

Bauhaus und Bauphysik

Eine bauphysikalische Untersuchung und Bewertung
am Beispiel Haus Oud

Holger Röseler, Pia Krause, Adrian Eitle, Eva Veres, Philip Leistner

Bauhaus und Bauphysik

Eine bauphysikalische Untersuchung und Bewertung am Beispiel Haus Oud

Während aktuell das Neue Europäische Bauhaus mit einer interdisziplinären Ausrichtung die zukünftige Gestaltung unserer Lebens- und Bauweisen in den Blickpunkt rückt, fielen vor wenigen Jahren zwei Jubiläen zusammen. 100 Jahre waren seit der Bauhaus-Gründung vergangen und 90 Jahre seit der Gründung eines der ersten Forschungsinstitute mit dem Schwerpunkt Bauphysik. Natürlich trennt beide Institutionen nicht nur ein 10-jähriger „Altersunterschied“. Mit dem historisch einzigartigen Bauhaus ist die anfangs sehr kleine Stuttgarter Gruppe bauphysikalischer Enthusiasten nicht zu vergleichen. Rückblickend lassen sich aber Ähnlichkeiten der Motive beider Initiativen konstatieren und es ist anzunehmen, dass beim „Neuen Bauen“ von Anfang an auch Überlegungen in den Entwurfsprozess einfließen, die der Bauphysik zentrale Fragestellungen und wichtige Impulse mit auf den Weg gaben. Diese Beziehung zwischen Bauhaus und Bauphysik wird am Beispiel des Reihenhauses Oud in der Weißenhofsiedlung in Stuttgart untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Bausubstanz im Reihenhaus Oud eine deutlich schlankere Konstruktion als Vergleichsbauten seiner Zeit aufwies. Die daraus resultierenden bauphysikalischen Auswirkungen, mit Fokus auf den Wärme-, Feuchte- und Schallschutz, werden analysiert. In Summe stellte das Haus Oud einen wertvollen Beitrag zur Erforschung und Weiterentwicklung von kostengünstigen, innovativen Wohnformen dar und war prägend für zukünftige Bauprozesse bis in die Gegenwart.

Stichworte Bauhaus; Neues Bauen; Haus Oud; bauphysikalische Analyse; Wärmeschutz; Feuchteschutz; Schallschutz

Bauhaus and building physics – A building physics analysis using the example of House of Oud

While the New European Bauhaus is currently focusing on the future design of our ways of living and building with an interdisciplinary orientation, two anniversaries coincided a few years ago. 100 years have passed since the founding of the Bauhaus and 90 years since the founding of one of the first research institutes focusing on building physics. The two institutions are not only separated by a 10-year “age difference”. The initially Stuttgart group of building physics enthusiasts cannot be compared with the historically unique Bauhaus. Retrospective, however, similarities in the motives of both initiatives can be observed, and it can be assumed that, from the very beginning, the Bauhaus also incorporated considerations into the design process that gave building physics central questions and important impulses along the way. This relationship between Bauhaus and building physics is investigated using the example of the house Oud in the Weißenhofsiedlung in Stuttgart.

Keywords Bauhaus; new style of construction; House of Oud; building physics analysis; thermal insulation; moisture protection; sound insulation

1 Einleitung

Die aktive Wirkungszeit des 1919 in Weimar als „Staatliches Bauhaus“ gegründeten und bereits im Jahr 1933 in Berlin geschlossenen Bauhauses betrug lediglich 14 Jahre. Dennoch beeinflussen die Ideen und Experimente des Bauhausstils bis heute das internationale Architekturgeschehen. In Amerika, Europa, der ehemaligen Sowjetunion sowie weiteren Ländern (z. B. Ungarn, Türkei, Palästina) entwickelten sich diverse internationale Strömungen und trugen die Wirkungen der Bauhausarchitektur weit über das Bestehen hinaus.

Zehn Jahre nach der Bauhausgründung wurde im Jahr 1929 der „Verein zur Förderung der Anstalt für Schall- und Wärmetechnik an der Materialprüfungsanstalt der Technischen Hochschule in Stuttgart e.V.“ gegründet, aus

dem schließlich das heutige Fraunhofer-Institut für Bauphysik hervorging. Die Schalltechnik sollte sich neben dem Schall- und Erschütterungsschutz von Gebäudekonstruktionsteilen auch Rohrleitungen und Installationskanälen sowie dem Baugrund und der Raumakustik widmen. Ferner wurde in der damaligen Denkschrift formuliert, dass die Wärmetechnik nicht nur den Wärmeschutz von Baustoffen, Bauteilen und ganzen Gebäuden unter Witterungseinfluss und Nutzerverhalten umfassen sollte, sondern auch die Feuersicherheit sowie den Wärmetransport in und an technischen Anlagen. Als eigenständiger Bereich galten die Arbeitsgebiete Heizen und Lüften in Gebäuden, Behaglichkeit und Raumklima, Haltbarkeit und Lebensdauer von Baustoffen sowie Beleuchtungstechnik. Angesichts der damaligen Wohnungs- und Ressourcenknappheit zeigen sich in dieser Ausrichtung Parallelen zu einer Reihe von Ansprüchen und Ansätzen ei-



Bild 1 Fotografische Aufnahmen des Reihenhauses im heutigen Zustand, a) Eingangsseite auf der Nordseite, b) Details mit Fenster und einem Balkon auf der Südseite
Photograph of the house (E. Veres) in its present condition, a) entrance side on the north side, b) details with window and a balcony on the south side

niger Bauhaus-Protagonisten. Trotz des späteren Starts der wissenschaftlichen Forschungstätigkeit zu bauphysikalischen Phänomenen, ist durch die enge Verknüpfung von Ästhetik und traditioneller Handwerkskunst anzunehmen, dass beim „Neuen Bauen“ bauphysikalische Kenntnisse in den Entwurfsprozess eingeflossen sind. Am Beispiel des Hauses Oud in der Weißenhofsiedlung in Stuttgart werden in diesem Beitrag bauhaustypische Merkmale hinsichtlich ihrer bauphysikalischen Eigenschaften und Qualitäten analysiert. Die Studie geht mit der Analyse des Wärme-, Feuchte- und Schallschutzes auf drei zentrale Teilgebiete der Bauphysik ein und vergleicht diese mit konventionellen Konstruktionen aus dem frühen 20. Jahrhundert. Aus der Analyse und dem Vergleich der Baumaterialien und Konstruktionen leiten sich schließlich Aussagen zur bauphysikalischen Qualität der Bauhausarchitektur ab.

2 Hintergründe

Nach dem Ende der Monarchie im Jahr 1918 setzte ein weitreichender Demokratisierungsprozess ein. Der tiefgreifende gesellschaftliche Wandel wurde auch in der Architektur und Stadtplanung durch die Formulierung von neuen Gestaltungsprinzipien aufgenommen. In diesem geistigen Klima gelingt es dem Deutschen Werkbund, Stuttgart als Partner für eine Ausstellung zum modernen Wohnen zu gewinnen. Die Rahmenbedingun-

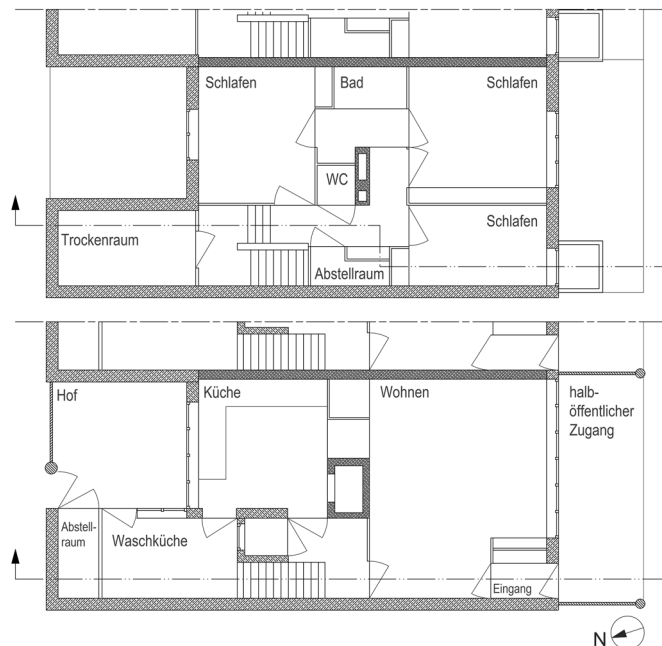


Bild 2 Schematischer Grundriss einer Reihenhauswohnung von Oud, oben: Obergeschoss, unten: Erdgeschoss, Stand 1927 nach [2]
Schematic floor plan of an apartment house by Oud, above: upper floor, below: first floor, status as of 1927 according to [2]

gen für die Weißenhofsiedlung und der internationalen Bauausstellung 1927 waren damit geschaffen. Ludwig Mies van der Rohe übernahm die Gesamtkoordination und entwarf den Bebauungsplan. Er formulierte das Problem der neuen Wohnung als „Kampf um neue Lebensformen“, weshalb auch ausschließlich die „charakteristischsten Vertreter der modernen Bewegung“ als Akteure zur Ausstellung eingeladen wurden [1]. Neben Jacobus Johannes Pieter Oud und Ludwig Mies van der Rohe waren u. a. Le Corbusier, Walter Gropius, Peter Behrens, Hans Scharoun und Bruno Taut beteiligte Architekten.

2.1 Reihenhaus von Oud

Die fünf Reihenhäuser von Jacobus Johannes Pieter Oud liegen im Süden der Weißenhofsiedlung (Bild 1). Die Wohnfläche der identisch gestalteten Reihenhäuser beträgt je 73 Quadratmeter und umfasst insgesamt 1675 Kubikmeter umbauten Raum. Das Raumprogramm der zweistöckigen Wohnungen setzte sich aus diversen Wirtschaftsräumen, einem Wohn- und Essbereich, Küche, Bad mit separatem WC sowie drei Schlafräumen zusammen (Bild 2, Bild 3 – Stand 1927, vor der Sanierung). Oud legte Wert auf sinnvolle, funktionale Organisationen von Arbeitsabläufen, die durch die Grundrissgestaltung unterstützt werden sollten.

Typische architektonische Stilmerkmale des Neuen Bauens bilden im Haus Oud neben der kubischen Grundform inklusive Flachdach, u. a. die weiße Putzfassade mit großen, streng gerasterten Fensteröffnungen, die eine Durchlüftung und Belichtung der Räume sicherstellen.

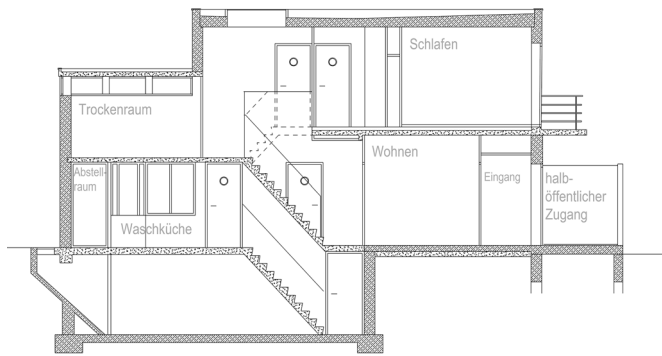


Bild 3 Schematischer Schnitt durch eine Reihenhauswohnung von Oud, Stand 1927 nach [2]
Schematic section through an apartment house of Oud, status as of 1927 according to [2]

2.2 Baumaterialien und -eigenschaften der Außenwände

Bevor im Abschnitt 3 die bauphysikalischen Merkmale der Außenwand genauer analysiert werden, steht zunächst eine kurze Übersicht der verwendeten Außenwandmaterialien und -eigenschaften im Vordergrund. Die im Text kursiv gekennzeichneten Wörter geben die Fachbegriffe mit der Wortwahl aus dem frühen 20. Jahrhundert wieder.

Oud selbst sagte zur Verwendung von Beton im Bau: „erster Grundsatz des Verfahrens ist: Verwendung kohle-sparender Baustoffe (Kies, Sand, Bims, Hochofenschlacke, Müllverbrennungsschlacke) gebunden durch eine verhältnismäßig geringe Menge Zement“ [3]. Daraus ergeben sich die in Tab. 1 dargestellten, zur damaligen Zeit gängigen Betone.

Nach Siedler bestehen die Außenwände der Reihenhäuser aus Gussbeton des Systems „Schnellbau Kossel“ [4] und die Wohnungstrennwände nach Nägele aus Kiesbeton [2]. Aus der Beschreibung der Brüder Rasch [5] wird

Tab.1 Gängige Betone, Beschreibungen und Kennwerte nach [3, 4]
Common concretes, descriptions and properties according to [3, 4]

Name	Zuschlagstoffe	Mischungsverhältnis	Druckfestigkeit [kg/cm ²]	Rohdichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [kcal/(mhC°)]
Kiesbeton	Kies, Sand	1:3	350	2200	1,10
		1:10	90		
Bimskiesbeton	Bimskies	1:4,5	70	1100	0,25
		1:8	40		
Hüttenbimsbeton	Hüttenbims, Hochofenschlacke	1:8	35–58	1140–1290	0,49
Verbrennungsschlackenbeton	Steinkohlemüllverbrennungsschlacken	1:8	78	1200	0,42
		1:20	30		
Kossel-Gussbeton (Haus Oud)	Kies, Sand, Bims, Hochofenschlacke, Müllverbrennungsschlacke	1:6 bis	–	1400	0,54
		1:12			

(Anmerkung: 1 kcal/h = 1,16 W)

ersichtlich, dass es sich beim Kossel-Gussbeton um einen geschalteten Ortbeton handelte: „Die Entstehung der Häuser Oud ist märchenhaft. In kurzer Zeit waren die Formen aufgestellt, der Beton hineingeschüttet, die Formteile wieder fortgenommen und die Häuser waren fertig.“ Der Kossel-Gussbeton stellte eine Art Übergang zwischen Leicht- und Porenbetonen dar und hatte den Vorteil der schnellen Fertigung durch die vergleichsweise gute Verarbeitbarkeit. Der Beton setzte sich im Haus Oud innerhalb eines Geschosses adaptiv entsprechend der Anforderungen aus unterschiedlichen Mischungsverhältnissen zusammen. Bis zum Fenstersturz lag das Verhältnis bei 1:12 und von dort an bei 1:6 bis zur Decke. Dieser Sachverhalt führte letztendlich zu Rissbildungen bedingt durch unterschiedliche thermische Längenänderungen [4]. Widersprüchliche Aussagen gibt es zu der Stärke des Außenputzes. In [4] wird von einem 1 cm starken Kalkzementputz gesprochen, in [2] hingegen von einer Stärke von 2 cm. Diese Studie bezieht sich bei den folgenden Analysen auf [4].

Die positiven Eigenschaften der verwendeten Mischung waren nach [4] die „Festigkeit gegen Kälte und Wärme [...] und nagelbar zu sein.“ In [6] kommt das Attribut *schallabweisend* hinzu. Nachfolgend werden diese Aussagen näher analysiert.

3 Bauphysikalische Analyse

3.1 Wärmeschutz

3.1.1 Stand des Wissens zur Zeit des Baus der Weißenhofsiedlung 1927

Erste Untersuchungen zu physikalischen Prinzipien der Wärmeübertragung sind schon im beginnenden 19. Jahrhundert von J. B. J. Fourier und J. C. E. Péclet durchgeführt worden. Sie definierten erstmals den *k*-Wert, der

von Pécelet als *Durchlässigkeitskoeffizient* bezeichnet wird und dem heutigen Lambda-Wert für die Wärmeleitfähigkeit eines Stoffes entspricht [7]. Diese physikalische Beschreibung der Wärmedurchlässigkeit hat Rietschel ab Mitte des 19. Jahrhunderts ins Bauwesen, speziell in die Heiz- und Lüftungstechnik, übertragen und 1893 in [8] zusammengefasst. Dabei ergänzte Rietschel die bisherigen Untersuchungen zum k -Wert um die Wärmeübergangswiderstände. Somit konnten erstmals *Durchlässigkeitskoeffizienten* von ganzen Bauteilen bestimmt werden. Der k -Wert war fortan bis in die 20er Jahre des 20. Jahrhunderts die prägendste Größe des Wärmeschutzes, wengleich nur selten als Planungs- oder Entscheidungskriterium. Der k -Wert ist definiert als die „Wärmemenge (k), die stündlich durch 1 qm Umschließungsfläche eines Raumes bei 1°C Temperaturunterschied von Luft zu Luft übertragen wird (*Transmissionskoeffizienten*)“ [8]. Er entspricht dem heutigen U -Wert, wobei sich die Einheit sowie die Wärmeübergangswiderstände unterscheiden. Der k -Wert ist in kcal/m²h°C angegeben, wohingegen der heutige U -Wert in W/(m²K) definiert wird.

Hencky beurteilte den Wissensstand zum Wärmeschutz 1921 und schaffte neue Kenntnisse durch den Transfer von Wissen aus dem Maschinenbau ins Bauwesen [9]. Er prangerte die zumeist empirischen Untersuchungsmethoden an, welche zwar die untersuchten Konstruktionen beurteilen, allerdings nicht auf neue Bauweisen und Bauteile übertragen werden konnten. Damit kritisierte er die bis dahin fehlenden Untersuchungsmethoden, um die „allgemeinen Gesetzmäßigkeiten des Wärmedurchgangs aufzufinden“ [9]. Auch dies führte zur teils veralteten Umsetzung des Wärmeschutzes im Wohnungsbau dieser Zeit. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts war der massive Mauerwerksbau die gängigste Konstruktion im Wohnungsbauwesen. Den Ausgangspunkt für die bis dahin durchgeführten empirischen Untersuchungen zum Wärmeschutz bildete die sogenannte Normalwand. Eine 38 cm dicke (1½ Ziegelsteine), beidseitig verputzte Ziegelwand (insgesamt 42 cm dick) [10]. Diese Konstruktion besitzt nach [4] einen k -Wert von 1,36 kcal/(m²h°C).

Obwohl die wissenschaftlichen Grundlagen zum Wärmeschutz sowie die Kenntnisse über verschiedene Materialien zu Beginn des 20. Jahrhunderts vielversprechend sind, ist die Umsetzung in behördliche Bestimmungen und Normen sowie der Wissenstransfer von Wissenschaft in Industrie nicht vollbracht [7]. Dies ändert sich grundlegend in den späten 1910er Jahren. Der Mangel an Wohnraum, Baumaterialien und Brennstoffen führte nach dem Ende des ersten Weltkrieges zum Druck, günstige und leicht herzustellende Bauweisen im Wohnungsbau zu entwickeln. Dies mündete in den 1920er Jahren in neue Bauweisen, die sich gestalterisch und konstruktiv von dem klassischen Mauerwerksbau und der damit verbundenen monolithischen Bauweise abwendeten. Durch die fehlenden Brennstoffe und die Kritik aus der Wissenschaft rückte auch der bauliche Wärmeschutz mehr und mehr in den Fokus des Bauwesens [9, 11]. Das Aufkommen neuer Zuschlagstoffe führte zur Entwicklung neuer

Betone mit besonderen Eigenschaften [12–14]. Die neuen Bauweisen zeichneten sich gerade zu Beginn der 1920er Jahre durch ihren experimentellen Charakter aus.

3.1.2 Analyse des Reihenhauses Oud

Um den Wärmeschutz im Haus Oud zu bewerten, wird die Außenwand mit vier typischen zeitgenössischen Konstruktionen verglichen. Herangezogen werden:

- 1) eine gängige Normalwand (wie zuvor beschrieben),
- 2) eine zweischalige Ziegelwandkonstruktion; die Konstruktion ist als erste bauphysikalische Optimierungsvariante der Zeit zu verstehen,
- 3) eine Sparwand im 1-Stein-Format; die Konstruktion resultierte aus den knappen Baustoffverfügbarkeiten der Nachkriegszeit [15],
- 4) eine typische Kiesbetonwand als Vergleich für die aufkommenden Betonkonstruktionen.

In Tab. 2 sind der k -Wert, ein aus dem k -Wert umgerechneter U -Wert sowie der U -Wert nach heutiger Berechnung aufgeführt. Die Konstruktionen basieren auf Angaben von [4]. Für alle fünf Konstruktionen werden der Innenputz als Gipsputz ($\lambda = 0,3$ W/(mK)) und der Außenputz als Kalkzementputz ($\lambda = 0,8$ W/(mK)) mit der angegebenen Stärke nach [16], [2] und [4] angenommen. In Anlehnung an [4] und [16] sind die Ziegel mit $\lambda = 0,9$ W/(mK) und der Kiesbeton mit $\lambda = 2,1$ W/(mK) in die Berechnungen einbezogen. Oud nutzte das Aufkommen neuer Betonmischungen, um eine schlanke Konstruktion zu erschaffen (vgl. Materialeigenschaften Tab. 1). Für die Berechnung des U -Werts der Oudschen Konstruktion wird der λ -Wert von 0,54 kcal/(mh°C) nach [4] in die heute verwendete Einheit 0,63 W/(mK) umgerechnet. Anhand Tab. 2 wird ersichtlich, dass meist niedrigere U -Werte nach heutiger Berechnung im Vergleich zu der früheren Berechnungsgrundlage anhand des k -Wertes vorliegen. Dies liegt an den veränderten Wärmeübergangswiderständen sowie den Annahmen der Materialeigenschaften. Die Außenwandkonstruktion von Oud schneidet wärmeschutztechnisch geringfügig schlechter ab als die Normalwand und die zweischalige Ziegelwand. Beim Vergleich mit der Normalwand und der zweischaligen Ziegelwand zeigt sich der Vorteil des von Oud verwendeten Betons. Trotz einer 16 cm bzw. 10 cm dünneren Konstruktion wird ein vergleichbares Wärmeschutzniveau erreicht. Aufgrund der zuvor aufgeführten Einflüsse dieser Zeit (Wohnraum- und Baustoffmangel) legte Oud den Planungsschwerpunkt auf das raum- und baustoffsparende Wohnen, eine schnelle Errichtung sowie die daraus folgende Baukosteneffizienz. Demgegenüber steht der etwas höhere Verbrauch an Brennstoffen aufgrund des höheren Wärmeverlustes im Vergleich zur klassischen Ziegelbauweise. Der gesamtheitliche Vergleich in Tab. 2 spricht für die Verwendung neuer Materialien nach Ouds Prinzip, um kostengünstigere sowie material- und raumsparende Bauweisen zu etablieren. Oud zeigte mit seiner Konstruktion den Weg für die zukünftige monolithische Bauweise auf. Dämmende und

Tab. 2 Vergleich der Außenwand Oud mit damals typischen Außenwandkonstruktionen; die Gesamtdicke und der k -Wert nach [4]; Umrechnung k - in U -Wert anhand der Einheiten mit $1 \text{ kcal/h} = 1,16 \text{ W}$; U -Wert heute auf Grundlage der aktuell üblichen Berechnung mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ sowie $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
 Comparison of the exterior wall Oud with typical constructions of the time; the total thickness and the k -value according to [4]; conversion of k -value to U -value using the units with $1 \text{ kcal/h} = 1.16 \text{ W}$; U -value today based on the currently common calculation with the heat transfer resistances $R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$ and $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Konstruktion	Gesamtdicke [cm]	k -Wert [kcal/(m ² h°C)]	Umrechnung k - in U -Wert [W/(m ² K)]	U -Wert heute [W/(m ² K)]
Außenwand Oud: Kessel-Gussbeton, beidseitiger Putz (je 1 cm)	26	1,5	1,74	1,67
Vollmauerwerk im Blockverband, beidseitiger Putz (je 2 cm) (Normalwand)	42	1,36	1,58	1,47
Normalziegel mit 8 cm senkrechter Luftschicht, beidseitiger Putz (je 2 cm)	36	1,48	1,72	1,41
1-Stein-Wand	29	1,78	2,06	1,85
Kiesbetonwand	29	2,46	2,85	2,91

zugleich tragende Konstruktionsmaterialien sind bis heute genauso in Verwendung wie die Skelett- und Plattenbauweise.

3.2 Feuchteschutz

3.2.1 Stand des Wissens zur Zeit des Baus der Weißenhofsiedlung 1927

Bewegt durch den Gedanken der „Sparsamkeit beim Brennstoffverbrauch im Bauwesen“ beschäftigte sich Hencky in [9] neben dem Wärmeschutz auch mit der Feuchtigkeit am Bau. Er analysierte Themen zur Baufeuchte, aufsteigendes Wasser, Schlagregen sowie die damit verbundene Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit durch Feuchtigkeit. Er schlussfolgerte, dass Gussbauweisen, im konkreten Fall Bimsbeton, einen höheren Feuchtegehalt haben als Steinbauweisen und daher wärmetechnisch ungünstiger sind. In [9] leitete er des Weiteren einen Mindestwärmeschutz von Außenwänden anhand der Vermeidung von *Schwitzwasser* an den Innenoberflächen her. Unter den Randbedingungen von 15°C Innen- und -20°C Außenlufttemperatur bei einer relativen Feuchte innen von 70% ermittelte er einen maximalen k -Wert von 1,18 kcal/(m²h°C) ($U = 1,37 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Die hohen relativen Feuchten im Innenraum zur damaligen Zeit sind damit zu begründen, dass meist auf engem Raum sowohl viele Personen lebten, als auch Nutzungen mit hoher Feuchtelast (Kochen, Wäschewaschen und -trocknen) stattfanden. Heute werden für die Randbedingungen zwar abweichende Werte angenommen, dennoch war Henckys Vorgehensweise schlüssig. Dies wird anhand seines Ansatzes (Gl. 1) ersichtlich, der sich äquivalent durch Gleichungen der DIN 4108-3 [17] darstellen lässt.

$$k = \alpha_1 \frac{t_1 - \vartheta_1}{t_1 - t_2} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}} \right] \quad (1)$$

Bei seiner Berechnung erhielt Hencky jedoch eine Taupunkttemperatur von 9,1°C, nach [17] liegt dieser Wert bei 9,6°C. Als Wärmeübergangskoeffizient α_1 setzte er 7 kcal/(m²h°C) an, einem R_{si} von ca. 0,12 m²K/W entsprechend, wohingegen je nach Berechnungsfokus heute in der Regel ein Wert von 0,13 m²K/W, bei Betrachtung an Wärmebrücken 0,25 m²K/W [18] verwendet wird. Abschließend ist bei heutiger Betrachtung nicht die Vermeidung von *Schwitzwasser* ausschlaggebend, sondern die Vermeidung des Schimmelpilzwachstums, was einer kritischen relativen Feuchte von 80% an der Oberfläche entspricht. Demnach ist aus heutiger Sicht Henckys Wert äußerst optimistisch abgeschätzt, wie aus Tab. 3 ersichtlich wird.

Die von Hencky ermittelte *Wärmedurchgangszahl* entsprach nach seiner Darstellung der einer Normalwand. Es ist kritisch zu hinterfragen, ob die Innenraumbedingungen gerade aus diesem Grund gewählt wurden oder den damaligen Gewohnheiten entsprachen. Für die erste Annahme spricht, dass nur wenige Jahre später Siedler in [4] diese Rechnung mit realistischeren Werten von 20°C Innenraumtemperatur und 70% relativer Feuchte anstellte. Des Weiteren erhielt er einen abweichenden k -Wert

Tab. 3 Berechnung des Mindestwärmeschutzes nach Hencky [9] und DIN 4108 [17; 18] bei den Randbedingungen 15°C Innenlufttemperatur, -20°C Außenlufttemperatur und relative Feuchte innen 70%
 Calculation of the minimum thermal insulation according to Hencky [9] and DIN 4108 [17; 18] with the boundary conditions of 15°C inside air temperature, -20°C outside air temperature and relative humidity inside 70%

Berechnung nach	Hencky	DIN 4108	
Kritische rel. Feuchte [%]	100	100	80
kritische Oberflächentemperatur [°C]	9,1	9,6	12,9
R_{si} [m ² K/W]	0,12	0,13	0,13
k -Wert [kcal/(m ² h°C)]	1,18		
U -Wert [W/(m ² K)]	1,37	1,19	0,46

(Tab. 2) – ein Indiz für die damals dynamische Forschungstätigkeit.

In seiner Arbeit beschrieb Hencky auch den durch niedrigere Konvektion sinkenden Wärmeübergangskoeffizienten in den Ecken von Räumen und das damit verbundene höhere Risiko von *Schwitzwasser*. Es kann also davon ausgegangen werden, dass grundlegende wissenschaftliche Hintergründe zum Feuchteverhalten an Bauteiloberflächen vorhanden waren. Erst später wurde begonnen, die Feuchteverteilung im Bauteil zu untersuchen. 1932 erläuterte Cammerer in [19] einen Versuch zur Untersuchung der *Feuchtigkeitswanderung* in einem Bauteil. Dies lässt darauf schließen, dass zum Zeitpunkt der Errichtung der Reihenhäuser Ouds noch keine Kenntnisse diesbezüglich vorlagen. Ebenso erschließt sich damit die Tatsache, dass in der damaligen Literatur und wissenschaftlichen Auseinandersetzung als Ausführungsvarianten für Dämmungen vor dem Hintergrund der üblichen intermittierenden Heizphasen vorwiegend Innendämmungen vorgeschlagen wurden [4, 15, 20]. In [15] wird zusätzlich der Aspekt einer höheren thermischen Behaglichkeit angeführt.

Weitere Aspekte des Feuchteschutzes, der Hygrothermik und des Raumklimas, die eng miteinander verbunden sind, wurden zur Zeit der Bauhausarchitektur von *Hygienikern* (Medizinern) adressiert und erforscht, beispielsweise die Arbeitsgruppe um Korff-Petersen [20–22] oder die Untersuchungen von Pettenkofer [23]. Die nach ihm benannte „Pettenkofer“-Zahl als Grenzwert für hygienisch unbedenkliche Raumluft ist bis heute von Bedeutung [11]. Jedoch dürfte bei Kleinhäusern die Innenluftqualität, mit Ausnahme einer hohen Feuchtlast, eine untergeordnete Rolle gespielt haben, da nach Schachner [15] von einer *Selbstlüftung* (Infiltration) von 1 h^{-1} auszugehen war, die sich je nach Wind- und Temperaturverhältnissen noch vergrößern konnte.

In der Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten [21] wurden 1- bis 4-Familienhäuser in städtischen Gebieten – vergleichbar den Reihenhäusern Ouds – hinsichtlich der „im gesundheitlichen Interesse zu stellenden Anforderungen an die Lüftung“ untersucht. Demnach führte die anfallende Feuchte regelmäßig an den ungedämmten

Außenwänden (und nicht unterkellerten Bodenplatten) zu Tauwasserausfall und sogar zu Wasserdampfsättigung der Raumluft, da die Gebäude oft überbelegt waren. Es resultierte Schimmelpilzbildung, die wiederum zu gesundheitlichen Problemen führte. Als behagliche relative Luftfeuchte wurde bereits damals ein Wert von maximal 60% angegeben. Dieser Wert sollte nach Untersuchungen des Autors entweder durch Stoß- oder idealerweise *maßvolle* Dauerlüftung *ohne Zugerscheinung* erreicht werden, was jedoch bautechnisch oft nicht möglich war und den damaligen Gewohnheiten *der kleinen Leute* widersprach.

3.2.2 Analyse des Reihenhauses Oud

Die monolithische Außenwandkonstruktion der Reihenhäuser Ouds wies entsprechend Ziffer 3.1 für heutige Maßstäbe einen verhältnismäßig hohen U -Wert auf, der darauf schließen lässt, dass es an den Oberflächen zu kritischen Feuchten kam. In Tab. 4 werden die rechnerischen Oberflächenbedingungen dieser und der konventionellen Konstruktionen aus Tab. 2 bei unterschiedlichen Randbedingungen dargestellt. Es zeigt sich bei allen drei Konstruktionen unter Annahme damaliger Randbedingungen [4, 9] Tauwasserausfall an den Innenoberflächen der Außenwände. Siedler verwendete nach [4] für die Außenluft die in einem Zeitraum von 45 Jahren ermittelten niedrigsten *Wärmestände*, also Extremwerte. Alle Konstruktionen mit Ausnahme des Kiesbetons erreichen dagegen rechnerisch eine relative Feuchte von unter 80% unter Annahme heute gängiger Randbedingungen nach [17] an den ungestörten Oberflächen und liegen dort unter dem kritischen Wert für Schimmelpilzwachstum. Die nach [17] niedrigeren Feuchten im Innenraum könnten bei Oud im Gegensatz zu herkömmlichen Gebäuden erreicht worden sein, da straßenseitig im Erdgeschoss ein abgesetzter Hauswirtschaftsraum mit Öffnungen zu einem Vorhof liegt (Bild 2, Bild 3). Diese architektonische Maßnahme separierte Funktionen mit hoher Feuchtelast vom Wohnbereich, was dort insgesamt zu einer niedrigeren Luftfeuchte geführt haben dürfte.

Eine deutliche schlechtere Qualität zeigt sich bei der Wärmebrückenberechnung (mit Psi-Therm [24]) einer ty-

Tab. 4 Oberflächentemperaturen und -feuchten für unterschiedliche Konstruktionen und Randbedingungen
Surface temperatures and humidities for different constructions and boundary conditions

Randbedingungen	Konstruktion													
	Oud		Normalwand		2-schalige Ziegelwand		1-Stein Wand		Kiesbeton					
	$U = 1,67 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$		$U = 1,47 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$		$U = 1,41 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$		$U = 1,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$		$U = 2,91 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$					
	θ_i [°C]	φ_i [%]	θ_e [°C]	θ_{si} [°C]	φ_{si} [%]	θ_{si} [°C]	φ_{si} [%]	θ_{si} [°C]	φ_{si} [%]	θ_{si} [°C]	φ_{si} [%]	θ_{si} [°C]	φ_{si} [%]	
Hencky [4]	15	70	-20	7,4	100	8,3	100	8,6	100	6,6	100	1,8	100	
Siedler [12]	20	70	-20	11,3	100	12,4	100	12,7	100	10,4	100	4,9	100	
DIN 4108-3 [2]	20	50	-5	14,6	70	15,2	68	15,4	67	14,0	73	10,5	92	

atischen Schwachstelle der Gebäudehülle, der auskragenden Balkonplatte (Bild 4). Im unteren Geschoss ist der Eingangsbereich mit Holztür, oben befindet sich die Balkontür. Selbst bei den günstigen Randbedingungen mit 20°C Innenluft- und -5°C Außenlufttemperatur zeigen sich sehr niedrige Innenoberflächentemperaturen, die teilweise den Gefrierpunkt an der einfachen Verglasung der Balkontür unterschreiten. Aber auch an den einfachen Stahlprofilen der Verglasung und der Eingangstür liegen die Temperaturen um den Gefrierpunkt. Von Oberflächentauwasser ist daher auszugehen. An der Innenecke (Sturz und Decke) wird der kritische Wert für Schimmelpilzwachstum zwar nicht eingehalten, jedoch nur knapp unterschritten.

Zur damaligen Zeit stellte die Oudsche Konstruktion aus Kossel-Gussbeton einen guten Kompromiss dar, die als schlanke Bauweise mit 26 cm noch platzsparender als die 1-Stein-Wand war, jedoch im ungestörten Bereich bessere Eigenschaften aufwies. Die Betrachtung der Wärmebrücken zeigt jedoch erhebliche Schwachstellen. An den Fenstern lösten Stahlprofile die im Wohnungsbau traditionell gebräuchlichen Holzfenster [25] ab, die oft als Kastenfenster mit zwei Scheiben ausgeführt waren. Diese Profile, als schlankes architektonisches Element, in Verbindung mit einem für diesen Zweck neuen Baustoff, führten zu einer verschlechterten bauphysikalischen Qualität. Gleichzeitig konnten gerade solche Innovationen langfristig zu neuen Produkten führen, sofern aus den Schwachstellen gelernt und sich dieser Herausforderung gestellt wurde.

3.3 Schallschutz

3.3.1 Stand des Wissens zur Zeit des Baus der Weißenhofsiedlung 1927

Neben dem Wärme- und Feuchteschutz galt auch der Schallschutz als ein wichtiger Aspekt, um gesunde Bauwerke zu errichten. Unerwünschte Schallübertragung waren bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts ein bekanntes Problem. Anlässlich der Gründung der Anstalt für Schall- und Wärmetechnik wurde auf den „stetig zunehmenden Verkehr“ mit den Folgeerscheinungen Lärm, Geräusche und Erschütterungen aller Art verwiesen, verbunden mit Belästigung und gesundheitlicher Schädigung der Menschen. Die statistischen Ämter gingen 1930 von ca. 280.000 Pkw und 390.000 Motorrädern in Deutschland aus [26].

Insbesondere bei den neuen Bauweisen sind vermehrt Belästigungen durch Schallübertragung oder Erschütterungen verzeichnet worden [27]. Solche Mängel führte Hencky auf Unkenntnis und Unsicherheit der Baufachleute bei der Anwendung der richtigen Maßnahmen zurück. Nach seiner Erkenntnis hatte sich der Schallschutz bei den neueren Bauten gegenüber den traditionellen Bauweisen verschlechtert. Obwohl einige wichtige wissenschaftliche Grundlagen der Bau- und Raumakustik

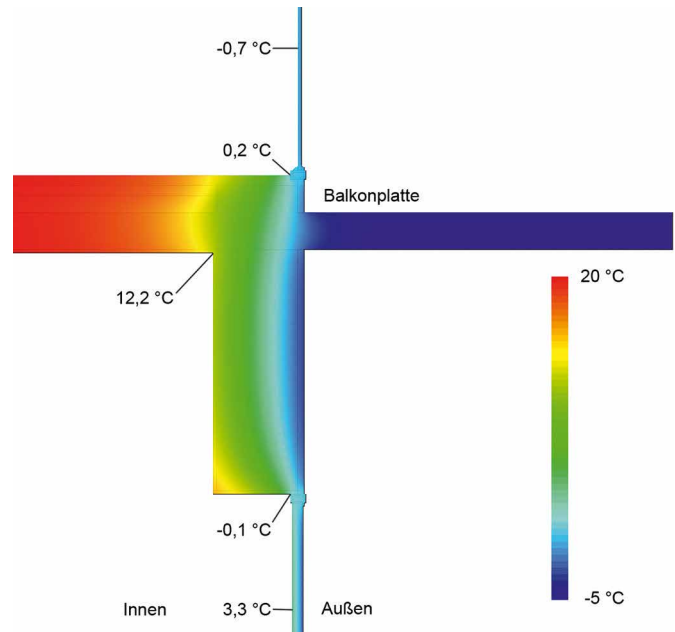


Bild 4 Ergebnis Wärmebrückenberechnung (PSI-Therm [24]) der Deckenplatte mit auskragendem Balkon, modelliert nach [2]
Result of the thermal bridge calculation (PSI-Therm [24]) of the ceiling slab with cantilevered balcony, modeled according to [2]

bereits vor 1920 gelegt wurden, waren die entsprechenden Kenntnisse selbst in der Fachwelt noch nicht ausreichend verbreitet.

1910 beschäftigte sich der deutsche Physiker F. Weisbach in Leipzig [28] mit der experimentellen Bestimmung der *Schalldurchlässigkeit*, *Schallreflexion* und *Schallabsorption* von diversen Baumaterialien bei 236 Hz. Er benutzte eine Stimmgabel in einem Resonanzkasten als Schallquelle und ein Telefon zusammen mit einem *Saitengalvanometer* als Mikrofon. Aufgrund seiner Messergebnisse formulierte er praktische Hinweise für die Ausführung von Trennwänden. Er schreibt „Zu Isolationszwecken wird man daher (...) Doppelwände benützen, den Zwischenraum aber statt mit grober Asche mit dickem und vor allem weichen Filz oder dergleichen Material anfüllen“. Im Jahr 1911 veröffentlichte Berger in München seine Dissertation über den Zusammenhang zwischen der Schalldämmung und der flächenbezogenen Masse eines Bauteils [29]. Weitere zwei Jahre später belegten die Versuche von Ottenstein [30], dass eine weitere Erhöhung der Luftschalldämmung durch Einschaltung weicher Zwischenschichten erfolgen kann, da dadurch die Körperschallweiterleitung verringert wird. Zu gleicher Zeit, zwischen 1910 und 1915, entwickelte der amerikanische Physiker W. C. Sabine die Grundlagen der Raumakustik. Die Veröffentlichung seiner Arbeiten erfolgten jedoch erst später [31].

Anders als beim heutigen Schalldämm-Maß wurde anfangs der Kehrwert des *Durchlassgrades*, d.h. das Verhältnis der auf eine Wand auftreffende *Schallstärke* E_1 zu der von der Wand abgegebenen *Schallstärke* E_2 gebildet. Die *Schallstärke* entspricht dem heutigen Begriff Schallintensität und wurde in $\text{Erg}/(\text{cm}^2\text{s})$ gemessen ($1 \text{ Erg}/(\text{cm}^2\text{s})$)

= 10^{-3} W/m^2). Da die erhaltenen Werte für das dimensionslose Verhältnis der *Schallstärken* zwischen Tausend und mehrere Hunderttausend variierten, wurde die logarithmische Schreibweise eingeführt. Gebräuchlich war auch der Begriff *Schallisolationssziffer i*, angegeben in Phon:

$$i = 10 \cdot \log \frac{E_1}{E_2} \text{ [Phon]} \quad (2)$$

Seit ca. 1930 sind in der Fachliteratur Angaben über die sogenannte *Luftschall-Dämmzahl* zu finden. Diese gibt die *Dämpfung* als Differenz der *Lautstärke* auf der lauten (S_1) und auf der leisen Seite (S_2) eines Trennbauteils an. Da die *Lautstärke* in Phon gemessen wurde, erhielt man das Ergebnis ebenfalls in Phon. In [4] wird zwar darauf hingewiesen, dass dabei *in dem angrenzenden Raum durch Widerhall die Lautstärke etwas vergrößert* wird, eine Methode, diesen Einfluss zu korrigieren, schien aber noch nicht vorhanden zu sein.

Obwohl die Geburtsstunde der Bauakustik vor 1920 lag, wird 1932 von Siedler nicht ohne Grund bemängelt, dass sich die Erforschung des Schallschutzes noch mitten in der Entwicklung befinde [4]. Anhand der geringen Anzahl der Veröffentlichungen kann festgestellt werden, dass die Schallübertragung im Hochbau in der technischen Literatur bis 1930 weitaus weniger intensiv behandelt wird als der Wärmeschutz. Planende und Ausführende hätten jedoch festgelegte Anforderungen und klare Anweisungen zur Bauausführungen benötigt, um den entsprechenden Schallschutz erfüllen zu können. Allgemeine Anforderungen an eine mindestens einzuhaltende Luft- oder Trittschalldämmung sind aus der Literatur bis 1930 nicht ersichtlich.

1931 veröffentlichte E. Mayer die Ergebnisse der ersten systematischen Messreihen an verschiedenen einschaligen Wänden mit unterschiedlichen Wandgewichten. Darauf folgten 1932 und 1933 weitere Messergebnisse von anderen Forschenden, die Versuche an Wänden aus Bimsbeton, Gipsdielen, Schlackenbeton, Schwemmstein und Ziegeln sowie aus Fensterglas und Eisenblech durchführten. 1932 publizierte Berger seine neuen Forschungsergebnisse [32] und verglich diese mit anderen Ergebnissen (Bild 5). Der *Schallisolationssindex* oder die *Luftschall-Dämmzahl* wurde allerdings in unterschiedlichen Frequenzbereichen als Mittelwert errechnet. Die untere Grenzfrequenz lag bei 100 Hz oder 150 Hz, die obere bei 3000 Hz oder 4800 Hz. Daher sind die Werte nicht vergleichbar.

Als eine der ersten Mindestanforderungen für den Schallschutz definierte Reiher 1932 für Wohnungstrennwände und -decken eine Luftschalldämmung von mindestens 60 Phon und eine höchstzulässige *Trittschalldurchlässigkeit* für Wohnungsdecken von maximal 40 Phon [34].

Erst 1940 erschien die erste DIN-Norm, die als Vorgängerin der heutigen DIN 4109 Schallschutz im Hochbau

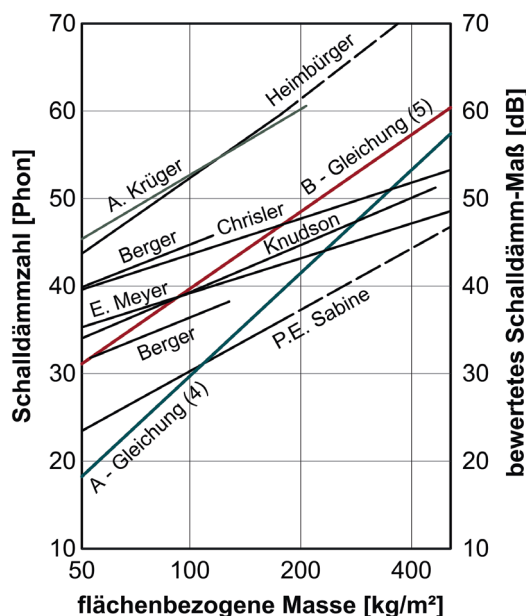


Bild 5 Grafische Darstellung der mittleren Schalldämm-Maße, die von verschiedenen Forschenden ermittelt und 1932 von Berger publiziert wurden [32]. Zum Vergleich stellen die Kurven A nach Gl. (4) und B nach Gl. (5) die nach [33] rechnerisch zu erwartenden bewerteten Schalldämm-Maße einschaliger Massivwände dar. Graphical representation of the average sound insulation values determined by various researchers and published by Berger in 1932 [32]. For comparison, the curve A according to equation (4) and the curve B according to equation (5) represent the weighted sound reduction indexes of single-shell solid walls to be expected according to [33].

betrachtet werden kann. Diese hieß DIN 4110 „Technische Bestimmungen für die Zulassung neuer Bauweisen“. Sie war ausschließlich für den Wohnungsbau gedacht und der Abschnitt D.11 behandelte den Schallschutz [35]. Ein bewertetes Schalldämm-Maß gab es noch nicht. Aus den dort genannten flächenbezogenen Massen der Bauteile lassen sich die entsprechenden R'_w -Werte abschätzen. Danach mussten die Trennwände ein $R'_w = 54 \text{ dB}$ und die Decken ein $R'_w = 52 \text{ dB}$ aufweisen. Eine verbindliche Aussage über den Trittschallschutz gab es bis 1962 nicht.

3.3.2 Analyse des Reihenhauses Oud

Schallschutz gegen Außenlärm

Weder zum Straßenverkehrslärm im Umfeld der Reihenhäuser von Oud Anfang des 20. Jahrhunderts noch zu Schallschutzüberlegungen gibt es fundierte Aussagen. Die Außenwände, die bauphysikalisch vor allem dem Wärme- und Feuchteschutz dienten, hatten aus Sicht des Schallschutzes dennoch die Aufgabe, Innenbereiche der Wohnungen ausreichend gegen den Außenlärm abzuschirmen. Aus heutiger Sicht sind die Anforderungen nach [36] in Abhängigkeit vom maßgeblichen Außenlärmpegel festgelegt:

$$R'_{w,ges} = L_a - K_{Raumart} \text{ [dB]} \quad (3)$$

Dabei sind:

L_a Maßgeblicher Außenlärmpegel entweder aus Tabellen, Messungen, Lärmkarten oder aufgrund des Diagrammverfahrens nach [37]

$K_{\text{Raumart}} = 30 \text{ dB}$ für Aufenthaltsräume

Wird von einem damals maßgeblichen Außenlärmpegel unter 55 dB ausgegangen, dies entspricht einem ruhigen Wohngebiet, ergibt sich ein erforderliches resultierendes Schalldämm-Maß der Außenfassade inklusive Fenster von 25 dB. Das bewertete Schalldämm-Maß R_w einer einschaligen Wand kann nach [33] selbst bei nicht genau bekanntem Wandmaterial anhand der flächenbezogenen Masse m' mithilfe der folgenden Gleichung abgeschätzt werden:

$$R_w = (37,5 \lg(m'/m'_0) - 42) \text{ [dB]} \quad (4)$$

mit

$$m'_0 = 1 \text{ kg/m}^2$$

Für einschalige Massivwände aus Beton und Mauerwerk aus Betonsteinen, Kalksandsteinen, Mauerziegeln und Verfüllsteinen wird nach [33] und [38] die folgende Näherungsformel verwendet:

$$R_w = (30,9 \lg(m'/m'_0) - 22,2) \text{ [dB]} \quad (5)$$

mit

$$m'_0 = 1 \text{ kg/m}^2$$

Die bei der wärme- und feuchtetechnischen Analyse beschriebene Außenwandkonstruktion aus Kessel-Gussbeton (Ziffer 3.1 und 3.2) hatte eine flächenbezogene Masse von ca. 280 kg/m² und somit nach Gl. (4) ein bewertetes Schalldämm-Maß von ca. 50 dB. Unter Berücksichtigung von Fenstern mit einer Einfachverglasung und mit einer Rahmenkonstruktion aus Stahl, d.h. mit einer geringen Schalldämmung zwischen 15 dB und 25 dB, konnten die heutigen Anforderungen bei einem Fensterflächenanteil von ca. 17% (Bild 1a) erfüllt werden. Außerdem stellte die günstige Grundrissanordnung der Räume (Bild 2, Bild 3) sicher, dass die nach Süden orientierten und an einer halböffentlichen Straße angrenzenden Aufenthaltsbereiche kaum einem nennenswerten Lärm ausgesetzt waren. Einzige Ausnahme bildete das nach Norden angeordnete Schlafzimmer (Bild 2, oben), das aber durch den Innenhof vom Straßenlärm ebenfalls abgeschirmt war.

Schallschutz zwischen fremden Wohneinheiten

Die Grundrissgestaltung von Reihenhäusern lässt wenig Spielraum für individuelle Lösungen. Im Gegensatz zu Doppelhäusern, bei denen unter anderem aus schalltechnischen Gründen die Grundrisse der Haushälften gespiegelt werden, reihte Oud fünf identische Wohnungen streng aneinander. Schalltechnisch ungünstige Situationen können entstehen, wenn die gemeinsame Haustrennwand Räume mit unterschiedlichen Funktionen voneinander trennt. Beispielsweise ist die Körperschallübertragung

von Treppen kritisch, wenn diese an die Haustrennwand grenzen. Oud war möglicherweise das Problem bewusst, denn er hat im Erdgeschoss neben der Treppe die Küche des Nachbarhauses angeordnet (Bild 2, unten). Im Obergeschoss konnte jedoch nicht mehr verhindert werden, dass ein fremdes Schlafzimmer an eine Trennwand mit Treppe angrenzt (Bild 2, oben). Da damals über Trittschallschutz wenig bekannt war, es keine einheitliche Messmethode gab und keine Anforderungen gestellt wurden, musste diese Lösung in Kauf genommen werden. Sonst grenzen im Erdgeschoss Wohnzimmer an Wohnzimmer und im Obergeschoss Schlafzimmer an Schlafzimmer bzw. Abstellraum an das Bad. Es stellt sich dabei in erster Linie die Frage, ob die fremden Aufenthaltsräume, d.h. die Bereiche Wohnen und Schlafen gegen Luftschallübertragung ausreichend geschützt wurden.

Aus heutiger Sicht sind die Mindestanforderungen an die Luftschalldämmung zwischen Reihenhäusern nach DIN 4109 [36] geregelt. Im Erdgeschoss sollte das bewertete Schalldämm-Maß über 59 dB und in den Obergeschossen über 62 dB liegen. Dabei wird von zweischaligen Konstruktionen ausgegangen. In den Oudschen Reihenhäusern wurden die Haustrennwände jedoch, wie damals üblich, einschalig ausgeführt, denn 1927 fehlten noch jegliche Hinweise auf einen einzuhaltenden Schallschutz. 17 Jahre später wurde für eine Wohnungstrennwand eine *Schalldämmzahl* von $D \geq 48$ Phon gefordert. Erst 1962 wurden in der DIN 4109 Anforderungen an Reihenhäuser formuliert. Der dort geforderte Luftschallschutzmaß von 3 dB entspricht einem bewerteten-Bauschalldämm-Maß von $R'_w = 55$ dB.

Aus [2] geht hervor, dass die Fundamente und alle konstruktiven Teile aus Kiesbeton hergestellt wurden. Dementsprechend ist von einer flächenbezogenen Masse der Trennwand von ca. 440 kg/m² auszugehen. In Bild 5 kann in Anlehnung an die Untersuchungen von Erwin Meyer (Kurve E. Meyer) eine *Schalldämmzahl* von 48 Phon abgelesen werden. (Die Ergebnisse von E. Meyer bildeten die Grundlage der späteren DIN 4109-1944.) In einem Bericht des Regierungsbaumeisters Langen steht über den Schallschutz der Oudschen Reihenhäuser [39]: „Decken und Wohnungstrennwände bieten genügenden Schallschutz“. Aufgrund der Untersuchungen von Reiher aus München bekamen die Wohnungstrennwände auf einer Skala von „I“ (beste) bis „X“ (schlechteste) die mittlere Note „V“. Aus heutiger Sicht ist der Schallschutz der Haustrennwände in den Oudschen Reihenhäusern nicht ausreichend. 1927 gab es jedoch weder Kenntnisse über das Schalldämmverhalten der damaligen Wandmaterialien, noch Anforderungen an den Schallschutz. Das Reihenhäuser Oud löste die Problematik dennoch durch eine durchdachte Grundrissgestaltung.

4 Zusammenfassung

Durch die bauphysikalische Analyse des Reihenhauses Oud kann dargelegt werden, dass die Bausubstanz eine

gegenüber Vergleichskonstruktionen deutlich schlankere Konstruktion aufwies und demnach als material- und raumsparend zu bewerten ist. Gleichzeitig hatten die verringerten Querschnitte zur Folge, dass der Wärmeschutz, trotz verbesserter Wärmeleitfähigkeit der Materialien, in Summe geringfügig schlechter als bei der damals gängigen „Normalwand“ war. Die Analyse des Feuchteschutzes verdeutlicht, dass trotz eines geringeren Querschnitts wahrscheinlich kein Tauwasser an den ungestörten Oberflächen ausfiel. Kritisch waren hingegen die Wärmebrücken durch Balkonauskragung und Fensterstahlprofile. Aufgrund von Oberflächentemperaturen mit $< 5^{\circ}\text{C}$ ist von Schimmelpilzbildung in Folge von Tauwasserausfall auszugehen. Der Schallschutz hatte vor 1927 im Bauwesen noch keine große Bedeutung. Einerseits spielte der städtische Straßenverkehr als Lärmquelle kaum eine Rolle, andererseits gaben die bekannten massiven Bauweisen des 19. Jahrhunderts wenig Anlass für Beschwerden. Mit den neuen materialsparenden Bauweisen in Verbindung mit den verdichteten Wohnformen änderte sich jedoch die Art des Zusammenlebens genauso wie die Bauweise selbst. Wissenschaftliche Arbeiten wurden

durchgeführt, um beispielsweise die Mechanismen der Schallübertragung zu verstehen sowie die Zusammenhänge zwischen den verwendeten Baumaterialien und den erzielten bauphysikalischen Wirkungen zu erforschen. Neben den sich ebenfalls neu entwickelnden bauphysikalischen Forschungsgebieten Wärme- und Feuchteschutz entstand mit der Bau- und Raumakustik eine neue (Teil-) Disziplin.

Das Reihenhaus Oud ist, wie alle Bauten der Weißenhofsiedlung, als Versuchswerkstatt zu verstehen. Die materialsparende Bauweise führte einerseits zu diversen bauphysikalischen Herausforderungen. Andererseits lieferte das Haus Oud einen wertvollen Beitrag zur Erforschung und Weiterentwicklung von kostengünstigen, innovativen Wohnformen und war für künftige Bauprozesse prägend. Bis in die heutige Zeit stellt das „Neue Bauen“ eine wichtige und mutige Inspiration dar, denn gerade bei einer ganzheitlichen Betrachtung des Bauprozesses und seiner Stoffströme ist eine ressourceneffiziente und somit auch materialsparende Bauweise wichtiger denn je.

Literatur

- [1] Much, F. J. [Hrsg.] (1998) *Amtlicher Katalog der Werkbundausstellung Die Wohnung, Stuttgart 1927*. Stuttgart: Stuttgarter Ges. für Kunst und Denkmalpflege.
- [2] Nägele, H. (1992) *Die Restaurierung der Weißenhofsiedlung – 1981–87*. Stuttgart: Krämer.
- [3] Behrens, P. (1927) *Bau und Wohnung: die Bauten der Weißenhofsiedlung in Stuttgart errichtet 1927 nach Vorschlägen des Deutschen Werkbundes im Auftrag der Stadt Stuttgart und im Rahmen der Werkbundausstellung „Die Wohnung“*. Stuttgart: Wedekind.
- [4] Siedler, E. J. (1932) *Die Lehre vom neuen Bauen: ein Handbuch der Baustoffe und Bauweisen*. Berlin: Bauwelt Verlag.
- [5] Rasch, H.; Rasch, B. (1927) *Wie bauen? Bau und Einrichtung der Werkbundsiedlung am Weißenhof in Stuttgart 1927*. Stuttgart: Wedekind.
- [6] Rasch, H.; Rasch, B. (1928) *Wie bauen? Band 2: Materialien und Konstruktionen für industrielle Produktion*. Stuttgart: Wedekind.
- [7] Tomlow, J. (2007) *Bauphysik und die technische Literatur des Neuen Bauens* in: *Bauphysik* 29, H. 2, S. 146–158. <https://doi.org/10.1002/bapi.200710022>
- [8] Rietschel, H. (1893) *Leitfaden zum Berechnen und Entwerfen von Lüftungs- und Heizungs-Anlagen – Auf Anregung Seiner Excellenz des Herrn Ministers der öffentlichen Arbeiten*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- [9] Hencky, K. (1921) *Die Wärmeverluste durch ebene Wände unter besonderer Berücksichtigung des Bauwesens*. Berlin: De Gruyter Oldenbourg.
- [10] Ahnert, R. et al. (1985) *Typische Baukonstruktionen von 1860 bis 1960 zur Beurteilung der vorhandenen Bausubstanz: Gründungen, Wände, Decken, Dachtragwerke*. 2. Aufl. Berlin: Verlag für Bauwesen.
- [11] Künzel, H. (2014) *Bautraditionen auf dem Prüfstand – Die Entwicklung der Bauphysik im Spannungsfeld zwischen Tradition und Forschung*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag.
- [12] Baukloh, W. (1933) *Die Lehre vom neuen Bauen. Ein Handbuch der Baustoffe und Bauweisen. Von Dr.-Ing. Eduard Jobst Siedler. Bauwelt-Verlag, Berlin 1932. Preis RM. 12,20* in: *Angewandte Chemie* 46, H. 23, S. 346. <https://doi.org/10.1002/ange.19330462313>
- [13] Fanslau-Görlitz, D. (2008) *Atlas Bauen im Bestand – Katalog für nachhaltige Modernisierungslösungen im Wohnungsbaubestand*. Köln: R. Müller.
- [14] Weller, B.; Fahrion, M.-S.; Jakubetz, S. (2012) *Baukonstruktion im Bestand* in: Weller, B.; Fahrion, M.-S.; Jakubetz, S. [Hrsg.] *Denkmal und Energie: PRAXIS*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, S. 145–176.
- [15] Schachner, R. (1926) *Gesundheitstechnik im Hausbau*. München: Oldenbourg.
- [16] *Historische Anzahl an Kraftfahrzeugen und Personenkilometer nach Kfz-Typ in Deutschland in den Jahren 1906 bis 1959* [online]. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/249900/umfrage/historische-entwicklung-von-kraftfahrzeugen-in-deutschland/> [Zugriff am: 24. Jan. 2022].
- [17] DIN 4108-3:2018-10 (2018) *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz*. Berlin: Beuth Verlag.
- [18] DIN 4108-2:2013-02 (2013) *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz*. Berlin: Beuth Verlag.
- [19] Cammerer, I. S. (1932) *Die Feuchtigkeitwanderung infolge eines Temperaturgefälles in Baukonstruktionen* in: *Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens* 3, H. 4, S. 175–177. <https://doi.org/10.1007/BF02714785>
- [20] Nuck, K. (1925) *Untersuchungen über die Wärmeökonomie isolierter und nichtisolierter Siedlungsbauten in hygienischer und wirtschaftlicher Beziehung* in: *Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten* 105, H. 1, S. 113–137. <https://doi.org/10.1007/BF02175085>
- [21] Flügge, R. (1922) *Untersuchungen über Lüftungseinrichtungen in Kleinhäusern* in: *Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten* 96, H. 4, S. 426–455. <https://doi.org/10.1007/BF02178425>
- [22] Korff-Petersen, A.; Liese, W. (1921) *Der Einfluß von Wandkonstruktion und Heizung auf die Wärmeökonomie von Gebäuden in hygienischer und wirtschaftlicher Beziehung*

- in: Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten 93, H. 3, S. 407–437.
- [23] Künzel, H. (2001) *Max von Pettenkofer – Wegbereiter der Bauphysik?* in: Bauphysik 23, H. 3, S. 180–182. <https://doi.org/10.1002/bapi.200101000>
- [24] Psi-Therm GmbH (07.10.2020) *Psi-Therm 7* [online]. www.psi-therm.de.
- [25] Klos, H. (2012) *Fenster aus Eisen, Stahl und Aluminium. Äußerst langlebig und dennoch im Bestand gefährdet* in: Denkmalpflege In Baden-Württemberg – Nachrichtenblatt der Landesdenkmalpflege 41, H. 1, S. 28–35. <https://doi.org/10.11588/nbdpfbw.2012.1.12282>
- [26] Hoffmann, W. G. (2000) *Historische Anzahl an Kraftfahrzeugen und Personenkilometer nach Kfz-Typ in Deutschland in den Jahren 1906 bis 1959 – Materialdatensammlung für die energetische Altbausanierung* [online]. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/249900/umfrage/historische-entwicklung-von-kraftfahrzeugen-in-deutschland/> [Zugriff am: 24. Jan. 2022].
- [27] Hencky, K. (1917) *Der gegenwärtige Stand unserer Kenntnis vom Schutz gegen Schall und Erschütterungen*. Naturwissenschaften 5.
- [28] Weisbach, F. (1930) *Versuche über Schalldurchlässigkeit, Schallreflexion und Schallabsorption*. Annalen der Physik 338.
- [29] Berger, R. (1911) *Über die Schalldurchlässigkeit* [Dissertation]. München: Technische Hochschule München.
- [30] Ottenstein, R. (1913) *Über Schalldurchlässigkeit von Baumaterialien und ausgeführten Wänden* in: Gesundheits-Ingenieur 19.
- [31] Sabine, W. C. (1922) *Collected papers on acoustics*. Cambridge: Harvard University Press.
- [32] Berger, R. (1931) *Die Luftschalldämmung von Wänden*. 3. Aufl. Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens.
- [33] DIN EN ISO 12354-1:2017 (2017) *Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen*. Berlin: Beuth Verlag.
- [34] Reiher, H. (1932) *Über den Schallschutz durch Baukonstruktionsteile: Mitteilung aus dem Institut für Schall- und Wärmeforschung der Technischen Hochschule Stuttgart und Laboratorium für technische Physik der Technischen Hochschule München*. Oldenburg, München.
- [35] Veit, I. (2015) *Geschichte der DIN 4109* in: Trockenbau Akustik, H. 6, S. 54–55.
- [36] DIN 4109-1:2018-01 (2018) *Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen*. Berlin: Beuth Verlag.
- [37] DIN 18005-1:2001-07 (2002) *Schallschutz im Städtebau – Teil 1 Grundlagen und Hinweise für die Planung*. Berlin: Beuth Verlag.
- [38] DIN 4109-32:2016-07 (2016) *Schallschutz im Hochbau – Teil 32: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Massivbau*. Berlin: Beuth Verlag.
- [39] Langen, G. (1929) *Bericht über die Siedlung in Stuttgart am Weissenhof* in: Sonderheft der Reichsforschungsgesellschaft für Wirtschaftlichkeit im Bau- und Wohnungswesen e.V. 2, H. 6.

Autorinnen undAutoren

Dipl.-Ing. Holger Röseler (Korrespondenzautor)
holger.roeseler@iabp.uni-stuttgart.de
Universität Stuttgart
Institut für Akustik und Bauphysik
Pfaffenwaldring 7
70569 Stuttgart

Pia Krause, M.Sc.
pia.krause@iabp.uni-stuttgart.de
Universität Stuttgart
Institut für Akustik und Bauphysik
Pfaffenwaldring 7
70569 Stuttgart

Adrian Eitle, M.Sc.
adrian.eitle@iabp.uni-stuttgart.de
Universität Stuttgart
Institut für Akustik und Bauphysik
Pfaffenwaldring 7
70569 Stuttgart

Dipl.-Ing. Eva Veres
eva.veres@iabp.uni-stuttgart.de
Universität Stuttgart
Institut für Akustik und Bauphysik
Pfaffenwaldring 7
70569 Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. Philip Leistner
philip.leistner@ibp.fraunhofer.de
Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)
Nobelstr. 12
70569 Stuttgart
Universität Stuttgart
Institut für Akustik und Bauphysik
Pfaffenwaldring 7
70569 Stuttgart

Zitieren Sie diesen Beitrag

Röseler, H.; Krause, P.; Eitle, A.; Veres, E.; Leistner, P. (2022) *Bauhaus und Bauphysik – Eine bauphysikalische Untersuchung und Bewertung am Beispiel Haus Oud*. Bauphysik 44, H. 2, S. 95–106. <https://doi.org/10.1002/bapi.202200006>