, berechnet sich die Kohlenmenge auf 82 bis 117 kg/cbm. Für Hohlziegelmauerwerk nimmt Fabian 65 kg an. Der Bedarf für stark poröse Ziegel, bei deren Herstellung das Ziegelgut mit minderwertiger Kohle gemischt wird, ist etwas geringer als der bei normalen Ziegeln. Für Kalksandstein ergibt sich unter Zugrundelegung der Zahlen des Staatskommissars 66 kg/cbm. Der Kalksandstein ist in dieser Hinsicht also günstiger als der gebrannte Ziegel. Viel ungünstiger verhält sich der Beton. Nach Fabian sind zum Brennen des Zements für 1 cbm Kiesschotterbeton 110 kg Kohle nötig. Legt man die Zahlen der „Hütte“ für das Raumgewicht des Betons (1800 bis 2200 kg) zugrunde, so ergeben sich noch etwas höhere Zahlen, nämlich etwa 200 kg. Beton ist also schon aus diesem Grunde als Vollmauer nicht verwendbar, kommt vielmehr nur für besondere Bauweisen in Betracht. Für die Herstellung von Schwemmsteinen, die aus vulkanischem Bimsstein unter Zusatz von Traß hergestellt werden, ist Kohle nicht unmittelbar nötig, da die Steine an der freien Luft trocknen und erhärten. Nur zur Herstellung des Kalkzuschlages ist eine geringe Menge Kohlen nötig. Hierin besteht ein großer Vorzug der Schwemmsteine vor den bisher besprochenen Baustoffen. Leider ist das Vorkommen des Bimssteins auf ein verhältnis-

¹ *Die Bauwelt*. 1919. Nr. 13.

mäßig kleines Gebiet bei Neuwied beschränkt, so daß ihre Verwendung an entfernteren Orten wegen des weiten Transportweges untunlich wird. Die als Ersatz für die unter Verwendung natürlichen Bimskieses hergestellten Schwemmsteine vorgeschlagenen Hochofenschwemmsteine erfordern zur Herstellung nur etwa 7 kg Kohle für 1 cbm (nach Scheidt). Bei Verwendung von ungebranntem Lehm findet naturgemäß überhaupt kein Kohlenverbrauch statt.

In der nachfolgenden Tabelle sind nochmals die bisher in den einzelnen Abschnitten besprochenen Eigenschaften der Baustoffe, soweit sie sich in Zahlen ausdrücken lassen, zu einer Übersicht vereinigt. Dabei beziehen sich die Zahlen der Spalten 2 bis 11 auf die reinen Baustoffe, die der Spalten 12 bis 15 auf Mauerwerk, also mit Einschluß von Mörtel. Die spezifische Wärme des Mörtels ist zu 0.2 angenommen (vgl. Tab. 9, S. 514 u. 515).

Beurteilung der einzelnen Baustoffe.

Lehm.

Da die Lehmbauweise keine Kohlen benötigt, ist sie in letzter Zeit besonders empfohlen worden. Neue Kleinwohnungen müssen nämlich trotz der Kohlennot unter allen Umständen erbaut werden. Daher wird an diese Bauweise in erster Linie gedacht werden müssen. Es fragt sich nur, ob damit hygienische Gefahren für die Bewohner verbunden sein werden. Die Standfestigkeit von Lehmbauten, die zu beurteilen freilich nicht eigentlich Sache des Hygienikers ist, muß nach Erfahrungen an alten Lehmhäusern bei sachgemäßer Ausführung als ausreichend bezeichnet werden. Die Wärmeleitfähigkeit und das Wärmespeichungsvermögen sind fast dieselben wie beim Ziegelstein. Eine gleich dicke Wand aus ungebranntem Lehm schützt also gegen einen zu schnellen Wärmeaustausch ebensogut, wie eine Ziegelwand. Dabei ist sie überall nagelbar. Freilich bedingt das Aufbringen des Putzes beträchtliche Schwierigkeiten, und gerade beim Nageln können leicht größere Putzstücke abbröckeln. Ein Nachteil der Lehmstampfwand kann es unter Umständen sein, daß sie, um genügend standfest zu sein, immer eine beträchtliche Dicke haben muß. Daher ergibt sich besonders für das Kleinhaus der Nachteil, daß sie, einmal ausgekühlt, große Wärmemengen, also viel Brennstoff zu ihrer Durchwärmung gebraucht. Die Schalldämpfung soll in Lehmhäusern eine bessere sein, als in Ziegelhäusern.¹ Die Luftdurchlässigkeit der Lehmwände ist allerdings eine recht geringe. Wir haben aber gesehen, daß die darauf beruhende Porenventilation eine ganz

¹ Nußbaum, a. a. O.

Tabelle

1	2	3	4	5	6	7
Baustoff	Druckfestigkeit	Raumgewicht	Spezifisches	Wasseraufnahme	Porenvolum	Spezifische Wärme
	kg/qcm	kg/cbm	Gewicht	%	%	WE/kg
Ziegel	100—300	1545—1670	2.657	16.9—21.4	29.8—45.0	0.177—0.316
Kalksandstein .	140—220	1520—1720	2.43—2.49	14.7—17.6	30.0—39.0	0.202
Beton	60—400	1800—2200	2.309	16.0	22.2	0.210—0.213
Schwemmstein .	27—29	630	2.0	57.5	65.2—69.6	0.279
Lehmstein. . .	—	1049—1670	2.567	15.7	37.0	0.234

untergeordnete Rolle spielt. Ein weiterer Nachteil der Lehmbauweise ist aber noch ihr Verhalten gegenüber Wasser. Bei meinen Untersuchungen hob der Lehmstein Wasser durch Kapillarität zwar nicht höher als die anderen geprüften Steine. Ebenso trocknete er gleichschnell und ebenso vollkommen aus wie Ziegel. Auch sein Verhalten bei hoher Raumfeuchtigkeit war kein ungünstiges. Wurde aber der Lehmstein mit Wasser stärker bespritzt, so wurde von der Oberfläche eine große Menge Lehm abgeschwemmt und ebenso weichte bei der Untersuchung auf Kapillaritätswirkung der untere Teil des Steines so stark auf, daß er schon durch verhältnismäßig geringe Kräfte aus der Form gebracht werden konnte. Lehmwände sind daher gegen das Grundwasser besonders gut zu isolieren, und ebenso vor Schlagregen zu schützen, auch eine Kondensation von Wasser auf ihnen ist möglichst zu verhindern. Sie müssen also an der Außen-, besonders der Wetterseite, sehr sorgfältig verputzt oder womöglich mit Schiefer, Schindeln oder dergleichen belegt werden. Zu beachten ist auch, daß dicke Lehmstampfwände natürlich eine verhältnismäßig lange Austrocknungszeit erfordern. — Die Befürchtung, daß in Lehmbauten besonders viel Ungeziefer sich einniste, scheint sich nach den bisherigen Erfahrungen nicht zu bestätigen.¹

Für den Lehmbau kommen mehrere Ausführungen in Betracht. Die Wände können durch Einstampfen von Lehm oder auch von klebender Erde zwischen zwei Bretter hergestellt werden, teilweise werden dem Lehm faserige Stoffe, Haare, Heidekraut, Holzwolle oder dergleichen beigelegt

¹ Nußbaum, Dürfen für den Kleinhausbau Lehmsteine gebraucht werden? *Die Umschau*. 1919. Nr. 23 — und eigene Umfrage..

9.

8	9	10	11	12	13	14	15
Wärme- speiche- rung WE/cbm	Wärme- leitzahl $\lambda = \frac{WE}{m \cdot Std. ^\circ C}$	Luft- durch- lässigkeit	Verbrauch von Kohlen zur Her- stellung von 1 cbm kg	1 qm Wand- fläche bei der Dicke von a cm wiegt b kg	Wärme- durchgang durch 1 qm Wand von der Dicke a	Wärme- speiche- rung von 1 qm Wand WE	Kohlen- verbrauch zur Er- zeugung von 1 qm Wand, kg
291—528	0.34—0.45	0.09—2.26	82—117	$\begin{cases} a = 38 \\ b = 475 \end{cases}$	0.71	84—150	30
310—429	0.58—0.8	0.46—14.4	66	$\begin{cases} a = 38 \\ b = 475 \end{cases}$	1.15	95	22
448—469	0.65—0.70	0.195	110—162	$\begin{cases} a = 38 \\ b = 760 \end{cases}$	1.47	160	42—62
175	0.13	228—2259	? (sehr wenig)	$\begin{cases} a = 25 \\ b = 250 \end{cases}$	0.45	70	?
240—390	0.38	0.29	0	$\begin{cases} a = 45 \\ b = 750 \end{cases}$	0.68	176	0

Vielfach empfohlen wird Zusatz von Schlacke, da hierdurch eine größere Porosität und geringere Wärmeleitung erzielt werde. Der Einfluß der Schlackenbeimengung wird aber überschätzt. Vergleiche zwischen einem aus einer Lehmstampfwand gewonnenen Stücke und einem Lehmstein mit etwa 15 % Schlackenzusatz ergaben in beiden Fällen etwa 35 % Porenvolum. Vorteilhafter wäre es jedenfalls, wenn man eine Hohlwand aus Lehm stampfen könnte, die mit porösem Material ausgefüllt wäre. Von Lehmstampfbauten ist in Weilburg ein an einem Abhang gelegenes dreistöckiges Wohnhaus vorhanden, das an der Talseite des Hauses sogar 6 Stockwerke hat und seit 1830 bewohnt wird.¹ Nach Mitteilungen, die mir der Besitzer eines etwa 80 Jahre alten größeren Bauernhofes bei Husum aus Lehmstampfbau machte, hatten sich im Wohnhause und im Pferdestall niemals Unannehmlichkeiten bemerkbar gemacht. Der Kuhstall hatte allerdings in letzter Zeit neu errichtet werden müssen. Worauf in diesem Falle das Schadhafwerden der Wände zurückzuführen war, ließ sich nicht mehr feststellen. Eine Abart dieses Stampfbaues ist der Lehmrahtbau nach Paetz. Hierbei wird zwischen die Stampfbretter zunächst ein Drahtgeflecht gelegt, auf das ein Zementputz aufgetragen wird. Dann wird der Lehm eingestampft. Nach der amtlichen Schrift „Ersatzbauweisen“ scheint dies aber keine wesentliche Verbesserung zu sein, da der Zementputz das Feuchtwerden und Quellen des Lehmes nicht immer verhindert hat. Außerdem bedeutet dies Verfahren eine erhebliche Verteuerung. — Obgleich gewisse hygienische Mängel dem Lehmstampfbau

¹ Siebold, *Viventi satis*. Bielefeld 1918.

immerhin anhaften, so wird er doch in der jetzigen Zeit der Not für kleine, einfache, dringend notwendige Bauten empfohlen werden können. Vorbedingung ist natürlich auch hier, daß brauchbares Material an Ort und Stelle gefunden wird.

In vielseitigerer Weise kann der Lehm als ungebrannter Formling (Lehmpatzen) verwandt werden. Freilich sind die Patzen, die am besten möglichst am Orte des Baues und von geübten Arbeitern hergestellt werden, und denen zweckmäßigerweise zur besseren Bindung ebenfalls Faserstoffe zugesetzt werden, nicht sogleich nach ihrer Herstellung zu verwenden, sondern müssen erst 4 bis 8 Wochen trocknen. Auch für die Lehmpatzen empfiehlt die amtliche Schrift „Ersatzbauweisen“ den Zusatz von Schlacke. Soweit dadurch eine größere Festigkeit und ein besseres Haften des Putzes erzielt werden soll, mag das angezeigt sein. Eine nennenswerte Erhöhung der Porosität wird dadurch nicht erreicht. Wie Tabelle 4 zeigt, beträgt das Porenvolum eines ungebrannten Steines aus gleichen Teilen Lehm und Sand etwa 34 bis 37 Prozent; das eines einzelnen Schlackenstückes ist nach Tabelle 3 39 bis 43 Prozent, also nicht wesentlich höher als jenes. Die zwischen den einzelnen Schlackenstückchen liegenden Lufträume, welche die hohe Porosität aufgeschichteter Schlackenmassen bedingen, werden im Lehmpatzen aber durch den Lehm ausgefüllt. Der Vorteil des Patzenbaues ist, daß mit diesen Steinen leichter Hohlwände mit Füllstoffen hergestellt werden könnten. Jedenfalls könnte der nach innen gelegene Teil der Mauer aus diesen Steinen hergestellt werden. Dadurch würde der zu großen Wärmekapazität der dicken Vollwände entgegengewirkt und hierdurch an Feuerung gespart werden können. — Siebold erwähnt, daß man Lehmtennen durch Aufbringen von Ochsenblut oder Harn festmachen kann, und scheint ein ähnliches Verfahren für den Lehm- oder Erdbau der Erwägung wert zu halten. Blut dürfte aber in absehbarer Zeit nicht in größerer Menge zur Verfügung stehen, und von der Verwendung von Harn ist vom hygienischen Standpunkte aus dringend abzuraten, da die darin enthaltenen Salze stark hygroskopisch sind, und daher ein Feuchtwerden der Wände zu befürchten wäre.

Schwemmstein.

Wegen des zu seiner Herstellung benötigten geringen Kohlenverbrauches würde sich nächst dem ungebrannten Lehm der rheinische Schwemmstein zum Kleinhausbau besonders eignen. Über diesen Stein sind in letzter Zeit viele rühmende Schriften erschienen. Es unterliegt wohl auch keinem Zweifel, daß wir in ihm einen vorzüglichen Baustoff besitzen. Trotzdem müssen aber einige Lobeserhebungen doch als übertrieben angesehen werden.

Die Wärmeleitfähigkeit des Schwemmsteins ist wegen seiner großen Porosität bei weitem die kleinste, also hygienisch günstigste von allen Baustoffen. Dagegen ist das geringe Wärmespeichungsvermögen nur zum Teil als ein hygienischer Vorteil zu betrachten. Nur für solche Räume, die schnell anheizbar sein sollen, ist diese Eigenschaft vorteilhaft, dort wo die Heizung nachts unterbrochen wird, trotzdem aber ein nicht zu starkes Absinken der Temperatur erwünscht ist, wird die aufgespeicherte Wärme öfters schon nicht mehr ausreichend sein. — Die weiteren Vorteile, welche die hohe Porosität des Schwemmsteines, abgesehen von der niedrigen Wärmeleitfähigkeit bieten soll, werden sicher stark übertrieben. Beim Austrocknen zeigte sich der Schwemmstein den übrigen Baustoffen gegenüber nicht überlegen. Man rühmt vom Schwemmstein, daß er beträchtliche Mengen von Wasser aus der Luft zu absorbieren vermöge, die somit aus dem Raume entfernt würden. Es ist auch richtig, daß der Schwemmstein hierin den übrigen Baustoffen gegenüber überlegen ist, wenn man das Wasser berechnet, welches von der Gewichtseinheit der Baustoffe gebunden wird. Berechnet man aber das gebundene Wasser auf die Einheit der Oberfläche, so bindet der Schwemmstein nicht mehr Wasser als Lehm oder Kalksandstein, und die Oberflächenwirkung ist doch wohl das Wesentliche. Ein wirklicher Vorteil wäre dies Absorptionsvermögen übrigens nur dann, wenn auch die Sicherheit bestände, daß der Stein das Wasser schnell wieder an die Luft abgäbe, bzw. nach außen ableitete. Da aber der Schwemmstein, wie erwähnt, nicht schneller austrocknet, als andere Baustoffe, so kann er hinsichtlich der Trockenhaltung der Raumluft anderen Baustoffen gegenüber nicht als besser gelten. — Einem Irrtum Nußbaums¹ muß an dieser Stelle entgegengetreten werden. Er glaubt, daß die Verdampfung des aus der Raumluft aufgenommenen Wassers wegen der dabei gebundenen Wärme abkühlend wirkt, und führt hierauf die sommerliche Kühle in Schwemmsteinbauten mit zurück. Er erwähnt aber nicht, daß bei der Kondensation jenes Wassers zunächst ebensoviel Wärme frei wird, wie bei der Verdampfung gebunden wird. Für die sommerliche Wärmeökonomie sind diese Vorgänge also belanglos. Anders ist es natürlich bei der Verdunstung des durch Regen in das Mauerwerk eingedrungenen Wassers. Hierdurch wird in der Tat den Mauern Wärme entzogen. — Daß die starke Luftdurchlässigkeit, die der Schwemmstein im Laboratoriumsversuch zeigt, bei ausgeführten Bauten so stark herabsinkt, daß sie praktisch ohne jede Bedeutung wird, zeigen meine Untersuchungen in Staaken. — Das leichte Gewicht und die geringe Wärmeleitfähigkeit sichern aber doch dem Schwemmstein für viele Zwecke eine gute Verwendbarkeit.

¹ *Gesundheitsingenieur*. 1911. Nr. 12.

Bedauerlicherweise ist aber das Vorkommen des zur Herstellung benötigten Materials auf einen engen Bezirk, der noch dazu im besetzten Gebiet liegt, beschränkt, so daß dadurch der Verwendung große Schwierigkeit entstehen.

Die als Ersatz für den natürlichen rheinischen Schwemmstein vorgeschlagenen Hochofenschwemmsteine, bei denen die in glühendem Zustand in Wasser eingeleitete Hochofenschlacke als Grundlage dient, die unter der Einwirkung des gebildeten Dampfes ein dem natürlichen Bimsstein ähnliches Gefüge bekommt, konnte ich selbst nicht eingehender prüfen. Soweit sie gut hergestellt sind, dürften ihre hygienischen Eigenschaften mit denen des Schwemmsteins etwa übereinstimmen.

Kalksandstein.

Der Kalksandstein, der wegen seiner großen Druckfestigkeit und seiner sauberen und regelmäßigen Gestalt für das Großhaus einer der beliebtesten Baustoffe darstellt, zumal zu seiner Herstellung verhältnismäßig geringe Kohlenmengen nötig sind, ist zum Bau von massiven Außenmauern für Kleinhäuser weniger geeignet, da sein Verhalten hinsichtlich Wärmeleitfähigkeit und Wärmespeicherung wenig günstig sind. Wollte man aus Kalksandstein eine Außenwand von genügend kleinem Wärmedurchgang herstellen, so müßte man sie so dick machen, daß sie schon wegen des großen Materialverbrauches, dann aber auch wegen der zum Durchheizen nötigen Brennstoffmenge unwirtschaftlich werden würde. Die übrigen Eigenschaften des Kalksandsteins, besonders sein Verhalten gegenüber Wasser, sind vom hygienischen Standpunkt aus als durchaus gute zu bezeichnen. Schwitzwasser wird von guten Kalksandsteinen genau so gut aufgesaugt, wie von Ziegeln.

Ziegelstein.

Der gebrannte Ziegelstein verbindet mit großer Festigkeit eine beträchtliche Porosität und dementsprechend geringe Wärmeleitfähigkeit. Es ist daher ein hervorragend geeigneter Baustoff. Leider ist er zurzeit gar nicht erhältlich und wird es, solange die Kohlenknappheit andauert, auch nicht werden. Freilich hatten auch ihm Mängel an. So müssen massive Außenmauern auch aus Ziegelsteinen, wenn sie genügend wärmehaltend sein sollen, doch so dick hergestellt werden, daß die Wärmekapazität eine unerwünscht hohe wird, und im Winter zum Durchheizen große Feuerungsmengen verbraucht, während im Sommer nach längeren Hitzeperioden die aufgespeicherte Wärme das erwünschte Abkühlen der Räume verzögert. Für den Kleinhausbau wird daher, auch wenn erst wieder Ziegel zur Verfügung stehen werden, immer ihre Verbindung mit schlechter wärmeleitenden Stoffen oder Einlagerung von Hohlräumen wünschenswert sein.

Beton.

Die Verwendung von Kiesbeton, auf den sich die Angaben der Tabelle 8 beziehen, kommt wohl als massive Außenwand seiner ungünstigen Wärmeigenschaften wegen kaum in Frage. Dagegen lassen sich die Eigenschaften des Betons durch Zusatz von porösen Stoffen, Schlacken, Brikketasche, Bimsstückchen und anderes zum Zement so wesentlich verbessern, daß sie dem Ziegel hinsichtlich der Wärmeeigenschaften gleichkommen. Durch derartige Beimischungen wird aber die Tragfähigkeit des Betons herabgesetzt, und daher wird er meist in Form von komplizierteren Bauweisen verwendet, welche später im Zusammenhang besprochen werden sollen. Hier möge nur erwähnt sein, daß es in Deutschland doch einige wenige Häuser gibt, deren Umfassungswände völlig aus einem Stück in Gußbeton hergestellt sind. Man wird aber wohl der Schrift „Ersatzbauweisen“ zustimmen müssen, daß diese Bauweise wegen der umfangreichen Abstufungen und Rüstungen die Herstellung einzelner Häuser zu sehr verteuern wird, und ihre Wettbewerbsfähigkeit nur bei Herstellung vieler Häuser aus der gleichen Form erreicht werden kann. Ferner besteht vom hygienischen Standpunkt außer den erwähnten ungünstigen Wärmeverhältnissen die bedenkliche Gefahr der Reißbildung wegen der bei großen Temperaturunterschieden entstehenden beträchtlichen Spannung. Schließlich erfordert der für den Beton nötige Zement zu seiner Herstellung so viel Kohle, daß schon aus diesem Grunde eine derartige Bauweise zur Zeit nicht in Betracht kommt.

Verteilung von Festigkeit und Wärmeschutz auf zwei Stoffe.

Während man bisher zumeist zum Hausbau solche Stoffe verwandte, die mit der Festigkeit einen möglichst guten Wärmeschutz verbanden, und daher die Mauern verhältnismäßig viel zu dick machen mußte, geht man jetzt darauf hinaus, von den eigentlichen Baustoffen nur so viel Material zu verwenden, als die Festigkeit des Hauses erfordert, und den Wärmeschutz durch Anwendung besonderer Stoffe zu bewirken. Der Arbeit Henckys¹, „Der Wärmeschutz von Gebäuden“, sind die in Fig. 5 zusammengestellten Angaben über die Verbindung verschiedenartiger Baustoffe mit besonderen Wärmeschutzstoffen, die aus Baumrinde, Torf, Papier und Pflanzenabfällen hergestellt werden, und dem zurzeit kaum erhältlichen Korkstein fast gleichkommen, entnommen.

Aus der Fig. 5 ist ersichtlich, daß eine ein Stein starke Ziegel- oder Kalksandsteinmauer oder 25 cm starker Kiesbeton, an der Innenfläche mit

¹ *Bayrisches Industrie- und Gewerbeblatt*. 1919. Nr. 7/8.

einem 4 cm starken Wärmeschutzstoff verbunden, einen besseren Wärmeschutz gewährt, als eine $1\frac{1}{2}$ Stein starke Ziegelmauer, die gewöhnlich als ausreichend angesehen wird. Eine solche Baustoffersparnis ist aber bei der jetzigen Knappheit von der größten Bedeutung und wird für das Kleinhaus

<i>Die Wände</i> <i>nach der Größe des Wärmeverlustes geordnet.</i> <i>dargestellt durch die Länge der schwarzen Striche</i>		
○		Einaches Fenster N° 218
○		Doppel-Fenster N° 191
④		Kalksandsteinmauer, 1 Stein stark N° 1,46
⑩		Sparbetonwand, 6 cm mit Füllern N° 1,32
⑧		Betonwand mit Hohlsteinen N° 1,18
③		Kalksandsteinmauer, $\frac{1}{2}$ Stein stark N° 1,15
②		Backsteinmauer, 1 Stein stark N° 0,96
⑦		Betonwand mit Bimsbeton N° 0,75
⑨		Beton mit Kohlschlacke N° 0,75
①		Backsteinmauer, $\frac{1}{2}$ Stein stark N° 0,71
⑪		Betonwand mit Wärmeschutzstoff N° 0,60
⑥		Kalksandsteinmauer, 1 Stein stark mit Wärmeschutzstoff N° 0,59
⑫		Sparbetonwand mit Wärmeschutzstoff N° 0,58
⑤		Backsteinmauer, 1 Stein stark mit Wärmeschutzstoff N° 0,49

Fig. 5.

immer von großem Werte sein, da auf diese Weise auch das Wärmespeichungsvermögen der Wände in mäßigen Grenzen gehalten wird. Würde man einen Wärmeschutzstoff auch außen anbringen, so würde damit ein innerer Kern geschaffen, der nicht übermäßig viel Heizmaterial zur Durchwärmung erfordert, aber da er gegen Wärmeverluste nach außen hin möglichst geschützt wäre, doch genügend Wärme aufspeichern würde, um einen ge-

wissen Ausgleich beim Aussetzen der Heizung während der Nacht zu gewähren. Im Sommer dagegen wären derartige Wände gegen zu rasche Durchwärmung einigermaßen geschützt.

Hohlräume.

Schon seit Jahren hat man einen größeren Wärmeschutz und gleichzeitig eine Verbilligung des Bauens angestrebt durch Anwendung von Hohlräumen in den Mauern. Diese können in den einzelnen Steinen eingeschlossen sein oder dadurch entstehen, daß die Wände aus 2 Mauerschichten bestehen, die zwischen sich eine Luftschicht einschließen. Was zunächst die erste Art betrifft, so dürfte ihre Verwendung für den Kleinhausbau in vieler Hinsicht zweckmäßig sein. Bei den Hohlziegeln vermindert sich, abgesehen von dem geringeren Kohlenverbrauch zu ihrer Herstellung, der Brennstoffbedarf des Hauses, weil das Hohlziegelmauerwerk ein etwa 20 Prozent geringeres Wärmeleitvermögen besitzt. Dem geringeren Gewicht entsprechend ist auch das Wärmespeichungsvermögen ein kleineres. Es beträgt nur etwa 50 bis 60 Prozent des Vollziegels, und hier wird man zu überlegen haben, ob dieses nicht zu klein wird, und es gegebenenfalls durch Verbindung mit Vollziegeln etwas vergrößern. Der Luftdurchgang durch Hohlziegel ist naturgemäß etwas höher als durch Vollziegel. Da aber selbst bei den mehrhundertmal durchlässigeren Schwemmsteinen diese Eigenschaft nur eine untergeordnete Rolle spielt, dürfte sie beim Hohlziegel gänzlich außer acht gelassen werden. Die Hohlräume der Ziegel sind meistens seitlich offen. Entschieden zweckmäßiger dürften die rings geschlossenen Hohlblöcke sein, da bei ihnen der Mörtel nicht in die Hohlräume eindringen kann und andererseits die Luft in den Zellen besser abgeschlossen ist. Bei der Prüfung einer aus solchen Steinen hergestellten Wand wurde im Laboratorium für technische Physik in München ein um mehr als 50 Prozent geringeres Wärmeleitvermögen, verglichen mit Vollziegelmauerwerk, festgestellt. Auch die nichtgebrannten Steine werden zum Teil als Hohlsteine ausgebildet.

Nicht empfehlenswert ist es, zusammenhängende Luftschichten einzuschalten. Die eingeschlossene Luft wirkt nur als schlechter Wärmeleiter, wenn sie ruht. Dies ist aber bei hohen, eingeschlossenen Luftschichten nie der Fall. Im Winter wird die Luft des Hohlraumes an den äußeren Flächen herabsinken und an sie Wärme abgeben, während sie an den inneren emporsteigt und ihnen dabei Wärme entzieht. Ferner ist die Wärmeübertragung durch Strahlung in Hohlwänden in keiner Weise gehindert. Die Größe des auf diese Weise zustande kommenden Wärmeaustausches hängt naturgemäß ebenso wie die der Luftbewegung von dem Temperaturunterschied der sich gegenüberstehenden Flächen ab, sie pflegt

aber die durch Luftleitung und Konvektion noch zu übertreffen. Schließlich schützt auch eine solche Hohlwand nicht gegen die Übertragung von Feuchtigkeit. Wird nämlich die Luft im Hohlraum mit Wasserdampf gesättigt, was sehr leicht eintreten kann, wenn z. B. eine vom Regen durchfeuchtete Außenwand stark von der Sonne beschienen wird, so kann, wenn gleich zeitig der Innenteil der Wand niedriger temperiert ist als der Taupunkt der eingeschlossenen Luft, auf diesem eine Taubildung eintreten. Man hat dies durch Anbringen von Luftlöchern im Außenteil zu vermeiden gesucht. Dadurch wird jedoch die Taubildung nicht aufgehoben und der Wärmeschutz herabgesetzt. Hierauf hat besonders Nußbaum wiederholt hingewiesen¹. Auch die Wärmespeicherung in Hohlwänden ist naturgemäß nur eine geringe und kann schließlich zu gering werden. Alle diese Nachteile steigern sich, je dünner die beiden Teile der Hohlwand sind. Will man sie vermeiden, so muß man zu so großen Mauerstärken übergehen, daß sie für das Kleinhaus nicht mehr in Betracht kommen.

Füllung der Hohlräume mit schlechten Wärmeleitern.

Aus den erörterten Gründen erscheint es vorteilhaft, den Hohlraum mit schlecht wärmeleitenden Stoffen auszufüllen, da hierdurch die Luftbewegung verhindert und die Strahlung ebenfalls auf ein Minimum herabgesetzt wird. Wie sehr der Wärmedurchgang durch Ausfüllen der Hohlräume erniedrigt wird, geht aus nachfolgender Zusammenstellung hervor, die auf der Ausstellung für sparsame Baustoffe von der Firma H. Fechner, Charlottenburg, nach Feststellungen des Instituts für technische Physik in München ausgestellt war.

Tabelle 10.

Pfosten	Innenplatte	Außenplatte	Füllmaterial	K
Ziegel	poröse Ziegel	Ziegel	Torf	0.47
"	" "	"	hohl	1.07
"	Tonplatte	Tonplatte	Torf	0.39*
"	"	"	hohl	1.33
Beton	"	"	Torf	0.44
"	"	"	hohl	1.37
"	Gipsdiele	Zementstein	Torf	0.44
"	"	"	hohl	1.13
Ziegel	Schwemmstein	Ziegel	Torf	0.46
"	"	"	hohl	0.91
"	"	Beton	Torf	0.55
"	"	"	hohl	1.02

¹ Sitzungsberichte des Reichsverbandes zur Förderung sparsamer Bauweisen (Probeheft.)

Welches Material man zur Füllung verwendet, wird wesentlich von lokalen Verhältnissen abhängen. Die verschiedenen Eigenschaften der hauptsächlich in Betracht kommenden Füllstoffe sind in Tabelle 3 auf Seite 494 zusammengestellt. Weitere Untersuchungen über diese Stoffe sind im hiesigen Institut in die Wege geleitet. Ich möchte hier nur jetzt schon erwähnen, daß Koks, der in mancher Hinsicht sehr geeignet erscheint, zurzeit kaum für diesen Zweck verfügbar sein wird. Lehm und Kies dürften wegen ihrer verhältnismäßig hohen Wärmeleitfähigkeit unvermischt wenig geeignet sein. — Eine wesentliche Steigerung der Wärmekapazität der Hohlwände wird man durch das Auffüllen mit den üblichen Stoffen nicht erreichen; doch läßt sich auch nach dieser Richtung durch Beimengung spezifisch schwereren Materials jeder beliebige Zuwachs an Wärmekapazität erzielen. — Naturgemäß muß die äußere Wand gut gegen das Eindringen von Wasser geschützt sein, da sonst das Füllmaterial allmählich durchnäßt und in seinem Wärmeschutz ungünstig beeinflußt wird.

Besondere Bauweisen.

Die Hohlbauweise teils mit, teils ohne Ausfüllung wird von einer großen Reihe gesetzlich geschützter Bauweisen angewandt, die gleichzeitig darauf hinausgehen sollen, das Bauen durch Verwenden von leicht beschaffbarem Material in großen Baustoffeinheiten zu vereinfachen und zu verbilligen. Einige Beispiele dieser Bauweisen mögen hier hinsichtlich ihrer hygienischen Eigenschaften kurz besprochen werden.

Verschiedentlich hat man große Steine derartig konstruiert, daß aus ihnen leicht Mauern mit Hohlräumen hergestellt werden können. Zumeist sind sie I- oder L-förmig gestaltet, und der die Außenschale der Wand bildende Teil aus Kiesbeton, der innere aus Schlackenbeton hergestellt. Zu dieser Gruppe wären die „Hohlsteine“ der Deutschen Formsteinwerke, Berlin, oder von H. Fulgel, Berlin, zu zählen. Auch die Vogtsche Betonwand, die „Armierten Winkelhakensteine“ und die „Ambi-Bauweise“ gehören hierher. Für derartige Bauweisen gilt das für Hohlwände im allgemeinen Gesagte. Sie werden in der Regel einer Ausfüllung mit schlechten Wärmeleitern, manchmal auch mit wärmespeichernden Stoffen bedürfen. Außerdem könnte es möglich sein, daß die zwischen der Innen- und Außenschicht entstehenden Stege die Wärme und gegebenenfalls auch Feuchtigkeit zu sehr leiten. Die von technischer Seite betonte Gefahr, daß eine Lockerung der inneren und äußeren Schale bei den aus L-Steinen bestehenden Wänden eintreten könnte, ist auch hygienisch nicht ohne Bedeutung, da beim Auftreten von Rissen die Berechnungen über den Wärmeschutz vollständig über den Haufen geworfen werden.

Eine Unterteilung der Hohlräume ist bei einer Reihe von Wandkonstruktionen vorgesehen. So entstehen beim System Stodieck, das gewöhnliche Ziegel in besonderem Verband verwendet, schornsteinartige Doppelwände. Bei anderen Bauweisen werden durch abwechselndes flach und hochkant Legen der Steine wagerechte Kanäle gebildet. Dies dürfte die Luftbewegung erheblich vermindern und dadurch die sonst mit ihr verbundenen Mängel herabsetzen. In der Richtung parallel zur Außenfläche der Wand wird ebenfalls bei mehreren vorgeschlagenen Bauweisen der Hohlraum unterteilt. So sieht der aus Kiesbeton bestehende Leanstein eine ein- bzw. zweimalige Unterteilung vor. Noch höher in der Unterteilung geht die Sparbaugesellschaft m. b. H. Charlottenburg und am weitesten der „Thermosbau“, der bis zu sieben- und mehrfacher Unterteilung geht und auch wagerechte Unterteilung vorsieht. Bei diesen Bauweisen sucht man ebenfalls die Wärmeleitung der Stege durch Einschieben von Luftschichten herabzusetzen. Diese Anordnungen bieten zweifellos Vorteile. Durch die häufige Unterteilung wird die Strahlung sehr herabgesetzt, wegen des geringeren Temperaturunterschiedes der sich gegenüberstehenden Flächen wird die Bewegung der Luft und die Gefahr der Taubildung verringert. Gleichfalls mit allseitig geschlossenen Luftzellen arbeitet die Ibus-Bauweise. Sie besteht aus Betonplattensteinen mit Verstärkungsrippen, die so zusammengefügt werden, daß durchgehende Pfeiler entstehen. Die innere Verkleidung besteht aus Sperrholzplatten. Zum ausreichenden Wärmeschutz bedarf diese Bauweise der Anbringung einer besonderen Schutzschicht. Allseitig geschlossene Hohlsteine, die im Innern mit porösen Stoffen gefüllt sind, werden ebenfalls angewendet, z. B. der „Clususstein“ von Leschinski. Erfahrungen darüber liegen zurzeit noch nicht vor. An einem Probehaus aus solchen Steinen werden von hier aus Untersuchungen angestellt. Alle diese Bauweisen benötigen Zement, und da dieser augenblicklich schwer zu beschaffen ist, sind sie noch verhältnismäßig wenig in der Praxis ausgeführt.

Bei allen diesen Hohlbauweisen ist die Art des Füllmaterials von größerer Bedeutung, als bisher angenommen wurde. Je nach der Wahl des Grundstoffes und je nach der Mischung verschiedener Korngrößen kann dabei die Leitfähigkeit und die Wärmespeicherung in fast beliebigem Grade verändert werden. Auch hierüber sind noch weitere Untersuchungen im Gange.

Fachwerk und Holzbau.

Die alte Fachwerkbauweise ist ohne besonderen Wärmeschutz der dünnen Wände wegen nicht anwendbar. Die Beurteilung der Ersatzbauweisen in Eisen- und Eisenbetonfachwerk ist mehr Sache des Technikers

als des Hygienikers. — Der reine Holzbau aus Platten mit dazwischen liegender Wärmeschutzschicht, der in Skandinavien weit verbreitet ist, hat bisher in Deutschland als Wohnungsbau wenig Eingang gefunden. Neuerdings findet er freilich auch bei uns besonders für die Notbauten größerer Städte immer weitere Verbreitung. In den Städten verbietet sich vielfach der Lehm- oder Ziegelbau wegen der Schwierigkeit, genügende Mengen des Baustoffes heranzuschaffen. Da ist die Holzbauweise eine willkommene Hilfe, weil

Fig. 6.

hierbei keinerlei Material verwendet wird, zu dessen Herstellung Kohlen nötig sind. Die vom hygienischen Standpunkt aus zu stellenden Anforderungen sind sicherlich bei der Holzbauweise alle erfüllbar. Bei Untersuchungen, die ich¹ vor dem Kriege an einem solchen Hause angestellt habe, waren im Sommer die Temperaturverhältnisse recht günstig. Bevor jedoch ein abschließendes Urteil abgegeben werden kann, müssen diese Untersuchungen noch erheblich ausgedehnt werden.

¹ Diese Zeitschrift. Bd. LXXVII. S. 162.

Wärmeschutz durch besondere Grundrißgestaltung.

Den für den Kleinhausbau so besonders wichtigen Wärmeschutz sucht Professor Schachner, München, durch besondere Anordnung der Wohnräume im Hause zu vergrößern. Die Anordnung ist aus den nachstehenden Grundrissen zu ersehen, die ich der bereits erwähnten Arbeit von Hencky im Bayrischen Industrie- und Gewerbeblatt entnehme.

Es sind hier die Korridore, Spülküche und sonstige Nebenräume so angeordnet, daß sie gewissermaßen den Wohnräumen als Wärmeschutz dienen, während diese selbst nur durch eine kleine Wandfläche mit der Außenluft in Wärmeaustausch stehen. Eine derartige, zweifellos recht empfehlenswerte Raumanordnung ist allerdings nur beim Doppelhaus möglich, beim Einzel- oder beim Reihnhaus ist sie nicht durchführbar.

Die bisherigen Besprechungen mußten sich zum größten Teile auf Laboratoriumsversuche stützen, die viele in der Praxis hinzukommende Faktoren nicht berücksichtigen können. Sie müssen daher durch Untersuchungen an ausgeführten Bauten ergänzt werden. Solche Untersuchungen werden augenblicklich vom hiesigen Institut aus angestellt, bedürfen aber naturgemäß einer längeren Zeit. Die vorstehenden Ausführungen sollten nur einige, schon jetzt klarstellbare Fragen erörtern und zu weiteren Beobachtungen anregen. Soweit sich bisher die Baustofffrage beurteilen läßt, sollten alle irgend verfügbaren Baustoffe, vor allem der ungebrannte Lehm und Holz, soweit wie irgendmöglich schon jetzt angewendet werden, um der Wohnungsnot zu begegnen und die so dringend nötige Kleinsiedelung auf dem Lande zu ermöglichen. Vor der Verwendung komplizierterer Bauweisen in größerer Ausdehnung sind zweckmäßigerweise die Erfahrungen an einzelnen Probehäusern abzuwarten.

Anmerkung bei der Korrektur. Die in dieser Arbeit angezogenen Werte der Wärmeleit- und Durchgangszahlen sind wie erwähnt den neueren Untersuchungen Henckys entnommen. Im *Ges. Ing.* 1919. Nr. 43 machen nun Hencky selbst und ebenso Brabbée darauf aufmerksam, daß diese an lufttrockenem Material gewonnenen Zahlen für das in der Praxis meist mittelfeuchte Material zu klein sind, für den Heizungstechniker daher mit einem gewissen Zuschlag zu versehen sind. Für den Hygieniker dürfte dies belanglos sein, da es hier nur darauf ankommt, das relative Verhalten der Baustoffe zueinander kennen zu lernen, um danach ihre Geeignetheit zu bemessen.

Fig. 1

Fig. 3

Fig. 2

Fig. 5

Fig. 4

Fig. 6

Fig. 7

Fig. 8

Fig 9