

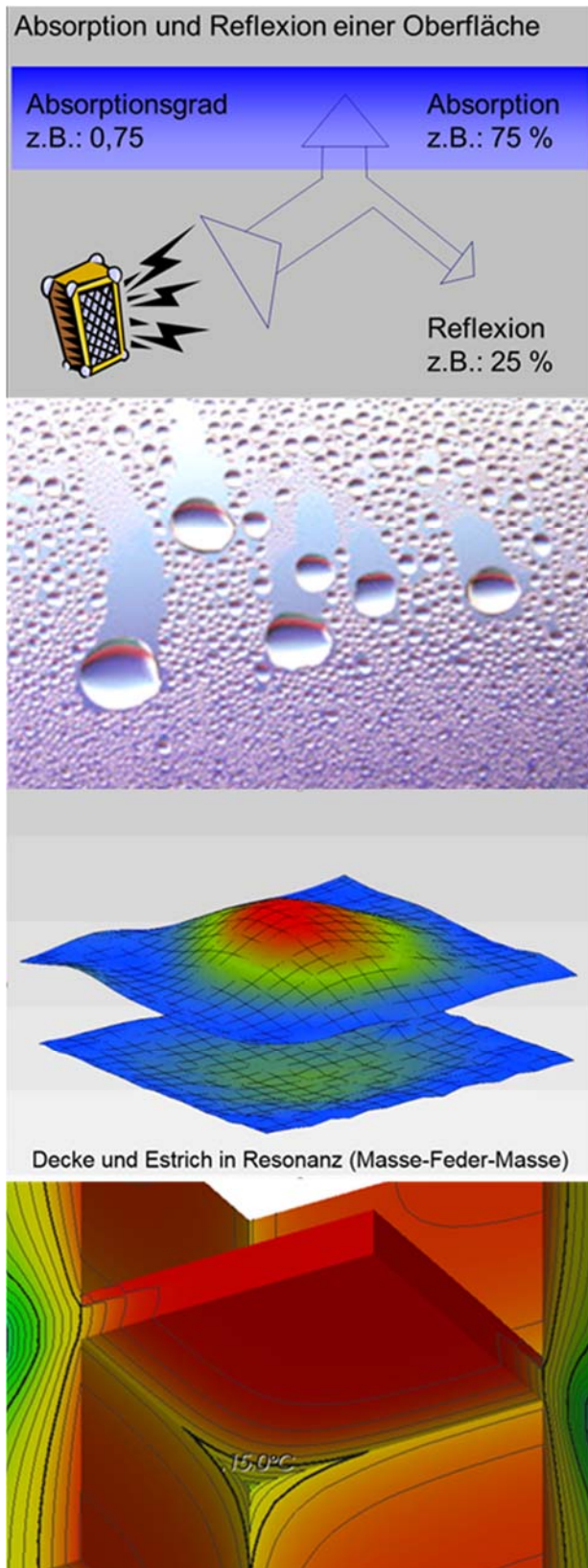
BauphysikerInnen-Treffen 2022

6. Oktober 2022

Veranstaltungszentrum
MA39

Prüf-, Inspektions- und
Zertifizierungsstelle
der Stadt Wien

Rinnböckstraße 15
1110 Wien



Programm

- 09:00 Eintreffen
- 09:15 Begrüßung „OIB quo vadis“
DI Wolfgang Thoma, Österreichische Institut für Bautechnik, 1010 Wien
- 09:30 **Trennwände - ist hier ein Energiedieb unterwegs?**
DI Matthias Kendlbacher, IPJ Ingenieurbüro P. Jung GmbH, 1010 Wien
- schlechte Raumluf - wer trägt die Verantwortung?**
Ing Wolfgang Leitzinger, leit-wolf Luftkomfort, 3426 Muckendorf
DI(FH) Clemens Häusler, MSc, bauphysik.at, 2511 Pfaffstätten
- 11:00 Pause
- 11:30 **Sanierung - Probleme beim Heizungstausch**
DI Bmstr. Johann Spiessberger, IBTS GmbH, 4814 Neukirchen
- Estriche - Probleme in ihrer Dicke**
Ing Robert Tucheslau, Monobeton GmbH, 2320 Schwechat
- 13:00 Mittagspause
- 14:00 **Holzmodulbauweise - Schalltechnische Analyse eines Gebäudes**
DI(FH) Hendrik Reichelt, M.Eng., Kaufmann Bausysteme GmbH, 6870 Reuthe
- Trittschall XXL**
DI Hannes Veitsberger, normconsult ZT GmbH, 8264 Großwilfersdorf
DDI Christoph Titz, Getzner Werkstoffe GmbH, 6706 Bürs
- 15:30 Pause
- 16:00 **Denkmalschutz und Bauphysik**
DI. Walter Hauser, Landeskonservator Bundesdenkmalamt, 6020 Innsbruck
- Generalsanierung Parlament - 2018 bis 2022**
Ing Harald Schuchnigg, AXIS Ingenieurleistungen ZT GmbH, 1040 Wien
- 17:30 Ende Vorträge
- 18:30 Hocketse
- Moderation: DI(FH) Clemens Häusler, MSc (bauphysik.at)



CURRICULUM VITAE

DI

Matthias KENDLBACHER

Ingenieurbüro für Bauphysik, Klima Engineering, Energiekonzepte und Zertifizierung

IPJ Ingenieurbüro P. Jung GmbH
Wipplingerstraße 23/3
1010 Wien

Kendlbacher@jung-ingenieure.at

Geboren 1984 in Saalfelden in Salzburg, absolvierte seine Matura in der HTL für Säge- und Holzwirtschaft in Kuchl. Danach studierte er an der FH Campus in Wien. Bachelor in Bauingenieurwesen und Baumanagement und nachfolgend den Masterlehrgang in Nachhaltigkeit in der Bauwirtschaft. Das Masterstudium wurde am Jahr 2012 abgeschlossen.

Bereits während des Studiums begann die Tätigkeit bei Herrn Peter Holzer in der neu gegründeten Niederlassung der IPJ Ingenieurbüro P. Jung GmbH Österreich. Seit Jänner 2021 hat er gemeinsam mit Peter Holzer die Geschäftsführung inne.

Das Büro, ursprünglich spezialisiert auf Simulationen von Gebäuden und Innenräumen, hat seine Kompetenzen im Laufe der Jahre erweitert hin zur Bauphysik, zur Planung von Energieversorgungssystemen und Zertifizierung.

Bestmöglicher Komfort bei geringsten Energieaufwand und Nutzung von erneuerbaren Energieträgern war und ist dabei stets das Leitbild.

Trennwände – ist hier der Energiedieb unterwegs?

Ist eine U-Wertanforderung bei Trennwänden 2022 noch zeitgemäß?

DI Matthias Kendlbacher, IPJ Ingenieurbüro P. Jung GmbH

Einleitung

Dank der Einhaltung des nationalen Planes, umgesetzt über die OIB RL 6 (2019) mit den Anforderungen per 01.01.2021, sind in Österreich beim Neubau nur mehr Niedrigstenergiegebäude zulässig. Ein Weg, der vor 10 Jahren noch belächelt wurde, ist nun längst zum Baustandard geworden.

Genau dieser Baustandard erlaubt die Fragestellung, ob es die Form des Energiediebstahles noch gibt und ob dieser eine U-Wertanforderung von $1,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ rechtfertigt. In diesem Beitrag wird auf die Vor- und Nachteile der Vorsatzschale eingegangen. Weiters werden Strategien, die einen Verzicht der Vorsatzschale baurechtlich möglich machen könnten, erörtert.

Die Betrachtung erfolgt über den Flächenbedarf, die Ökologie und Ökonomie.

1. Anforderungen einer Wohnungs- bzw. Betriebstrennwand

Eine Trennwand zwischen zwei getrennten Einheiten hat im Sinne der OIB RL 6 einen U-Wert $\leq 1,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und einen Schallschutz $D_{ntw} \geq 55 \text{ dB(A)}$ einzuhalten.

Zur Einhaltung werden folgenden Aufbauten herangezogen:

- Stahlbeton mit Vorsatzschale (C-Profil, Mineralwolle und Gipskarton)
- Füllbetonsteine und Dämmputz
- Ziegelwände
- Trockenbauwände
- etc.

Hintergrund für die U-Wertanforderung ist weniger die Schallschutzanforderung, sondern vorrangig ein möglicher Wärmediebstahl. Damit sollte verhindert werden, dass ein Leerstand bzw. ein Fehlverhalten durch Nutzer:innen die Energiekosten der Nachbarn in die Höhe treibt.

2. Wärmediebstahl?

Zur Beurteilung möglicher Wärmeverluste wird eine Gebäudesimulation eines Neubaus erstellt. Die Berechnung erfolgt mit der Software TAS von EDSL. Als Wetterdatensatz wird ein Zukunftswetterdatensatz 2050 mit einer Klimaerwärmung lt. IPCC Bericht von $1,5\text{K}$ herangezogen, wobei der Winter mit 2.800 Kd/a und einer minimalen Außentemperatur von $-9,4^\circ\text{C}$ einem sehr kalten Winter entspricht.

Das Gebäude wird in einer Stahlbetonbauweise simuliert. Die untersuchten Räume sind nach Süden orientiert und weisen einen üblichen Befensterungsgrad auf. Die Verschattung erfolgt mittels variablen Sonnenschutz. Die untersuchte Wohnung hat in Summe eine Wohnnutzfläche von 44 m^2 .

Neben den Referenzräumen befinden sich jeweils Nachbarwohnungen, die in der Betrachtung gesondert gesteuert und ausgewertet werden. Nachfolgende Abbildung stellt die Zonen des Modells dar.

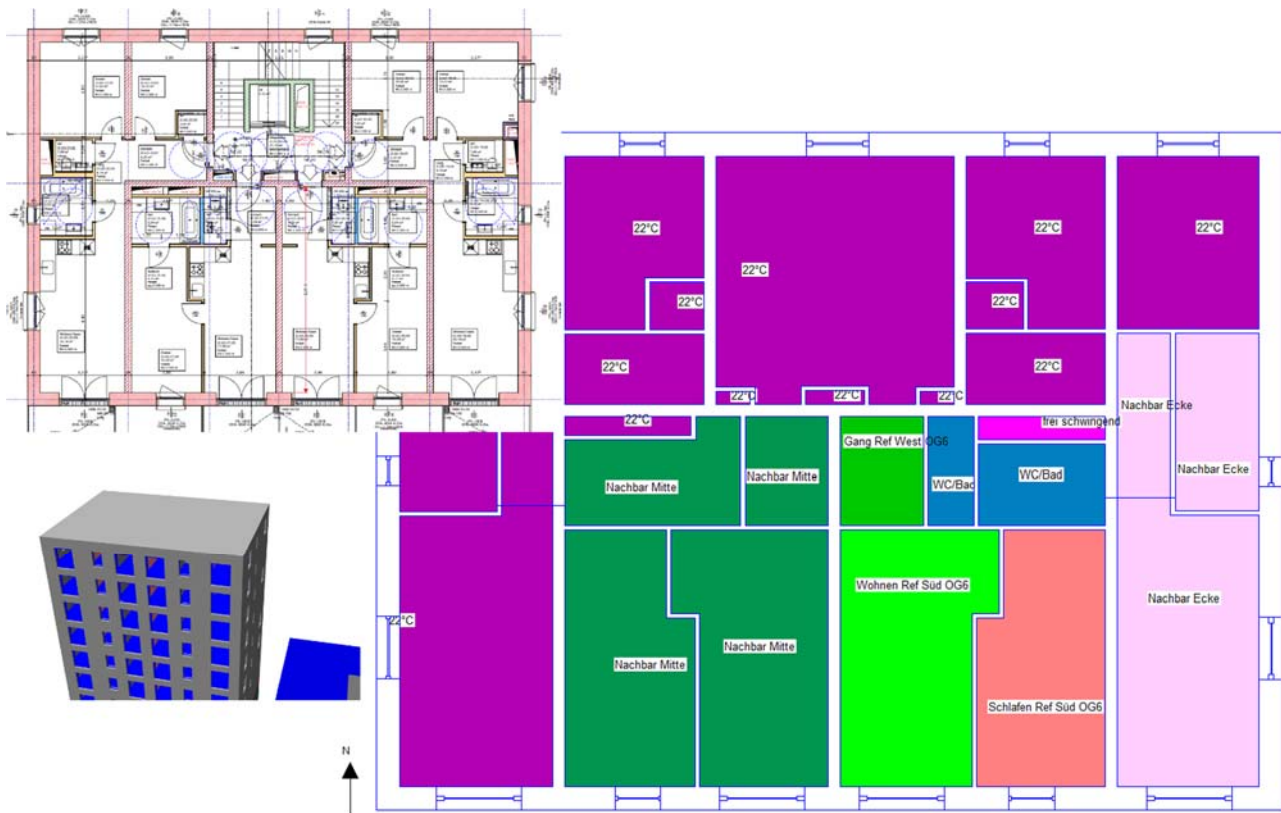


Abbildung 1: Darstellung Zonen - Gebäudesimulation

2.1. Bauteile:

- Außenwand (STB + WDVS): $0,13 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Innenwand ohne Vorsatzschale: $2,88 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Innenwand mit Vorsatzschale: $0,29 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Fenster: $U_w = 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; g-Wert = 0,50
- Regelgeschoßdecke: $0,86 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

2.2. Haustechnik:

- Flächenheizung
- Infiltration: $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Hygienischer Luftwechsel (Abluftanlage): $0,38 \text{ m}^3/\text{h}$

2.3. Innere Lasten:

Die inneren Lasten durch Personen wurden anhand der SIA 2014 (Wohnen) wie folgt angenommen:

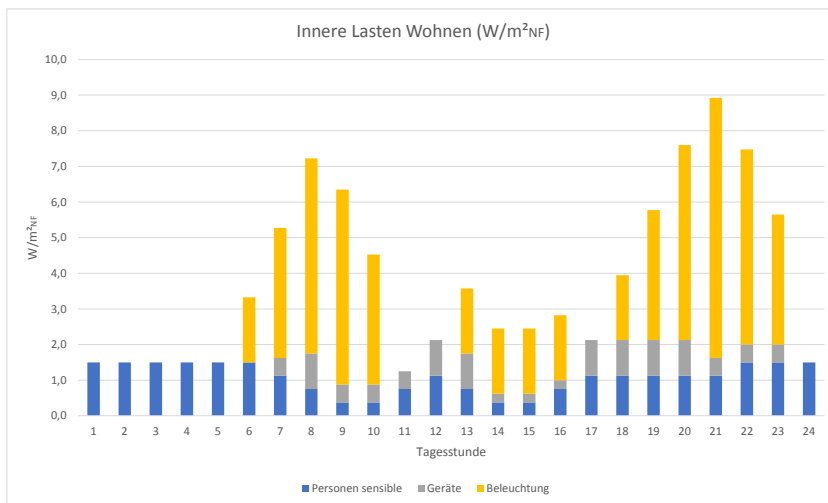


Abbildung 2: Innere Lasten

2.4. Ergebnisse:

Im ersten Schritt wird untersucht, inwieweit die Wohnungstemperatur des unbeheizten Nachbarn absinkt. Dabei stellt sich heraus, dass die Vorsatzschale die Raumtemperatur beim Nachbarn um bis zu 1,5 K herabsetzt.

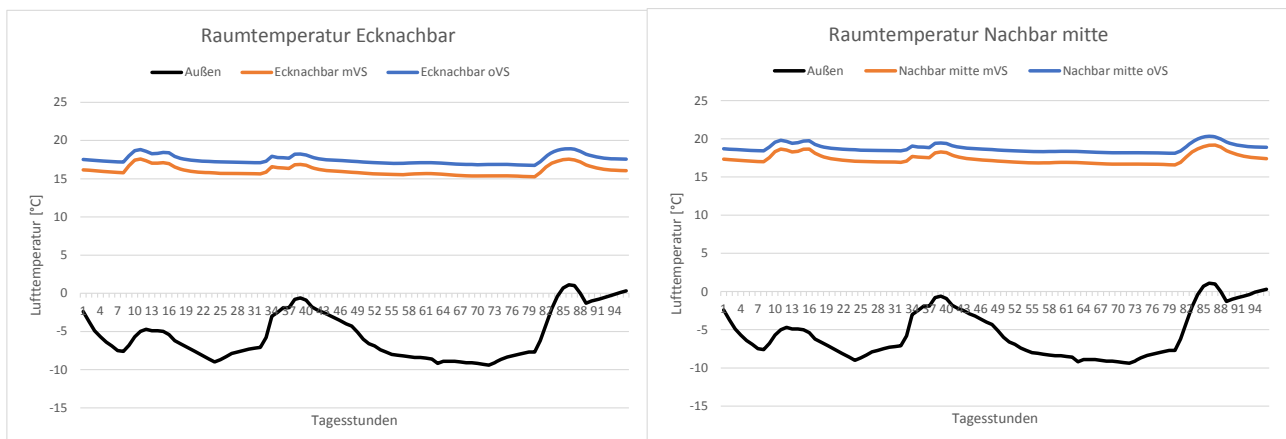


Abbildung 3: Temperaturverlauf in der Kälteperiode – Nachbar keine Heizung

Demnach ist die Arbeit des Energiediebs anhand der Temperaturunterschiede erkennbar. Im nächsten Schritt wird mittels der Auswertung der Energiekennwerte überprüft, wie groß der Diebstahl ist.

Zusätzlich zu den Varianten mit und ohne Vorsatzschale wird untersucht, ob eine Mindesttemperatur von 18°C eine Verringerung des Energietransports bewirkt. Dies würde in der Regelung bedeuten, dass die Nutzer:in die Heizung nicht komplett abschalten kann, sondern die Temperatur immer auf 18°C gehalten wird.

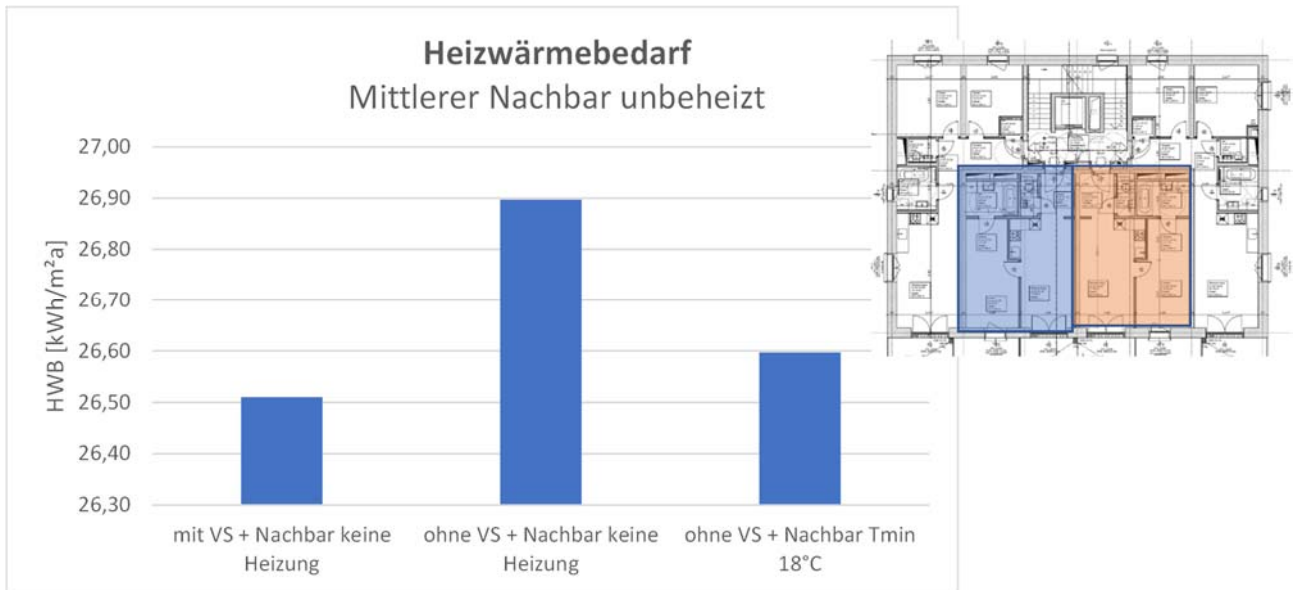


Abbildung 4: Heizwärmebedarf – mittlerer Nachbar unbeheizt

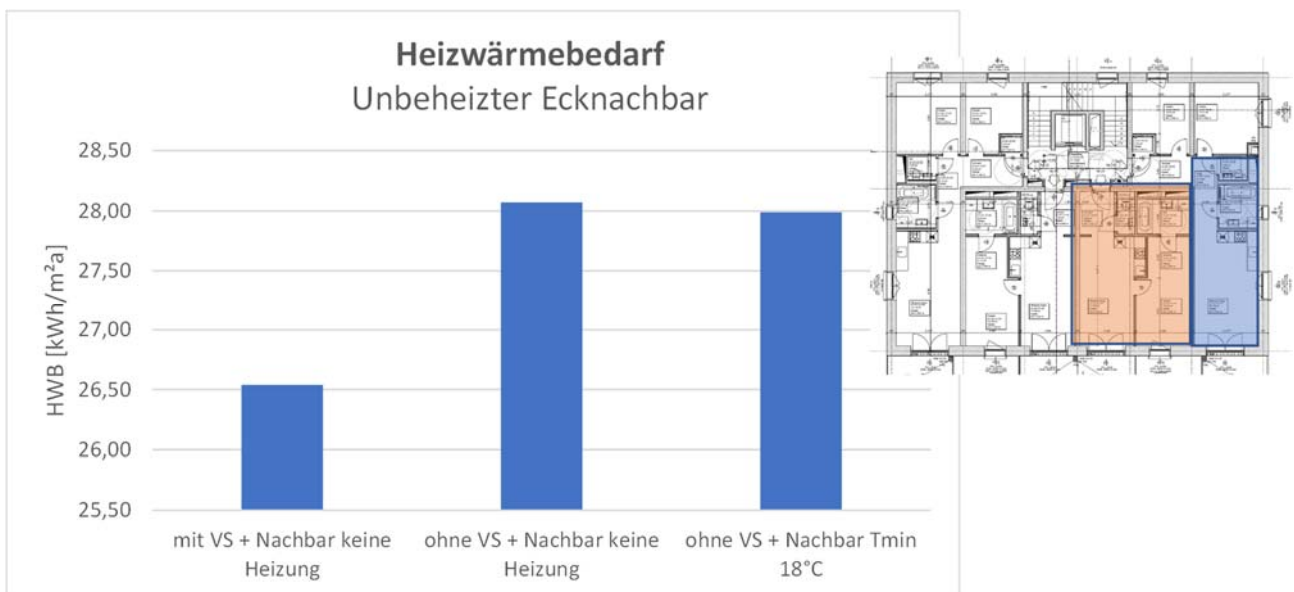


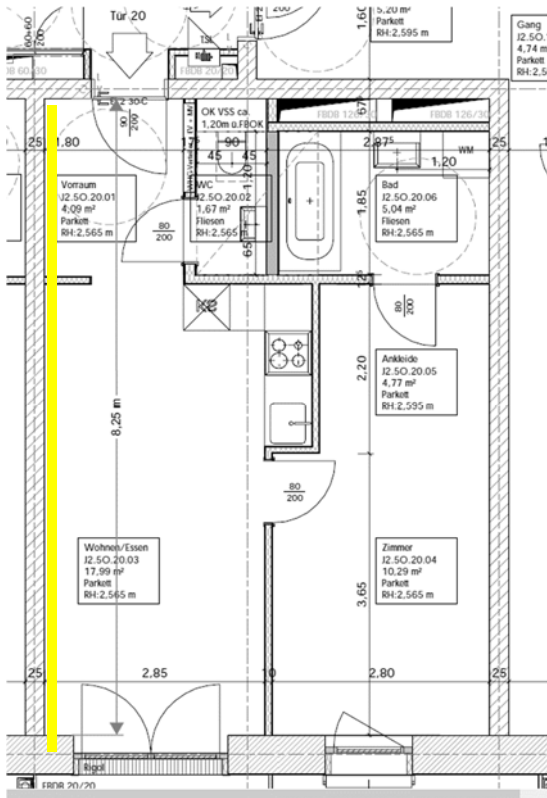
Abbildung 5: Heizwärmebedarf – Ecknachbar unbeheizt

Es wird ersichtlich, dass sich der Heizwärmebedarf ohne eine Vorsatzschale um 1,53 kWh/(m²a) bzw. 80 kWh/a beim Ecknachbarn und 0,40 kWh/(m²a) bzw. 5 kWh/a verändert. Die minimale Temperaturhaltung jeder Wohnung auf 18°C bewirkt jeweils eine Verbesserung des Heizwärmebedarfs.

Unter der Annahme, dass die Wohnung mittels Wärmepumpe (Jahresarbeitszahl = 4) beheizt wäre, fielen jährliche Mehrkosten von 1,80 bis 7,00 EUR/a an.

4. Ökonomie und Flächenverlust

Dieses Kapitel soll verdeutlichen, dass die Vorsatzschale neben dem Verlust der Speichermasse einen Flächenverlust und eine Erhöhung der Investkosten bewirkt. Hierfür wird folgender Grundriss herangezogen:



Wohnnutzfläche: 44 m²

Länge Vorsatzschale: 8,25 m

Aufbau Vorsatzschale:

50,0 mm C-Profil dazw. Mineralwolle

12,5 mm Gipskartonplatte

Kosten Vorsatzschale: 35 EUR/m²

⇒ **Flächenbedarf: 0,52 m² (1,2 % der WNF)**

⇒ **Kosten: 730 EUR (0,7 % Errichtungskosten)¹**

Abbildung 7: Grundriss Wohnung

5. Ökologie

Eine Vorsatzschale mit C-Profil, Mineralwolle und Gipskartonplatte weist folgende Umweltfaktoren auf (die in Klammer geschriebenen Werte beziehen sich auf die oben genannte Wohnung):

Primärenergiebedarf nicht erneuerbar: PEI ne = 133,17 MJ/m² (2.747 MJ)

Global Warming Potenzial: GWP = 7,08 kg CO₂/m² (146,03 kg CO₂)

Versauerungspotenzial: AP = 0,03 kg SO₂/m² (0,62 kg SO₂)

Bezieht man die Vorsatzschale auf die gesamte Wandkonstruktion (20 cm Stahlbeton), erkennt man, dass der Anteil der Vorsatzschale zw. 1,6 % und 2,7 % liegt.

¹ Annahme Errichtungskosten = 2.300 EUR/m²

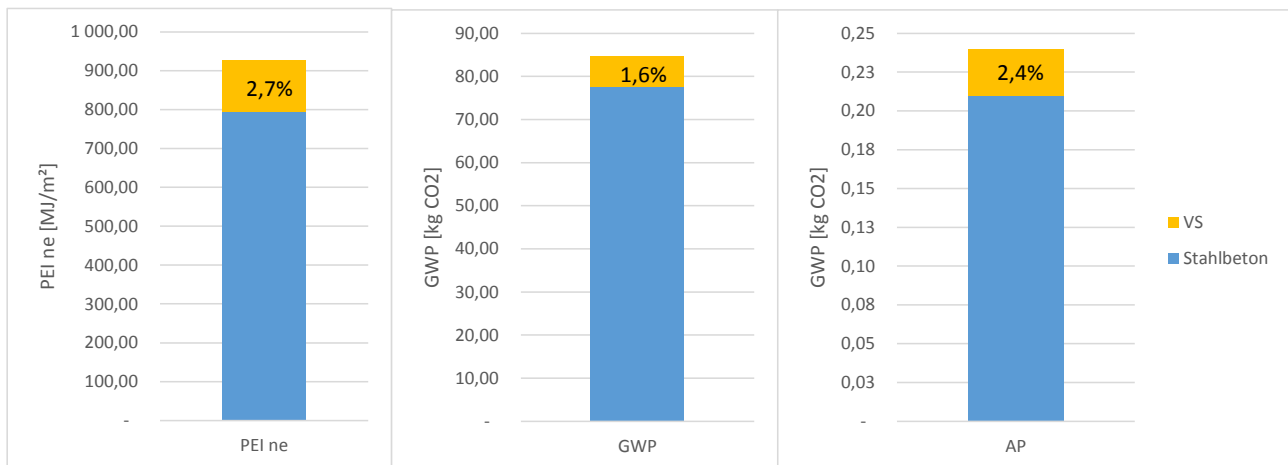


Abbildung 8: Ökologische Kenndaten

6. Fazit

Der Energiediebstahl zwischen zwei Wohneinheiten ist trotz des hohen Baustandards lt. OIB RL 6:2019 zwar erkennbar, jedoch mit einer Erhöhung des HWBs im Regelfall mit 0,40 kWh/(m²a) und im Extremfall mit 1,53 kWh/(m²a) als sehr gering zu erachten. Bei einer Implementierung einer Mindesttemperatur im Heizfall wird diese Differenz weiter reduziert.

Dem vernachlässigbaren Einfluss auf die Heizkosten stehen folgende Themen gegenüber:

1. Flächenverlust
2. Wesentliche Verringerung der Speichermasse
3. Erhöhung der Investitionskosten
4. Einbau von überflüssigen Materialien (Ökologie)

Da die Nachteile gegenüber den Vorteilen einer Vorsatzschale deutlich überwiegen, sollte der Entfall der U-Wertanforderung in Betracht gezogen werden.

Folgende Strategien bzw. Nachweisführungen wären denkbar:

1. Definition eines Baustandards (vergleichbar mit dem Entfall der Notkaminverordnung)
2. Definition einer Regelungsstrategie (Mindesttemperatur)
3. Entfall der wohnungsweisen Wärmezählung und hin zu einer Warmmietenmodell

7. Literatur

- ÖN B 8115-3 2020
- OIB RL 6 2019
- <https://www.baubook.at>



MSc DI(FH)

Clemens HÄUSLER

Ingenieurbüro für Bauphysik

bauphysik.at
Josef Stadlmann-Gasse 1
A-2511 Pfaffstätten

info@bauphysik.at

Geboren 1966 in Wien, absolvierte seine Schulausbildung in Österreich (HTL Mödling, Ing. für Hochbau) und studierte danach in Deutschland (FHT Stuttgart, DI(FH) für Bauphysik) und England (University of Southampton, MSc of Sound and Vibrations). Nach einem Forschungsauftrag am Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Stuttgart (mikroperforierte Absorber), arbeitete er von 1995 bis 2000 in der Deutschen Industrie.

Ende 2000 startete er als selbstständiger Berater in Deutschland und Österreich für Hersteller von Akustikdecken. Seit 2003 ist er freiberuflicher Bauphysiker und als Experte im Österreichischen Normungsinstitut (ON-K 208 »Schall«, ON-K 175 »Wärme«) tätig. Mit Anfang 2017 Vorsitzender ON-K 208 und ab 2019 Lektor für Bauphysik am FH Campus Wien.

Seit Anfang 2009 ist er (stolzer) Inhaber des Einzelunternehmens »bauphysik.at«, ein klassisches Bauphysikbüro (gegründet von Architekt DI Franz Kalwoda 1980), das sich auf die Kernbereiche Akustik-Schall-Wärme-Feuchte konzentriert. Im Fokus steht die Sanierung von Bestandsobjekten sowie die Planung komplexer (Nichtwohn-) Gebäude, insbesondere Bildungseinrichtungen.

Schlechte Raumluf - Wer trägt die Verantwortung?

Ing. Wolfgang Leitzinger, leit-wolf.at, 3426 Muckendorf
MSc DI(FH) Clemens Häusler, bauphysik.at, 2511 Pfaffstätten

»Vorwort«

Die Feuchteabgabe in Wohngebäude erfolgt direkt (atmen, schwitzen) oder indirekt (waschen, kochen, putzen) durch den Bewohner. Die Feuchteabfuhr, zumindest in der relevanten Heizperiode, erfolgt durch Lüften (Luftaustausch mit der Außenluft).

In alten Bestandsobjekten ist der Luftaustausch über die undichten Fenster in der Regel ausreichend und der Bewohner braucht sich weiter keine Gedanken machen. Nach einem Fenstertausch (Fensteranierung) reduziert sich der »natürliche« Luftwechsel, die Luftfeuchte nimmt zu und das Schimmelrisiko steigt.

Ein Fenstertausch beendet das ursprüngliche Lüftungskonzept, demnach ist ein neues Lüftungskonzept erforderlich. Gelüftet werden kann manuell (Fenster öffnen) bzw. mechanisch (Lüftungsanlage) oder auch eine Kombination aus beidem. Gleiches gilt für einen Neubau.

Da der Mensch Luftfeuchte im relevanten Bereich (ca. 30% bis 70%) nicht wahrnehmen kann, ist jedenfalls eine Hilfestellung notwendig. Es gibt viele Anleitungen zum richtigen Lüften, hier ein weiterer Versuch in 3 unterschiedlich langen/anspruchsvollen Varianten (1300 Zeichen, 1300 Wörter, 13 Seiten).

Eine PowerPoint-Präsentation, passend zum Text, kann gerne als pdf zur Verfügung gestellt werden. Im Anhang noch eine Standard Version zum Lüftungskonzept als Vorlage für einen Technischen Bericht.

»richtig Lüften« 1300 Zeichen

Luft ist ein unverzichtbarer Bestandteil unserer Umwelt, täglich atmen wir ca. 11 kg Luft ein. Im Freien ist gute Luft (noch) ausreichend vorhanden, damit die Qualität auch im Innenraum stimmt müssen wir Lüften.

Gelüftet werden kann mechanisch, manuell oder natürlich über Undichtigkeiten. Bei einem Gründerzeithaus ist der Luftwechsel über Fensterfugen ausreichend, bei einer dichten Gebäudehülle muss zusätzlich gelüftet werden.

Problematisch ist die Kombination »dichtes Gebäude« und »schlechte Dämmung«, also typisch nach einem Fenstertausch. Im Bereich thermischer Schwachstellen, sogenannter Wärmebrücken, kommt es schnell zu Schimmel.

Unsere fünf Sinne ermöglichen keine Feuchtwahrnehmung, nur indirekt über trockene Atemwege oder Schwitzen. Für ein »technisches Lüften« muss die absolute Luftfeuchte (Wassergehalt in g/m^3) bekannt sein, d.h. Temperatur und relative Feuchte von Außen- und Raumluf müssen gemessen werden.

Aber unter $5^{\circ}C$ enthält die Außenluft immer weniger Wasser als die 22° (20°) warme Raumluf. Deshalb reicht es im Winter regelmäßig zu Lüften und die relative Luftfeuchte im Raum mit einem Messgerät zu kontrollieren.

Tipp: Feuchteabgabe reduzieren, d.h. Wäsche nicht in der Wohnung trocknen und Bäder mit einem feuchtegesteuerten Abluftventilator ausstatten.

»richtig Lüften« 1300 Wörter

Hygienisch erforderliche Luftwechsel

Luft ist ein unverzichtbarer Bestandteil unserer Umwelt. Täglich atmen wir ca. 11 kg Luft ein (Erwachsener: 0,5 l/Atemzug, 13 Atemzüge/min, Luft ca. 1,2 kg/m³), somit ist Luft quasi das »Grundnahrungsmittel« Nr. 1. Die Natur stellt uns im Freien unverbrauchte Luft (zumindest noch) in beliebiger Menge zur Verfügung. Damit die Qualität auch im Innenraum stimmt muss entsprechend gelüftet werden.

Normativ beträgt der erforderliche Luftwechsel 30 m³/h pro anwesender Person. Daraus ergibt sich der sogenannte hygienisch erforderliche Luftwechsel von 0,4 x pro Stunde (unter Annahme einer Raumhöhe von 2,5 m und einer Wohnfläche von 30 m² pro Person), dies bedeutet, dass die Raumluft alle 2,5 Stunden gewechselt werden muss (ca. 10 x pro Tag), wobei auch Nebenräume entsprechend zu belüften sind.

Physikalisch erforderlichen Luftwechsel

Abgesehen vom hygienisch erforderlichen Luftwechsel gibt es auch den physikalisch erforderlichen Luftwechsel aufgrund der im Raum abgegebenen Feuchte. Oberflächenkondensat und das damit verbundene Schimmelpilzrisiko ergibt sich immer aus der Kombination »richtiges Dämmen« (Qualität des Gebäudes) und »richtigem Lüften« (Nutzerverhalten).

Je besser ein Gebäude gedämmt ist desto höher ist die zulässige Luftfeuchte. Und je höher die Luftfeuchte, desto mehr Feuchte wird beim Lüften abtransportiert. Bei einem rundum außen gedämmten Neubau reicht es wenn die Luft ca. 4 x pro Tag (0,17 /h) getauscht wird, im ungedämmten Bestand ca. 12 x pro Tag (0,50 /h). Dies gilt bei hoher Belegung (ca. 25 m² / Person), bei geringer Belegung (ca. 50 m² / Person) halbiert sich der Wert.

Lüftungsarten

Der Luftwechsel kann ganz unterschiedliche herbeigeführt werden: Entweder durch mechanische Lüftung (zentrale oder dezentrale mechanische Be- und Entlüftung, sinnvoller Weise kombiniert mit einer Wärmerückgewinnung), mit manueller Lüftung (Fensterlüftung) oder mittels natürlicher Lüftung über Undichtigkeiten der Gebäudehülle (Infiltration / Falschluftrate).

Bei einem undichten Altbestand (Gründerzeithaus) ist der natürliche Luftwechsel über die Fensterfugen in der Regel ausreichend (ca. 10 bis 26 x pro Tag). Probleme gibt es praktisch nur in sehr windgeschützten Lagen (z.B. hofseitige Wohnung im Erdgeschoss) und/oder bei sehr großer Personenbelegung.

Bei einer dichten Gebäudehülle reduziert sich der natürliche Luftwechsel auf ca. 1 bis 3 x pro Tag (0,04 bis 0,11 pro Stunde), dementsprechend muss zusätzlich gelüftet werden. Manuelles Lüften erfolgt entweder durch gekippte Fenster oder mittels Stoßlüftung. Dauerhaft gekippte Fenster sind energetisch ungünstig, ständig lüftet sich die ohnehin bereits getauschte Luft (Luftwalze) und die angrenzenden Bauteile werden unnötig abgekühlt, was wiederum das Kondensatrisiko erhöht.

Eine Stoßlüftung kann stets nur einen einfachen Luftwechsel erzeugen (bei längerer Stoßlüftung lüftet sich wiederum nur die bereits gewechselte Luft). Je nach Wind und Temperaturdifferenz ist bei einer Stoßlüftung, am besten als Querlüftung mit offenen Fenstern auf beiden Seiten der Wohnung, bereits nach ca. 1 bis 5 Minuten die Luft vollständig getauscht.

Eine mechanische Lüftung sorgt nutzerunabhängig für einen ausreichenden Luftwechsel. Entweder wird der hygienisch erforderliche Mindestluftwechsel von 0,4/h (ca. 10 x pro Tag) fix eingestellt oder die Anlage wird mittels Feuchte- bzw. CO₂-Fühler variabel gesteuert. Problematisch ist, abgesehen von den Investitionskosten, der Platzbedarf für die Luftleitungen sowie die erforderliche Wartung und Reinigung (die Praxis zeigt, dass der Aufwand für Wartung und Reinigung bei zentralen Anlagen sehr gering ist, bei dezentralen Anlage etwas höher).

Lüftungsanlagen mit konstantem Luftwechsel erzeugen in der Praxis oft eine viel zu trockene Luft, dies liegt an der überbewerteten Anwesenheit der Bewohner, d.h. einer überbewerteten Feuchtabgabe (theoretische Grundlage sind 30 m² pro anwesender Person, d.h. bei einer 120 m² Wohnung müssten 4 Personen permanent anwesend sein bzw. 6 Personen 16h pro Tag), solche Anlagen sind nicht mehr Stand der Technik.

Fenstertausch

Problematisch ist die Kombination »dichtes Gebäude« und »schlechte Dämmung«, also typisch nach einem Fenstertausch. Im Bereich thermischer Schwachstellen, sogenannter Wärmebrücken (entweder geometrisch, z.B. Gebäudeecken, oder materialbedingt, z.B. Rollladenkasten) entsteht erhöhte Luftfeuchte und infolge dessen Schimmelbildung.

Dies bedeutet, dass insbesondere nach einem Fenstertausch das Schimmelrisiko deutlich ansteigt. Da der Fenstertausch die vorhandene Fugenlüftung beendet, ist ein neues Lüftungskonzept zwingend erforderlich.

Entschärft wird die Situation, wenn gleichzeitig mit dem Fenstertausch das Gebäude rundum außen gedämmt wird (nicht aber bei einer Innendämmung!). In der Praxis ist eine solche lückenlose Außendämmung, wie dies im Neubau möglich ist, jedoch unrealistisch. Einzelne Wärmebrücken, z.B. Sockelanschluss, Balkon, Säulen, sind meist unvermeidbar.

Richtig Lüften - Theorie

Die fünf Sinne des Menschen (Fühlen, Hören, Riechen, Schmecken, Sehen) ermöglichen keine direkte Feuchte-wahrnehmung. Nur indirekt bekommen wir über trockene Atemwege, verändertes Temperaturempfinden bei feuchter (wärmer) bzw. trockener Luft (kühler) oder Schwitzen Rückschlüsse auf die Luftfeuchte. Aber auch dies nur außerhalb des im Innenraum gewünschten behaglichen Bereichs.

Messgeräte zeigen in der Regel die relative Luftfeuchte (Wassergehalt der Luft in %) an, d.h. den Feuchtegehalt in Relation zur maximal möglichen Feuchteaufnahme. Diese ist jedoch stark abhängig von der Temperatur der Luft. Die absolute Luftfeuchte (Wassergehalt der Luft in g/m^3) ergibt sich aus der Temperatur und der relativen Feuchte.

Für ein »technisches Lüften« muss die absolute Luftfeuchte (Wassergehalt der Luft in g/m^3) bekannt sein. Demnach ist es zwingend erforderlich Temperatur und relative Feuchte von Außenluft und Raumluft zu messen und aufgrund dieser Daten die absolute Feuchte zu bestimmen (mittels Tabelle bzw. durch Berechnung).

Ist die absolute Feuchte (in g/m^3) außen geringer als innen, dann wird die Raumluft beim Lüften trockener, bei einer Außenluft unter 5°C ist dies praktisch immer der Fall. In der Übergangszeit kann die Raumluft durch »falsches Lüften« feuchter werden, was in normalen Wohnräumen durch die bereits geringere Temperaturdifferenz unproblematisch ist, im kühlen Keller hingegen führt dies zum sogenannten »Feuchtlüften« und ist sehr kritisch.

Richtiges Lüften aufgrund der tatsächlichen absoluten Feuchte von Außen- und Innenluft ist nur etwas für echte »Freaks« (oder automatisierter Haustechnik). Für den »Durchschnittsmenschen« ist ein einfacherer Ansatz erforderlich.

Richtig Lüften - Praxis

Beim rundum außen gedämmten Neubau ist eine Luftfeuchte mit 50% Dauerluftfeuchte und 60% Spitzenwert zulässig (bei -5°C Außenlufttemperatur). Beim Bauen im Bestand - ohne rundum lückenloser Außendämmung - entstehen naturgemäß thermische Schwachstellen (Wärmebrücken), dementsprechend trockener muss die Raumluft sein.

Der genaue Grenzwert der zulässigen Luftfeuchte kann nur durch eine dreidimensionale Wärmebrückenberechnung bestimmt werden, grobe Richtwert stehen in der Tabelle.

Richtwert Luftfeuchte: Dauerluftfeuchte / Spitzenluftfeuchte

Außenluft θ_e	10°C	5°C	0°C	-5°C	-10°C	-15°C
B 8110-2 (Neubau)	60/70	55/65	55/65	50/60	45/55	40/50
Sanierung, DG-Ausbau, Büro neu	50/60	45/55	45/55	40/50	35/45	30/40
Gründerzeithaus, Innendämmung	45/50	40/45	40/45	35/40	30/35	25/30

Wirklich kritisch ist es nur in der Heizperiode, insbesondere bei Außentemperaturen unter 5°C . In dieser Zeit ist die absolute Feuchte außen aber praktisch immer geringer als innen, es reicht also regelmäßig zu Lüften und

die relative Luftfeuchte im Innenraum mit einem Messgerät (gibt es um 20 bis 30 € in jedem Baumarkt) zu kontrollieren.

Achtung: Im Keller ist die Problematik etwas anders. Die Temperatur des Erdreichs und dadurch auch die Oberflächentemperatur im Raum, ist gegenüber der Außenluft um einige Monate verschoben. Dadurch kommt beim Lüften im Frühjahr die feuchtwarme Außenluft an die noch immer kalten Oberflächen (»Feuchtlüften«). Wenn Kondensat vermieden werden soll, dann muss der Keller ganzjährig auf mindestens 22°C (20°C) beheizt werden.

Feuchteabgabe

In schimmelgefährdeten Wohnungen sollte die Feuchteabgabe reduziert werden. Das heißt Wäsche nicht in der Wohnung, sondern im Freien oder in einem Waschraum trocknen bzw. einen elektrischen Trockner verwenden. Nassräume sollten mit einem feuchtegesteuerten Abluftventilator ausgestattet werden.

Leider eignet sich ein Abluftventilator im Bad nicht zum kontrollierten Trockenhalten der ganzen Wohnung, denn hierfür müsste der Grenzwert am Lüfter außentemperaturabhängig geregelt sein. Grundsätzlich gibt es externe Regler für eine Montage im Wohnraum, dann kann man im Winter 30% bis 40% und im Sommer 60 bis 70% einstellen. Zusätzlich muss in dichten Wohnungen für ein ausreichendes Nachströmen der Luft gesorgt werden (Außenluftdurchlass).

Fazit

Für ein »richtiges Lüften« muss die Luftfeuchte messtechnisch überwacht werden. Aufgrund der geringen absoluten Feuchte der kalten Winterluft reicht es die relative Luftfeuchte im Innenraum zu kontrollieren (ausgenommen bei Bauteilen gegen Erdreich!). Steigt die Luftfeuchte über den zulässigen Wert (siehe obige Tabelle), dann muss gelüftet werden. Alternativ kann mechanisch Be- und Entlüftet werden.

Anmerkung: Wird der hygienisch erforderliche Luftwechsel eingehalten, dann gibt es in der Regel auch keinen Schimmel, d.h. ein ausreichender hygienischer Luftwechsel bewirkt eine physikalisch problemlose Luftfeuchte.

»richtig Lüften« 13 Seiten

1. Allgemein

Luft ist ein unverzichtbarer Bestandteil unserer Umwelt. Täglich atmen wir ca. 11 kg Luft ein (Erwachsener: 0,5 l/Atemzug, 13 Atemzüge/min, Luft ca. 1,2 kg/m³), somit ist Luft quasi das „Grundnahrungsmittel“ Nr. 1. Die Natur stellt uns im Freien unverbrauchte Luft (zumindest noch) in beliebiger Menge zur Verfügung. Damit die Qualität auch im Innenraum stimmt muss entsprechend gelüftet werden.

Abgesehen vom hygienisch erforderlichen Luftwechsel gibt es auch den physikalisch erforderlichen Luftwechsel aufgrund der im Raum abgegebenen Feuchte. Oberflächenkondensat und das damit verbundene Schimmelpilzrisiko ergibt sich immer aus dem Konflikt zwischen »richtig Dämmen« (Qualität des Gebäudes) und »richtig Lüften« (Nutzerverhalten).

Auch bei Gebäuden mit rundum lückenloser Wärmedämmung (hoher Oberflächentemperatur) kann ein zu feuchtes Nutzerverhalten zu Oberflächenkondensat führen, ebenso wie ein sehr trockenes Nutzerverhalten ein Oberflächenkondensat im ungedämmten Altbau (geringe Oberflächentemperatur) vermeiden kann. Jedes Gebäude erlaubt ein anders Nutzerverhalten und braucht sein individuelles »richtig Lüften«.

2. Randbedingungen

Ein objektives Abwägen zwischen »richtig Dämmen« und »richtig Lüften« kann nur mit einem Referenzklima erfolgen, dies ist in ÖN B 8110-2: 'Wärmeschutz im Hochbau - Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz' [ÖN B 8110-2], festgelegt (Ausgabe 2003, nicht mehr in Ausgabe 2020).

2.1. Luftfeuchte

Die Raumluft ist mit einer Temperatur $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ und einer Luftfeuchte $\varphi_i = 65\%$ festgelegt, bei negativen Außentemperaturen reduziert sich die Luftfeuchte um 1% je 1 K unter 0°C :

Tab 1: maximal zulässige relative Luftfeuchte im Raum φ_i

Außenluft θ_e	φ_i Kondensat (Spitzenwert)	φ_i Schimmel (Mittelwert)
$\geq 0^\circ\text{C}$	65 %	55 %
$= -5^\circ\text{C}$	60 %	50 %
$= -10^\circ\text{C}$	55 %	45 %

Die ÖN B 8110-2 begrenzt den Spitzenwert mit einer Dauer von maximal 8 Stunden, der Mittelwert gilt für die gesamte kalte Jahreszeit (Heizperiode).

2.2. Oberflächentemperatur

Aus diesen Randbedingungen ergibt sich die zulässige Oberflächentemperatur Temperatur bei Kondensat (100% Luftfeuchte) und Schimmel (80% Luftfeuchte):

Tab 2: mindestens erforderliche Oberflächentemperatur $\theta_{si \min}$

Außenluft θ_e	$\theta_{si \min}$ Kondensat	$\theta_{si \min}$ Schimmel
$\geq 0^\circ\text{C}$	13,2 °C	14,1 °C
$= -5^\circ\text{C}$	12,0 °C	12,6 °C
$= -10^\circ\text{C}$	10,7 °C	11,0 °C

Die erforderliche Oberflächentemperatur ist stark abhängig von der Außentemperatur. Die Bemessung von Bauteilen erfolgt mit dem Temperaturfaktor, festgelegt in EN ISO 13788 [EN 13788]: $f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e)$, demnach ergibt sich als Anforderung (siehe Anlage):

Tab 3: mindestens erforderlicher Temperaturfaktor $f_{Rsi,min}$

Außenluft θ_e	$f_{Rsi,min}$ Kondensat	$f_{Rsi,min}$ Schimmel
$\geq 0^\circ\text{C}$	0,66	0,70
$= -5^\circ\text{C}$	0,68	0,70
$= -10^\circ\text{C}$	0,69	0,70

Dieser Temperaturfaktor ist praktisch (fast) unabhängig von der Außentemperatur (in Deutschland daher mit -5°C festgelegt [DIN 4108-2]) und beträgt im ungünstigsten Fall 0,69 für Kondensat und 0,71 für Schimmel (in Deutschland 0,70 sowie in ÖN B 8110-2 2020 ebenfalls mit 0,70).

Damit diese Bedingungen eingehalten werden muss der Nutzer während der kalten Jahreszeit für eine entsprechende Beheizung und regelmäßige bzw. bedarfsabhängige Belüftung sämtlicher Räume sorgen, dies gilt auch für nur zeitweise genutzte Räume (Nebenräume) [Künzl 2009].

2.3. Wärmebrücken

Im ungestörten Wandbereich wird die erforderliche Oberflächentemperatur problemlos eingehalten. Bereits ein U-Wert von $< 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ [EN 13788] ist ausreichend um an ebenen Bauteil Oberflächenkondensat zu vermeiden (siehe Anlage ...), z.B. 60 cm Vollziegelmauerwerk, 3 cm Dämmstoff oder ein 2fach-Isolierglas.

Problematisch ist hingegen der Bereich von Wärmebrücken. Einerseits materialbedingte Wärmebrücken, d.h. die Verbindung unterschiedliche Baustoffe (z.B. Stahlträger, Befestigungen), andererseits geometrische Wärmebrücken (z.B. Ecken, Balkone, Säulen).

Neben Metallteilen sind es vor allem dreidimensionale Wärmebrücken (Gebäudeecken) an denen die tiefsten Oberflächentemperaturen entstehen, hingegen sind zweidimensionale Wärmebrücken (Gebäudekanten) meist nur für energetische Verluste relevant.

Abgesehen von konstruktiven Wärmebrücken ist es vor allem der raumseitige Wärmeübergangswiderstand maßgeblich. Dieser beschreibt die Dämmwirkung der (ruhenden) Luftschicht, wodurch die Oberflächentemperatur geringer ausfällt als die Temperatur im Raum.

Der raumseitige Wärmeübergangswiderstand von $0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ wird verwendet um den ungünstigsten Fall der Gefahr der Tauwasserbildung in einer Ecke darzustellen [EN 13788], für Verglasungen wird der ansonsten übliche Wert von $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ verwendet.

Einen Wert von $0,50 \text{ m}^2\text{K/W}$ wird empfohlen, wenn der Wärmeübergang durch Gegenstände, wie beispielsweise durch Möbel, erheblich beeinträchtigt wird (EN ISO 10211-1: 1996-03-01 [EN 10211-1], ersetzt durch EN ISO 10211: 2008-04-01 [EN 10211] aber ohne detaillierte Angaben zum Wärmeübergangswiderstand).

Eine ausreichende Vermeidung von Wärmebrücken erfordert ein richtiges Dämmen. Kleine Details können großen Einfluss haben auch wenn deren Auswirkung auf den Energieverbrauch wenig relevant ist.

3. Begriffe

Zur besseren Übersicht sowie zum einfacheren Lesen eine Zusammenfassung der Begriffe.

3.1. Luftfeuchte

Messgeräte zeigen in der Regel die relative Luftfeuchte (Wassergehalt der Luft in %) an, d.h. den Feuchtegehalt in Relation zur maximal möglichen Feuchteaufnahme, diese ist jedoch stark abhängig von der Temperatur der Luft.

Der absolute Feuchtegehalt (Wassergehalt der Luft in g/m^3) ergibt sich aus der Temperatur und der relativen Luftfeuchte (siehe Anlage).

3.2. Luftwechselrate

Die Luftwechselrate ist ein Maß für die Zuluft des Raumes bezogen auf das Raumvolumen. Eine Luftwechselrate von 1/h bedeutet, dass die Raumluft in einer Stunde einmal gewechselt wird, bei einer Luftwechselrate von 0,40/h wird die Luft im Raum alle 2,5 h gewechselt.

3.3. Falschluftrate

In einem undichten Altbestand beträgt der natürliche Luftwechsel über vorhandene Fugen (Infiltration / Falschluftrate) ca. 0,40/h bis 1,10/h.

In einem dichten Neubau bzw. nach einem Fenstertausch (dichte Fenster & dichte Montage) reduziert sich die Falschluftrate auf ca. 0,04 bis 0,11/h (Blower-Door-Test $n_{50} = 0,5$ bis 1,5 [ÖN B 8110-6]).

3.4. Feuchteabgabe

Die Feuchte in Gebäuden entsteht zum Großteil durch Personen (ca. 50 g/h), Pflanzen, Kochen & Spülen, Körperreinigung und Wäschetrocknen.

In Wohnräume beträgt die typische Feuchteabgabe pro m^2 zwischen ca. 100 g/Tag (4,2 g/h) bei 25 m^2 /Person und 50 g/Tag (2,1 g/h) bei 50 m^2 /Person [Künzel 2009].

3.5. Feuchtelast

Die Feuchtelast ist die Differenz der absoluten Feuchte zwischen innen und außen. Nach EN 13788 beträgt die Feuchtelast für Wohngebäude 4 g/m^3 „bei normaler Belegung und Lüftung“ bzw. 6 g/m^3 „mit unbekannter Belegung“ bei einer Außenluft kleiner 0°C .

Eine Feuchtelast von 7,3 g/m^3 entspricht dem Klima für Oberflächenkondensat (Feuchtespitzen) nach ÖN B 8115-2, eine Feuchtelast von 5,5 g/m^3 dem Klima für Schimmelrisiko. Die Kombination beider Fälle (6 Stunden 7,3 g/m^3 und 18 h 5,5 g/m^3) ergibt ca. 6 g/m^3 .

3.6. Blower-Door-Test

Mit dem Differenzdruck-Messverfahren (Blower-Door-Test) wird die Luftdichtheit eines Gebäudes gemessen. Das Verfahren dient dazu die Luftwechselrate zu bestimmen und um Leckagen (Undichtigkeiten) in der Gebäudehülle aufzuspüren. Durch die Druckdifferenzen wird eine konstante Windlast auf das zu messende Gebäude simuliert.

Die Prüfung erfolgt mit einem Ventilator, der lufflicht in eine Tür- oder Fensteröffnung eingesetzt wird. Der drehzahlgeregelte Ventilator wird so eingestellt, dass zum Umgebungsdruck eine Druckdifferenz von 50 Pa (Pascal) entsteht.

Die Gebäudehülle beim Neubau muss dauerhaft luftdicht ausgeführt sein. Die Luftwechselrate n_{50} (Blower-Door-Test) darf den Wert 3,0/h nicht überschreiten. Bei Gebäuden mit mechanisch betriebene Lüftungsanlage (mit Wärmerückgewinnung) darf die Luftwechselrate n_{50} den Wert 1,5/h nicht überschreiten [OIB 6].

3.7. Spaltlüftung

Die Spaltlüftung ist ein unkontrolliertes Lüften über Undichtigkeiten, in der Regel über Spalte im Bereich der Fenster aber auch durch undichte Bauteile. Die Luftwechselrate ist dabei sehr stark abhängig von den tatsächlichen Windverhältnissen.

3.8. Stoßlüften

Unter Stoßlüftung versteht man einen möglichst schnellen Luftaustausch, in der Regel durch ein vollständiges Öffnen der Fenster, wenn möglich zu beiden Seiten des Gebäudes. Nach ca. 1 bis 5 Minuten (abhängig von Wind und Temperatur) ist die Luft vollständig getauscht.

4. Lüftungsarten

Für ein »technisches Lüften« muss die absolute Luftfeuchte (Wassergehalt der Luft in g/m^3) bekannt sein. Demnach ist es zwingend erforderlich Temperatur und relative Feuchte von Außenluft und Raumluft zu messen (Messgeräte gibt es ab 30 € in jedem Baumarkt) und aufgrund dieser Daten die absolute Feuchte zu bestimmen (siehe Anlage).

Ist die absolute Feuchte (in g/m^3) außen geringer als innen, dann wird die Raumluft beim Lüften trockener, bei einer Außenluft unter 5°C ist dies praktisch immer der Fall. In der Übergangszeit kann die Raumluft durch »falsches Lüften« feuchter werden, was in normalen Wohnräumen durch die bereits geringere Temperaturdifferenz unproblematisch ist, im kühlen Keller hingegen führt dies zum sogenannten »Feuchtlüften« und ist sehr kritisch.

Der Luftwechsel kann ganz unterschiedliche herbeigeführt werden: Entweder durch mechanische Lüftung (zentrale oder dezentrale mechanische Be- und Entlüftung, sinnvoller Weise kombiniert mit einer Wärmerückgewinnung), mit manueller Lüftung (Fensterlüftung) oder mittels natürlicher Lüftung über Undichtigkeiten der Gebäudehülle (Infiltration / Falschluftrate).

4.1. Natürlicher Luftwechsel

Beim undichten Altbestand (Gründerzeithaus) ist der natürliche Luftwechsel über Fensterfugen in der Regel ausreichend (ca. 0,40 bis 1,10 x pro h entspricht ca. 10 bis 26 x pro Tag). Probleme gibt es praktisch nur in sehr windgeschützten Lagen (z.B. hofseitige Wohnung im Erdgeschoss).

Bei einer dichten Gebäudehülle reduziert sich der natürliche Luftwechsel auf ca. 1 bis 3 x pro Tag (Luftwechsel 0,04 bis 0,11/h), dementsprechend muss zusätzlich gelüftet werden.

Der natürliche Luftwechsel ergibt sich aus dem gemessenen Luftwechsel beim Blower-Door-Test (n_{50}) sowie einer Korrektur für die Art der Lüftung ($f_{\text{Lüftung}}$) sowie für Abschirmung bzw. Gebäudehöhe (f_{Lage}):

$$n_x = f_{\text{Lüftung}} * n_{50} * (f_{\text{Lage}} * \Delta p / 50)^{0,67} \quad \text{»Normalfall«: } n_x = 0,5 * n_{50} * (1,0 * \Delta p / 50)^{0,67}$$

Normalfall: Beim Blower-Door-Test bewirkt der erzeugte Druckunterschied einen Wind auf alle 4 Fassaden, realer Wind wirkt aber nur auf 2 Fassaden (2 Seiten Druck, 2 Seite Sog). Bei freier Lüftung ergibt sich dadurch $f_{\text{Lüftung}} = 0,5$ und ohne Abschirmung bei Gebäuden bis 15 m Höhe ein $f_{\text{Lage}} = 1,0$ [DIN 1946-6].

Für den skizzierte »Normalfall« ergibt sich folgender natürliche Luftwechsel:

$$\begin{aligned} n_x &= n_{50} / 14 && \dots \text{ Lüftungsverluste Energieausweis [OIB 6], 2,2 m/s (=2,8 Pa)} \\ n_x &= n_{50} / 7,0 && \dots \text{ mittlere Windgeschwindigkeit für Wien, 3,6 m/s (=8,0 Pa)} \\ n_x &= n_{50} / 3,5 && \dots \text{ sehr windig (5,8 m/s =20 Pa) bzw. 3,6 m/s in exponierter Lage} \end{aligned}$$

Der tatsächliche natürliche Luftwechsel ist schwer vorherzusagen, bei einer heute üblichen dichten Gebäudehülle ($n_{50} = 0,5$ bis $1,5/\text{h}$) ist der natürliche Luftwechsel aber in der Regel nicht ausreichend, d.h. ein Lüftungskonzept ist zwingend erforderlich.

4.2. Manuelles Lüften

In der kritischen Jahreszeit (Außenluft unter 5°C) wird die Raumluft (mindestens 20°C) beim Lüften immer trockener. Demnach ist es ausreichend die Luftfeuchte im Raum zu kontrollieren und bei Bedarf - bevor die zulässigen Grenzwerte (bei -5°C 60% Spitzenwert und 50% Mittelwert) überschritten werden - entsprechend zu Lüften.

Je trockener die Außenluft (absolute Feuchte) und je feuchter die Raumluft, desto effektiver ist das Lüften. Feuchte ist aber vor allem in Bauteilen und Einrichtung gespeichert, deshalb ist ein unkontrolliertes Dauerlüften nicht effizient.

Manuelles Lüften erfolgt entweder durch gekippte Fenster oder mittels Stoßlüftung. Dauerhaft gekippte Fenster sind energetisch ungünstig, ständig lüftet sich die ohnehin bereits getauschte Luft (Luftwalze) und die angrenzenden Bauteile werden unnötig abgekühlt, was wiederum das Kondensatrisko erhöht.

Mittels Stoßlüftung kann die Raumluft in kurzer Zeit schnell getauscht und somit getrocknet werden. Danach braucht es etwas Zeit (ca. ½ Stunde), in der Bauteile und Einrichtung die gespeicherte Feuchte an die Raumluft abgeben können bevor eine erneute Stoßlüftung sinnvoll ist. Mittels Stoßlüftung kann stets nur ein einfacher Luftwechsel erfolgen (danach lüftet sich die ohnehin bereits getauschte Luft).

4.3. Mechanische Be- und Entlüftung

Das zu erlernende »richtige Lüften« kann durch eine (luftqualitätsabhängig geregelte) mechanische Be- und Entlüftung ersetzt werden. Da es sich hierbei um eine Dauerlüftung handelt sollte sie aus energetischen Gründen in Kombination mit Wärmerückgewinnung betrieben werden.

Eine mechanische Lüftung sollte insbesondere dann zur Anwendung kommen, wenn der thermische Gesamtzustand eine deutliche Unterschreitung der normativen Luftfeuchte erfordert (3-dimensionale Wärmebrücken, ungedämmte bzw. innengedämmte Gebäude) oder die Feuchteabgabe vergleichsweise hoch ist (viele Personen in kleiner Wohnung).

Eine mechanische Lüftung kann zentral (ein Lüftungsgerät mit entsprechenden Luftleitungen) aber auch dezentral aus mehreren kleinen Einzelgeräten bestehen.

4.4. Mechanische Abluft

Um eine Mindestluftwechsel zu garantieren kann eine mechanische Abluft (meist in den Nasszellen) verwendet werden. Ventilatoren hierfür gibt es feuchte als auch drehzahlgeregelt, d.h. je feuchter die Luft, desto höher die Leistung des Ventilators. Erst wenn die voreingestellte Luftfeuchte erreicht ist (z.B. 40% relative Feuchte) schaltet der Ventilator ab.

Leider sind solche Abluftventilatoren weniger praktisch als es im ersten Moment erscheint. Denn um tatsächlich die ganze Wohnung trocken zu halten, müsste der Grenzwert am Lüfter außentemperaturabhängig geregelt sein. Bei fix eingestellten 40% läuft der Ventilator den ganzen Sommer durch und bei fixen 70% wird im Winter keine Wohnung trocken.

Grundsätzlich gibt es auch externe Regler für eine Montage im Wohnraum, dann kann man im Winter 30% bis 40% und im Sommer 60 bis 70% einstellen (motivierter Nutzer erforderlich), oder ein Elektriker bastelt eine außentemperaturabhängige Feuchtesteuerung.

Bei einer sehr dichten Gebäudehülle, z.B. nach einem Fenstertausch, muss zusätzlich für ein ausreichendes Nachströmen der Luft gesorgt werden (Außenluftdurchlass, Fensterdichtung entfernen, Fenster mit Lüftungsstellung). Da es sich hierbei um eine Dauerlüftung ohne Wärmerückgewinnung handelt, ist auch die energetische Sicht zu beachten.

Jedenfalls ist ein feuchtegesteuerter Abluftventilator im Bad sinnvoll, denn auch bei einer üblichen Einstellung von 70% wird zumindest die im Bad produzierte Feuchte sofort abgeführt (ein Ventilator mit Nachlauf tut es aber auch).

5. Hygienisch erforderliche Mindestluftwechsel

Der hygienisch erforderliche Mindestluftwechsel ist ein Mindestmaß für die Sicherstellung von Frischluft unterhalb derer Geruchsprobleme, Staub- und Mikroorganismenbelastung sowie Radonkonzentrationen auftreten können. Der hygienisch erforderliche Luftwechsel beträgt ganz pauschal 30 m³/h pro (anwesender) Person [EN 13789].

Bei Wohngebäuden (lichte Raumhöhe LRH: ca. 2,5 m und 30 m²/Person) ergibt sich daraus eine Luftwechselrate von 0,4/h (0,3...0,4...0,6 /h bei 40...30...20 m²/Person).

Bei Nichtwohngebäuden (lichte Raumhöhe LRH: ca. 3,0 m und 5 m²/Person) ergibt sich eine Luftwechselrate von 2,0/h (1,0...2,0...3,3 /h bei 10...5...3 m²/Person).

6. Physikalisch erforderliche Luftwechsel

Der physikalisch erforderliche Luftwechsel ist stark abhängig von der Feuchteabgabe im Raum. Die notwendige Luftwechselzahl ergibt sich aus der Luftfeuchte der Außenluft, der Luftfeuchte der Innenluft, der Feuchteabgabe im Raum sowie dem Raumvolumen.

6.1. Wohngebäude (Wohnheime)

Besonders problematisch sind Schlafräume. Einerseits wegen der hohen Feuchteabgabe (geringen Anzahl an Quadratmetern pro Person) und andererseits, weil das erforderliche (Stoß-) Lüften während des Schlafens naturgemäß problematisch ist.

Bei einer für Wohnräume typischen Feuchteabgabe (Mix aus Personen, Pflanzen, Kochen & Spülen, Körperreinigung und Wäschetrocknen) zwischen ca. 100 g/m² pro Tag (4,2 g/m² pro h) bei 25 m²/Person und 50 g/m² pro Tag (2,1 g/m² pro h) bei 50 m²/Person [Künzel 2009] kann der erforderliche Luftwechsel in Abhängigkeit vom Raumklima abgeschätzt werden.

Tab 4: erforderlicher Luftwechsel Wohngebäude: $n_{\text{erf.}} = m_h / LRH \cdot 1 / (m_{wi} - m_{we})$

innen	innen	Feuchte	Feuchte	Feuchte	Luft	Luft
Temp.	rel. F.	innen	außen	Produktion	Wechsel	Wechsel
θ_i	φ_i	m_{wi}	m_{we}	m_h	n_{erf}	n_{erf}
°C	%	g/m ³	g/m ³	g/hm ²	1/h	1/d
24	70	15,2	3,0	4,2	0,14	3,3
22	60	11,6	3,0	4,2	0,20	4,7
20	50	8,6	3,0	4,2	0,30	7,1
18	40	6,1	3,0	4,2	0,54	12,8
hohe Personenbelegung: 25 m ² /Person (4,2 g/hm ²), LRH = 2,5 m						

Je nach Raumklima ergibt sich ein sehr unterschiedlicher erforderlicher Luftwechsel. Bei einer zulässigen Luftfeuchte von 60 bis 70% und 22 bis 24°C, z.B. Neubau mit rundum lückenloser Wärmedämmung und warmen Räumen, reicht es die Luft 3 bis 5 x am Tag zu tauschen (1 x über die dichten Fugen und 2 bis 4 x Stoßlüften).

Bei einer zulässigen Luftfeuchte von 40 bis 50% und 18 bis 20°C, z.B. Altbestand nach Fenstertausch im kühlen Schlafzimmer, muss die Luft 7 bis 13 x am Tag getauscht werden (1 x über die dichten Fugen und 6 bis 12 x Stoßlüften), manuelles Lüften ist demnach praktisch unzumutbar!

Bei der normativ üblichen Annahme von 30 m²/Person (3,2 g/hm²), reduziert sich der erforderliche Luftwechsel der Tabelle 1 um ca. 25% und bei 50 m²/Person (2,1 g/hm²), reduzieren sich die Tabellenwerte um ca. 50%.

Da die tatsächliche Feuchteabgabe genauso wie die Personenbelegung sehr individuell unterschiedlich ist, sollte die Luftfeuchte in problematischen Wohnungen gemessen werden, was ebenso einfach wie billig ist.

6.2. Nichtwohngebäude

Aufgrund der geringeren Feuchteabgabe sind typische Nichtwohngebäude (Bildungseinrichtungen, Bürogebäude, ...) weniger kritisch. Insbesondere auch deshalb, weil die problematischen Schlafräume wegfallen (beim Schlafen lässt es sich schlecht Lüften).

Bei Nichtwohngebäuden beschränkt sich die Feuchteabgabe fast ausschließlich auf die Personen, diese kann mit 50 g/h angesetzt werden [Künzel 2009]. Der erforderliche Luftwechsel kann in Abhängigkeit von der Personendichte abgeschätzt werden.

Tab 5: erforderlicher Luftwechsel Nicht-Wohngebäude: $n_{\text{erf.}} = m_h / \text{LRH} \cdot 1 / (m_{\text{wi}} - m_{\text{we}})$

Typ	Personen	Feuchte	Feuchte	Feuchte	Luft-	Luft-
z.B.	Dichte	innen ¹⁾	außen	Produktion	Wechsel	Wechsel
	P-Dichte	m_{wi}	m_{we}	m_h	n_{erf}	n_{erf}
	m^2 / P	g/m^3	g/m^3	g/hm^2	1/h	1/d
Klasse	2,5	6,5	3,0	20,0	1,02	24,6
Callcenter	5,0	6,5	3,0	10,0	0,51	12,3
Büro	10,0	6,5	3,0	5,0	0,26	6,1
¹⁾ 22°C und 40% rel. Feuchte (trocken = hoher Luftwechsel), LRH=3,0 m						

Für die beispielhaften Räume wurde eine Raumluft mit 40% relativer Feuchte angenommen. Einerseits weil Nichtwohngebäude meist relativ trocken sind und andererseits, um auch bei einer thermisch unzureichenden Gebäudehülle Kondensat zu vermeiden.

Der erforderliche Luftwechsel ist stark abhängig von der Personendichte. In einem typischen Klassenzimmer muss die Luft zumindest 1 x pro Stunde gewechselt werden, in einem Büro nur alle 4 Stunden. Eine höhere zulässige Luftfeuchte (in der obigen Tabelle nur 40%) reduziert den erforderlichen Luftwechsel.

7. Richtig Lüften

Bei Gebäuden mit rundum lückenloser Wärmedämmung (hoher Oberflächentemperatur) kann ein zu feuchtes Nutzerverhalten zu Oberflächenkondensat führen, ebenso wie ein sehr trockenes Nutzerverhalten ein Oberflächenkondensat im ungedämmten Altbau (geringe Oberflächentemperatur) vermeiden kann. Jedes Gebäude erlaubt ein anders Nutzerverhalten und braucht sein individuelles »richtig Lüften«.

7.1. Undichter Altbestand

Bei einem undichten Altbestand (Gründerzeithaus) ist der natürliche Luftwechsel über die Fensterfugen in der Regel ausreichend (ca. 0,40 bis 1,10 x pro h entspricht ca. 10 bis 26 x pro Tag). Probleme gibt es praktisch nur in sehr windgeschützten Lagen (z.B. hofseitige Wohnung im Erdgeschoss) und/oder bei sehr großer Personendichte.

Bei solchen »kleinen Wohnungen« ohne möglicher Querlüftung und geringem natürlichen Luftwechsel sind dezentrale mechanische Lüfter (mit Wärmerückgewinnung) sinnvoll. Ein generelles Problem im Altbestand ist aber der Fenstertausch (siehe Sanierung).

7.2. Dichter Neubau

Beim rundum außen gedämmten Neubau ist die zulässige Luftfeuchte so hoch, dass keine spezielle Anforderung an das Lüftungsverhalten erforderlich sein sollte. Bei gebühlichem Nutzerverhalten (2 bis 3 x Stoßlüften pro Tag plus 1 Luftwechsel über Fugen), einer unmittelbaren Feuchteabfuhr im Bad (Abluftventilator) und üblicher Belegung (>30 m²/Person) ist kein Schimmel zu erwarten.

Dennoch gibt es auch Schimmel im Neubau. Bei sehr feuchter Nutzung (z.B. 20 m²/Person) oder zu geringer Lüftung (1 x Stoßlüften, kein Luftwechsel über Fugen) kommt es trotz der deutlich dickeren Wärmedämmung der letzten Jahre zu Schimmel. Oder aber an unzulässigen Wärmebrücken (siehe Sanierung).

Problematisch ist auch die steigende Baufeuchte beim Erstbezug aufgrund der stark verkürzten Bauzeit (Beton, Putz, Estrich sind noch nicht vollständig durchgetrocknet), dem Einbau feuchter Baustoffe (Wärmedämmung,

Holz und Holzwerkstoffe) oder durch Schimmel, der bereits in der Bauphase entsteht (z.B. feuchte und hohe Schüttungen in Kombination mit Gipskarton, Holz und Holzwerkstoffen).

7.3. Sanierung

Problematisch ist die Kombination »dichtes Gebäude« und »schlechte Dämmung«, also typisch nach einem Fenstertausch. Im Bereich thermischer Schwachstellen, sogenannter Wärmebrücken (entweder geometrisch, z.B. Gebäudeecken, oder materialbedingt, z.B. Rollladenkasten) entsteht erhöhte Luftfeuchte und infolge dessen Schimmelbildung.

Dies bedeutet, dass insbesondere nach einem Fenstertausch das Schimmelrisiko deutlich ansteigt. Da der Fenstertausch die vorhandene Fugenlüftung beendet, ist ein neues Lüftungskonzept zwingend erforderlich.

Entschärft wird die Situation, wenn gleichzeitig mit dem Fenstertausch das Gebäude rundum außen gedämmt wird (nicht aber bei einer Innendämmung!). In der Praxis ist eine solche lückenlose Außendämmung, wie dies im Neubau möglich ist, jedoch unrealistisch. Einzelne Wärmebrücken, z.B. Sockelanschluss, Balkon, Säulen, sind meist unvermeidbar.

Der genaue Grenzwert der zulässigen Luftfeuchte kann nur durch eine dreidimensionale Wärmebrückenberechnung bestimmt werden, grobe Richtwerte stehen in Tabelle 6.

Tab 6: Richtwert Luftfeuchte: Dauerluftfeuchte $\varphi_{i \text{ mittel}}$ / Spitzenluftfeuchte $\varphi_{i \text{ max}}$

Außenluft θ_e	10°C	5°C	0°C	-5°C	-10°C	-15°C	f_{Rsi}
B 8110-2 (Neubau)	60/65	55/65	55/65	50/60	45/55	40/50	0,70
Sanierung, DG-Ausbau, Büro neu	50/55	45/55	45/55	40/50	35/45	30/40	0,60
Gründerzeithaus, Innendämmung	45/50	40/45	40/45	35/40	30/35	25/30	0,50

Wirklich kritisch ist es nur in der Heizperiode, insbesondere bei Außentemperaturen unter 5°C. In dieser Zeit ist die absolute Feuchte außen aber praktisch immer geringer als innen, es reicht also regelmäßig zu Lüften und die relative Luftfeuchte im Innenraum mit einem Messgerät (gibt es um € 20 bis € 30 in jedem Baumarkt) zu kontrollieren.

7.4. Keller

Bei Bauteilen gegen Erdreich (Keller) ist die Gesamtproblematik etwas anders. Die Temperatur des Erdreichs und dadurch auch die Oberflächentemperatur im Raum, ist gegenüber der Außenluft um einige Monate verschoben.

Dadurch kommt beim Lüften im Frühjahr die feuchtwarme Außenluft an die noch immer kalten Oberflächen im Keller, folglich entsteht Oberflächenkondensat, dies bezeichnet man als »Feuchtlüften«. Wenn Kondensat vermieden werden soll, dann muss der Keller ganzjährig auf mindestens 22°C beheizt werden.

8. Fazit

Ein »richtiges Lüften« ist beim Wohnen in luftdichten Gebäuden zwingend erforderlich. Praktisch funktioniert dies nur indem die Luftfeuchte kontrolliert wird, entweder durch den Bewohner oder alternativ automatisch in Kombination mit einer raumlufttechnischen Anlage.

Aufgrund der geringen absoluten Feuchte der kalten Winterluft reicht es die relative Luftfeuchte im Innenraum zu messen (ausgenommen bei Bauteilen gegen Erdreich!). Steigt die Luftfeuchte über den zulässigen Wert, dann muss gelüftet werden.

Besonders problematisch ist die Kombination »dichtes Gebäude« und »schlechte Dämmung«, also typisch nach einem Fenstertausch. Im Bereich thermischer Schwachstellen, sogenannter Wärmebrücken kommt es schnell zu Schimmelbildung, also kein Fenstertausch ohne Lüftungskonzept.

Wird der hygienisch erforderliche Luftwechsel eingehalten, dann gibt es keinen (durch Raumlufffeuchte hervorgerufenen) Schimmel, d.h. ein ausreichender hygienischer Luftwechsel bewirkt auch eine physikalisch problemlose Luftfeuchte. Dies gilt selbstverständlich auch bei CO₂ gesteuerten Lüftungsanlagen: passt die Luftqualität, dann gibt es keinen Schimmel.

Literatur

[OIB 6] OIB-Richtlinie 6: 2015-03, »Energieeinsparung und Wärmeschutz« - Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB)

[B 8110-2] ÖNORM B 8110-2: Wärmeschutz im Hochbau - Wasserdampfdiffusion & Kondensationsschutz (2003-07-01)

[B 8110-6] ÖNORM B 8110-6: Wärmeschutz im Hochbau - Wasserdampfdiffusion & Kondensationsschutz (2003-07-01)

[EN 10211-1] ÖNORM EN ISO 10211-1: Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen Allgemeine Berechnungsverfahren (1996-03-01)

[EN 10211] ÖNORM EN ISO 10211: Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen Detaillierte Berechnungen (2008-04-01)

[EN 13788] ÖNORM EN ISO 13788: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren - Berechnungsverfahren (2013-04-01)

[EN 13789] ÖNORM EN ISO 13789: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Spezifischer Transmissions- und Lüftungswärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren (2008-04-01)

[DIN 4108-2] DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Mindestanforderungen an den Wärmeschutz (2003-07-01)

[DIN 1946-6] DIN 1946-6: Raumlufftechnik - Teil 6: Lüftung von Wohnungen; Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung & Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) & Instandhaltung (2009-05)

[Künzel 2009] »Wohnungslüftung und Raumklima« Helmut Künzel, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2009 (ISBN 987-3-8167-7659-8)

[Künzel 2009] »Richtiges Heizen und Lüften in Wohnungen« Dr.-Ing. Helmut Künzl, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2009 (ISBN 978-3-8167-7637-6)

Lüftungskonzept (als Vorlage für einen Technischen Bericht)

Bei rundum außen gedämmten Gebäuden (Neubau) ist eine maximale Luftfeuchte von 60% sowie eine mittlere Luftfeuchte von 50% zulässig (bei -5°C Außenluft). Beim Bauen im Bestand - ohne rundum lückenloser Außen-dämmung - entstehen naturgemäß thermische Schwachstellen die eine deutlich geringere Luftfeuchte (ca. 5 bis 20%-Punkten) erfordern.

Zulässige Luftfeuchte bei typischer Qualität der Gebäudehülle: Dauerluftfeuchte/Spitzenwert

$\varphi_{i \text{ mittel}} / \varphi_{i \text{ max}}$	10°C	5°C	0°C	-5°C	-10°C	-15°C	f_{Rsi}
B 8110-2 (Neubau Wohngebäude)	65 / 75	60 / 70	55 / 65	50 / 60	45 / 55	40 / 50	0,70
Büro (neu) / typische Sanierung	60 / 70	50 / 60	45 / 55	40 / 50	35 / 45	30 / 40	0,60
Gründerzeithaus / Innendämmung	55 / 60	45 / 50	40 / 45	35 / 40	30 / 35	25 / 30	0,50

Mit Dauerluftfeuchte sind Monatsmittelwerte gemeint, mit Spitzenwerten Perioden bis zu 8 Stunden. Im konkreten Fall entspricht das Gebäude der Kategorie »B 8110-2 (Neubau WG)«. Der Temperaturfaktor f_{Rsi} ist ein temperaturunabhängiger Wert für Anforderungen und Steuerungen (z.B. Lüfter).

Anmerkung 1: Die Angaben zur relativen Luftfeuchte beziehen sich auf eine Temperatur der Außenluft von -5°C. Bei abweichender Lufttemperatur ist die Luftfeuchte um 1% pro Kelvin zu korrigieren, z.B. 50% bei -5°C bedeutet 55% bei 0°C oder 45% bei -10°C (siehe Tabelle).

Anmerkung 2: Auch eine maximale Luftfeuchte (Tauwasser) von 60% bzw. eine mittlere Luftfeuchte (Schimmelrisiko) von 50% (bei -5°C Außenluft) erfordert ein regelmäßiges bedarfsabhängiges Lüften (die Luftfeuchte ist mit einem Messgerät zu überwachen!).

Anmerkung 3: In einem undichten Altbestand beträgt der natürliche Luftwechsel über vorhandene Fugen (Falschluftrate) ca. 0,5 bis 1,0 pro Stunde. Bei einem Neubau (dichte Fenster & dichte Montage) beträgt die Falschluftrate ca. 0,05 bis 0,15 pro Stunde, dadurch ergibt sich eine deutlich höhere Luftfeuchte.

Anmerkung 4: Die in Feuchträumen anfallende Luftfeuchte ist unverzüglich mechanisch abzuführen, d.h. ein Abluftventilator in Bad und WC mit Nachlauffunktion ist vorzusehen!

Anmerkung 5: Als Mindestunterstützung für den Nutzer empfehlen wir zweistufige Abluftventilatoren in den Nasszellen (ca. 30 m³/h Dauerbetrieb im Winter, ca. 60 bis 120 m³/h bei Nutzung) in Kombination mit Nachströmöffnungen in den Aufenthaltsräumen (kontrolliert undichten Fassade, z.B. Außenluftdurchlass, Fensterfalzlüfter, Sparlüftungsschere).

Anmerkung 6: Da der Mensch quantitativ Luftfeuchtigkeit nicht unterscheiden kann, **muss die Luftfeuchte mit einem Messgerät überwacht und für einen ausreichenden Luftwechsel gesorgt werden**. Die Anzeige der Luftfeuchte darf nur entfallen, wenn mittels entsprechender Haustechnik automatisch für einen ausreichenden Luftwechsel gesorgt wird.

Grundsätzlich empfehlen wir eine mechanische Be- und Entlüftung (mit Wärmerückgewinnung). Wird auf eine automatische Haustechnik verzichtet, so sollte zur Unterstützung des Nutzers zumindest eine Kombination aus Abluftventilator in Bad und WC sowie Nachströmöffnungen in den Aufenthaltsräumen vorgesehen werden.

Ansonsten hat der Nutzer durch manuelle Fensterlüftung für einen ausreichenden bauphysikalisch erforderlichen Luftwechsel zu sorgen. Auch der in der Regel deutlich höhere hygienisch erforderliche Mindestluftwechsel (Luftwechselrate $\geq 0,4/h$ bzw. 30 m³/h pro Person) müsste dann vom Nutzer (mittels Fensterlüftung) sichergestellt werden.

Wassergehalt der Luft m_w [g/m³] abhängig von Temperatur und relativer Feuchte der Luft

	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
30	6,1	7,6	9,1	10,6	12,1	13,6	15,1	16,7	18,2	19,7	21,2	22,7	24,2	25,7	27,2	28,8	30,3
29	5,7	7,2	8,6	10,0	11,5	12,9	14,3	15,8	17,2	18,6	20,1	21,5	22,9	24,4	25,8	27,2	28,7
28	5,4	6,8	8,1	9,5	10,9	12,2	13,6	14,9	16,3	17,6	19,0	20,4	21,7	23,1	24,4	25,8	27,2
27	5,1	6,4	7,7	9,0	10,3	11,6	12,8	14,1	15,4	16,7	18,0	19,3	20,6	21,8	23,1	24,4	25,7
26	4,9	6,1	7,3	8,5	9,7	10,9	12,2	13,4	14,6	15,8	17,0	18,2	19,4	20,7	21,9	23,1	24,3
25	4,6	5,7	6,9	8,0	9,2	10,3	11,5	12,6	13,8	14,9	16,1	17,2	18,4	19,5	20,7	21,8	23,0
24	4,3	5,4	6,5	7,6	8,7	9,8	10,9	11,9	13,0	14,1	15,2	16,3	17,4	18,5	19,6	20,6	21,7
23	4,1	5,1	6,2	7,2	8,2	9,2	10,3	11,3	12,3	13,3	14,4	15,4	16,4	17,4	18,5	19,5	20,5
22	3,9	4,8	5,8	6,8	7,8	8,7	9,7	10,7	11,6	12,6	13,6	14,5	15,5	16,5	17,4	18,4	19,4
21	3,7	4,6	5,5	6,4	7,3	8,2	9,1	10,1	11,0	11,9	12,8	13,7	14,6	15,5	16,5	17,4	18,3
20	3,5	4,3	5,2	6,0	6,9	7,8	8,6	9,5	10,4	11,2	12,1	12,9	13,8	14,7	15,5	16,4	17,3
19	3,3	4,1	4,9	5,7	6,5	7,3	8,1	8,9	9,8	10,6	11,4	12,2	13,0	13,8	14,6	15,5	16,3
18	3,1	3,8	4,6	5,4	6,1	6,9	7,7	8,4	9,2	10,0	10,7	11,5	12,3	13,0	13,8	14,6	15,3
17	2,9	3,6	4,3	5,1	5,8	6,5	7,2	7,9	8,7	9,4	10,1	10,8	11,6	12,3	13,0	13,7	14,4
16	2,7	3,4	4,1	4,8	5,4	6,1	6,8	7,5	8,2	8,8	9,5	10,2	10,9	11,6	12,2	12,9	13,6
15	2,6	3,2	3,8	4,5	5,1	5,8	6,4	7,0	7,7	8,3	9,0	9,6	10,2	10,9	11,5	12,2	12,8
14	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0	6,6	7,2	7,8	8,4	9,0	9,6	10,2	10,8	11,4	12,0
13	2,3	2,8	3,4	4,0	4,5	5,1	5,7	6,2	6,8	7,4	7,9	8,5	9,1	9,6	10,2	10,8	11,3
12	2,1	2,7	3,2	3,7	4,3	4,8	5,3	5,9	6,4	6,9	7,4	8,0	8,5	9,0	9,6	10,1	10,6
11	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
10	1,9	2,3	2,8	3,3	3,8	4,2	4,7	5,2	5,6	6,1	6,6	7,0	7,5	8,0	8,4	8,9	9,4
9	1,8	2,2	2,6	3,1	3,5	4,0	4,4	4,8	5,3	5,7	6,2	6,6	7,0	7,5	7,9	8,4	8,8
8	1,7	2,1	2,5	2,9	3,3	3,7	4,1	4,5	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	7,0	7,4	7,8	8,3
7	1,5	1,9	2,3	2,7	3,1	3,5	3,9	4,3	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	7,0	7,3	7,7
6	1,4	1,8	2,2	2,5	2,9	3,3	3,6	4,0	4,3	4,7	5,1	5,4	5,8	6,2	6,5	6,9	7,2
5	1,4	1,7	2,0	2,4	2,7	3,1	3,4	3,7	4,1	4,4	4,7	5,1	5,4	5,8	6,1	6,4	6,8
4	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,8	5,1	5,4	5,7	6,0	6,3
3	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9
2	1,1	1,4	1,7	1,9	2,2	2,5	2,8	3,1	3,3	3,6	3,9	4,2	4,4	4,7	5,0	5,3	5,5
1	1,0	1,3	1,6	1,8	2,1	2,3	2,6	2,9	3,1	3,4	3,6	3,9	4,1	4,4	4,7	4,9	5,2
0	1,0	1,2	1,5	1,7	1,9	2,2	2,4	2,7	2,9	3,1	3,4	3,6	3,9	4,1	4,4	4,6	4,8
-1	0,9	1,1	1,3	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,1	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,5
-2	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1
-3	0,8	1,0	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8
-4	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8	3,0	3,2	3,3	3,5
-5	0,6	0,8	1,0	1,1	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,4	2,6	2,8	2,9	3,1	3,2
-6	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	2,7	2,8	3,0
-7	0,5	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7
-8	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5
-9	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3
-10	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1
-11	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
-12	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
-13	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6
-14	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5
-15	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4

Taupunkttemperatur θ_{si} [°C] abhängig von Temperatur und relativer Feuchte der Luft

	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
30	4,6	7,8	10,5	12,9	14,9	16,8	18,4	20,0	21,4	22,7	23,9	25,1	26,2	27,2	28,2	29,1	30,0
29	3,8	7,0	9,7	12,0	14,0	15,9	17,5	19,0	20,4	21,7	23,0	24,1	25,2	26,2	27,2	28,1	29,0
28	3,0	6,2	8,8	11,1	13,1	15,0	16,6	18,1	19,5	20,8	22,0	23,1	24,2	25,2	26,2	27,1	28,0
27	2,1	5,3	8,0	10,2	12,3	14,1	15,7	17,2	18,6	19,9	21,1	22,2	23,3	24,3	25,2	26,1	27,0
26	1,3	4,5	7,1	9,4	11,4	13,2	14,8	16,3	17,6	18,9	20,1	21,2	22,3	23,3	24,2	25,1	26,0
25	0,5	3,6	6,2	8,5	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7	18,0	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	24,1	25,0
24	-0,3	2,8	5,4	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8	17,0	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1	24,0
23	-1,1	1,9	4,5	6,7	8,7	10,4	12,0	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,2	23,0
22	-2,0	1,1	3,6	5,8	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,2	22,0
21	-2,8	0,2	2,8	5,0	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2	21,0
20	-3,6	-0,6	1,9	4,1	6,0	7,7	9,3	10,7	12,0	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2	20,0
19	-4,4	-1,4	1,1	3,2	5,1	6,8	8,4	9,8	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2	19,0
18	-5,3	-2,3	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,5	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2	18,0
17	-6,1	-3,1	-0,7	1,4	3,3	5,0	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	14,5	15,3	16,2	17,0
16	-6,9	-4,0	-1,5	0,6	2,4	4,1	5,6	7,0	8,2	9,4	10,5	11,6	12,6	13,5	14,4	15,2	16,0
15	-7,7	-4,8	-2,4	-0,3	1,5	3,2	4,7	6,0	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	12,5	13,4	14,2	15,0
14	-8,6	-5,7	-3,3	-1,2	0,6	2,3	3,8	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2	14,0
13	-9,4	-6,5	-4,1	-2,1	-0,3	1,4	2,8	4,2	5,4	6,6	7,7	8,7	9,6	10,5	11,4	12,2	13,0
12	-10,2	-7,4	-5,0	-3,0	-1,2	0,5	1,9	3,3	4,5	5,6	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2	12,0
11	-11,1	-8,2	-5,9	-3,8	-2,1	-0,5	1,0	2,3	3,5	4,7	5,7	6,7	7,7	8,6	9,4	10,2	11,0
10	-11,9	-9,1	-6,8	-4,7	-3,0	-1,4	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2	10,0
9	-12,7	-9,9	-7,6	-5,6	-3,9	-2,3	-0,9	0,5	1,7	2,8	3,8	4,8	5,7	6,6	7,5	8,2	9,0
8	-13,6	-10,8	-8,5	-6,5	-4,8	-3,2	-1,8	-0,5	0,7	1,8	2,9	3,8	4,8	5,6	6,5	7,2	8,0
7	-14,4	-11,6	-9,4	-7,4	-5,7	-4,1	-2,7	-1,4	-0,2	0,9	1,9	2,9	3,8	4,7	5,5	6,3	7,0
6	-15,2	-12,5	-10,2	-8,3	-6,6	-5,0	-3,6	-2,3	-1,2	-0,1	1,0	1,9	2,8	3,7	4,5	5,3	6,0
5	-16,1	-13,4	-11,1	-9,2	-7,5	-5,9	-4,5	-3,3	-2,1	-1,0	0,0	0,9	1,8	2,7	3,5	4,3	5,0
4	-16,9	-14,2	-12,0	-10,0	-8,4	-6,8	-5,5	-4,2	-3,0	-2,0	-1,0	0,0	0,9	1,7	2,5	3,3	4,0
3	-17,7	-15,1	-12,8	-10,9	-9,3	-7,7	-6,4	-5,1	-4,0	-2,9	-1,9	-1,0	-0,1	0,7	1,5	2,3	3,0
2	-18,6	-15,9	-13,7	-11,8	-10,2	-8,7	-7,3	-6,1	-4,9	-3,9	-2,9	-2,0	-1,1	-0,2	0,5	1,3	2,0
1	-19,4	-16,8	-14,6	-12,7	-11,1	-9,6	-8,2	-7,0	-5,9	-4,8	-3,8	-2,9	-2,1	-1,2	-0,5	0,3	1,0
0	-20,2	-17,6	-15,5	-13,6	-12,0	-10,5	-9,2	-7,9	-6,8	-5,8	-4,8	-3,9	-3,0	-2,2	-1,4	-0,7	0,0
-1	-19,1	-16,7	-14,7	-13,1	-11,6	-10,3	-9,1	-8,0	-7,0	-6,1	-5,2	-4,4	-3,7	-2,9	-2,3	-1,6	-1,0
-2	-19,9	-17,6	-15,6	-14,0	-12,5	-11,2	-10,0	-9,0	-8,0	-7,1	-6,2	-5,4	-4,6	-3,9	-3,3	-2,6	-2,0
-3	-20,8	-18,5	-16,5	-14,9	-13,4	-12,1	-11,0	-9,9	-8,9	-8,0	-7,2	-6,4	-5,6	-4,9	-4,2	-3,6	-3,0
-4	-21,7	-19,4	-17,4	-15,8	-14,4	-13,1	-11,9	-10,9	-9,9	-9,0	-8,1	-7,3	-6,6	-5,9	-5,2	-4,6	-4,0
-5	-22,5	-20,2	-18,3	-16,7	-15,3	-14,0	-12,9	-11,8	-10,8	-9,9	-9,1	-8,3	-7,6	-6,9	-6,2	-5,6	-5,0
-6	-23,4	-21,1	-19,2	-17,6	-16,2	-14,9	-13,8	-12,8	-11,8	-10,9	-10,1	-9,3	-8,6	-7,9	-7,2	-6,6	-6,0
-7	-24,3	-22,0	-20,1	-18,5	-17,1	-15,9	-14,7	-13,7	-12,7	-11,9	-11,0	-10,3	-9,5	-8,9	-8,2	-7,6	-7,0
-8	-25,2	-22,9	-21,0	-19,5	-18,1	-16,8	-15,7	-14,6	-13,7	-12,8	-12,0	-11,2	-10,5	-9,8	-9,2	-8,6	-8,0
-9	-26,0	-23,8	-22,0	-20,4	-19,0	-17,7	-16,6	-15,6	-14,7	-13,8	-13,0	-12,2	-11,5	-10,8	-10,2	-9,6	-9,0
-10	-26,9	-24,7	-22,9	-21,3	-19,9	-18,7	-17,6	-16,5	-15,6	-14,8	-13,9	-13,2	-12,5	-11,8	-11,2	-10,6	-10,0
-11	-27,8	-25,6	-23,8	-22,2	-20,8	-19,6	-18,5	-17,5	-16,6	-15,7	-14,9	-14,2	-13,5	-12,8	-12,2	-11,6	-11,0
-12	-28,6	-26,5	-24,7	-23,1	-21,7	-20,5	-19,4	-18,4	-17,5	-16,7	-15,9	-15,1	-14,4	-13,8	-13,2	-12,6	-12,0
-13	-29,5	-27,4	-25,6	-24,0	-22,7	-21,5	-20,4	-19,4	-18,5	-17,6	-16,9	-16,1	-15,4	-14,8	-14,2	-13,6	-13,0
-14	-30,4	-28,2	-26,5	-24,9	-23,6	-22,4	-21,3	-20,3	-19,4	-18,6	-17,8	-17,1	-16,4	-15,8	-15,1	-14,6	-14,0
-15	-31,3	-29,1	-27,4	-25,9	-24,5	-23,3	-22,3	-21,3	-20,4	-19,6	-18,8	-18,1	-17,4	-16,7	-16,1	-15,6	-15,0

Verminderung des **Risikos von Schimmel** ¹⁾ - Normklima (ÖN B 8110-2)Feuchtelast nach EN 13788 ca. 5,5 g/m³ (typische Feuchteabgabe bei 30 m² pro Person: 3,2 g/m²h)

Normhaus erfordert bei dichter Gebäudehülle ein vorbildliches Nutzerverhalten (4x Lüften pro Tag)

Δm_w	θ_e	φ_e	m_{we}	θ_i	φ_i	m_{wi}	$P_{Sat i}$	P_i	$\theta_{si,min}$	$f_{Rsi,min}$	R_{si}	$U_{max Rsi}$	$U_{max0,13}$	m_i	n_{erf}	n_{erf}
g/m ³	°C	%	g/m ³	°C	%	g/m ³	Pa	Pa	°C	-	m ² K/W	W/m ² K	W/m ² K	g/m ² h	1/h	1/d
3,3	10,0	75%	7,0	20,0	60%	10,4	2337	1753	15,4	0,54	0,25	1,83	2,34	3,2	0,38	9,1
3,5	9,0	76%	6,7	20,0	59%	10,2	2337	1724	15,2	0,56	0,25	1,76	2,22	3,2	0,36	8,6
3,7	8,0	77%	6,4	20,0	58%	10,0	2337	1694	14,9	0,58	0,25	1,70	2,13	3,2	0,35	8,4
3,8	7,0	78%	6,0	20,0	57%	9,8	2337	1665	14,6	0,59	0,25	1,65	2,06	3,2	0,33	7,9
3,9	6,0	79%	5,7	20,0	56%	9,7	2337	1636	14,4	0,60	0,25	1,61	2,00	3,2	0,32	7,7
4,1	5,0	80%	5,4	20,0	55%	9,5	2337	1607	14,1	0,61	0,25	1,58	1,95	3,2	0,31	7,4
4,3	4,0	81%	5,1	20,0	55%	9,5	2337	1607	14,1	0,63	0,25	1,48	1,80	3,2	0,29	7,0
4,6	3,0	82%	4,9	20,0	55%	9,5	2337	1607	14,1	0,65	0,25	1,39	1,67	3,2	0,27	6,5
4,9	2,0	83%	4,6	20,0	55%	9,5	2337	1607	14,1	0,67	0,25	1,31	1,56	3,2	0,26	6,2
5,1	1,0	84%	4,4	20,0	55%	9,5	2337	1607	14,1	0,69	0,25	1,25	1,46	3,2	0,25	6,0
5,4	0,0	85%	4,1	20,0	55%	9,5	2337	1607	14,1	0,70	0,25	1,18	1,38	3,2	0,24	5,8
5,5	-1,0	85%	3,8	20,0	54%	9,3	2337	1577	13,8	0,70	0,25	1,18	1,38	3,2	0,23	5,5
5,6	-2,0	85%	3,5	20,0	53%	9,1	2337	1548	13,5	0,71	0,25	1,18	1,37	3,2	0,23	5,5
5,7	-3,0	85%	3,2	20,0	52%	9,0	2337	1519	13,2	0,71	0,25	1,18	1,37	3,2	0,22	5,3
5,8	-4,0	85%	3,0	20,0	51%	8,8	2337	1490	12,9	0,71	0,25	1,18	1,37	3,2	0,22	5,3
5,9	-5,0	85%	2,8	20,0	50%	8,6	2337	1461	12,6	0,70	0,25	1,18	1,37	3,2	0,22	5,3
5,9	-6,0	85%	2,5	20,0	49%	8,5	2337	1431	12,3	0,70	0,25	1,18	1,38	3,2	0,21	5,0
5,9	-7,0	85%	2,3	20,0	48%	8,3	2337	1402	12,0	0,70	0,25	1,18	1,38	3,2	0,21	5,0
6,0	-8,0	85%	2,1	20,0	47%	8,1	2337	1373	11,7	0,70	0,25	1,19	1,39	3,2	0,21	5,0
6,0	-9,0	85%	2,0	20,0	46%	7,9	2337	1344	11,4	0,70	0,25	1,19	1,39	3,2	0,21	5,0
6,0	-10,0	85%	1,8	20,0	45%	7,8	2337	1315	11,0	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,21	5,0
5,9	-11,0	85%	1,7	20,0	44%	7,6	2337	1285	10,7	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,21	5,0
5,9	-12,0	85%	1,5	20,0	43%	7,4	2337	1256	10,3	0,70	0,25	1,21	1,41	3,2	0,22	5,3
5,8	-13,0	85%	1,4	20,0	42%	7,2	2337	1227	10,0	0,70	0,25	1,21	1,42	3,2	0,22	5,3
5,8	-14,0	85%	1,3	20,0	41%	7,1	2337	1198	9,6	0,70	0,25	1,22	1,43	3,2	0,22	5,3
5,7	-15,0	85%	1,2	20,0	40%	6,9	2337	1168	9,3	0,69	0,25	1,23	1,44	3,2	0,22	5,3
5,7	-16,0	85%	1,1	20,0	39%	6,7	2337	1139	8,9	0,69	0,25	1,23	1,45	3,2	0,22	5,3
5,6	-17,0	85%	1,0	20,0	38%	6,6	2337	1110	8,5	0,69	0,25	1,24	1,46	3,2	0,23	5,5
5,5	-18,0	85%	0,9	20,0	37%	6,4	2337	1081	8,1	0,69	0,25	1,25	1,47	3,2	0,23	5,5
5,4	-19,0	85%	0,8	20,0	36%	6,2	2337	1052	7,7	0,69	0,25	1,26	1,48	3,2	0,24	5,8
5,3	-20,0	85%	0,7	20,0	35%	6,0	2337	1022	7,3	0,68	0,25	1,27	1,50	3,2	0,24	5,8

¹⁾ maximale relative Luftfeuchte φ_i die in einem großen Teil im Winter nicht überschritten werden darf

Δm_w	Feuchtelast (Differenz der absoluten Feuchte zwischen innen „i“ und außen „e“)
θ_e φ_e m_{we} ...	Temperatur & Luftfeuchte (relativ % bzw. absolut g/m ³) außen „e“ und innen „i“
$P_{Sat i}$ P_i ...	Partialdruck bei 100% rel. Feuchte bzw. bei 80% der rel. Feuchte innen
$\theta_{si,min}$...	kleinste zulässige Oberflächentemperatur bei der sich Schimmel bildet
R_{si} ...	Wärmeübergangswiderstand (0,25 m ² K/W: ungünstigster Fall für Tauwasser in Ecken)
$U_{max Rsi}$ $U_{0,13}$...	ungünstigster U-Wert des flächigen Bauteils bei 0,25 bzw. 0,13 m ² K/W
$f_{Rsi,min}$...	Temperaturfaktor: normative Anforderung an das Gebäude
m_i	Nutzerabhängige Feuchteabgabe im Raum [Künzel 2009]
n_{erf} ...	erforderlicher Luftwechsel (pro h bzw. Tag): rechnerische Anforderung an den Nutzer

Verminderung des **Risikos von Schimmel**¹⁾ - Normklima (ÖN B 8110-2): f_{Rsi} -korrigiert (0,70)
 Feuchtelast nach EN 13788 ca. 5,5 g/m³ (typische Feuchteabgabe bei 30 m² pro Person: 3,2 g/m²h)
 Normhaus erfordert bei dichter Gebäudehülle ein vorbildliches Nutzerverhalten (4x Lüften pro Tag)

Δm_w	θ_e	φ_e	m_{we}	θ_i	φ_i	m_{wi}	$P_{Sat i}$	P_i	$\theta_{si,min}$	$f_{Rsi,min}$	R_{si}	$U_{max Rsi}$	$U_{max0,13}$	m_i	n_{erf}	n_{erf}
g/m ³	°C	%	g/m ³	°C	%	g/m ³	Pa	Pa	°C	-	m ² K/W	W/m ² K	W/m ² K	g/m ² h	1/h	1/d
4,4	10,0	75%	7,0	20	66%	11,4	2337	1937	17,0	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,29	7,0
4,5	9,0	76%	6,7	20	65%	11,2	2337	1900	16,7	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,28	6,7
4,7	8,0	77%	6,4	20	64%	11,0	2337	1864	16,4	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,27	6,5
4,8	7,0	78%	6,0	20	63%	10,8	2337	1829	16,1	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,27	6,5
4,9	6,0	79%	5,7	20	61%	10,6	2337	1794	15,8	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,26	6,2
5,0	5,0	80%	5,4	20	60%	10,4	2337	1760	15,5	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,26	6,2
5,1	4,0	81%	5,1	20	59%	10,2	2337	1726	15,2	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,25	6,0
5,1	3,0	82%	4,9	20	58%	10,0	2337	1693	14,9	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,25	6,0
5,2	2,0	83%	4,6	20	57%	9,8	2337	1661	14,6	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,24	5,8
5,3	1,0	84%	4,4	20	56%	9,6	2337	1629	14,3	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,24	5,8
5,3	0,0	85%	4,1	20	55%	9,4	2337	1598	14,0	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,24	5,8
5,5	-1,0	85%	3,8	20	54%	9,3	2337	1567	13,7	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,23	5,5
5,6	-2,0	85%	3,5	20	53%	9,1	2337	1537	13,4	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,23	5,5
5,7	-3,0	85%	3,2	20	52%	8,9	2337	1507	13,1	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,22	5,3
5,7	-4,0	85%	3,0	20	51%	8,7	2337	1477	12,8	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,22	5,3
5,8	-5,0	85%	2,8	20	50%	8,6	2337	1449	12,5	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,22	5,3
5,9	-6,0	85%	2,5	20	49%	8,4	2337	1420	12,2	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,22	5,3
5,9	-7,0	85%	2,3	20	48%	8,2	2337	1393	11,9	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,22	5,3
5,9	-8,0	85%	2,1	20	47%	8,1	2337	1365	11,6	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,21	5,0
5,9	-9,0	85%	2,0	20	46%	7,9	2337	1338	11,3	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,21	5,0
5,9	-10,0	85%	1,8	20	45%	7,7	2337	1312	11,0	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,21	5,0
5,9	-11,0	85%	1,7	20	44%	7,6	2337	1286	10,7	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,21	5,0
5,9	-12,0	85%	1,5	20	43%	7,4	2337	1261	10,4	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,21	5,0
5,9	-13,0	85%	1,4	20	42%	7,3	2337	1236	10,1	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,22	5,3
5,9	-14,0	85%	1,3	20	41%	7,2	2337	1211	9,8	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,22	5,3
5,8	-15,0	85%	1,2	20	41%	7,0	2337	1187	9,5	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,22	5,3
5,8	-16,0	85%	1,1	20	40%	6,9	2337	1163	9,2	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,22	5,3
5,8	-17,0	85%	1,0	20	39%	6,7	2337	1140	8,9	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,22	5,3
5,7	-18,0	85%	0,9	20	38%	6,6	2337	1117	8,6	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,22	5,3
5,6	-19,0	85%	0,8	20	37%	6,5	2337	1094	8,3	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,23	5,5
5,6	-20,0	85%	0,7	20	37%	6,3	2337	1072	8,0	0,70	0,25	1,20	1,40	3,2	0,23	5,5

¹⁾ maximale relative Luftfeuchte φ_i die in einem großen Teil im Winter nicht überschritten werden darf

Δm_w	Feuchtelast (Differenz der absoluten Feuchte zwischen innen „i“ und außen „e“)
θ_e φ_e m_{we} ...	Temperatur & Luftfeuchte (relativ % bzw. absolut g/m ³) außen „e“ und innen „i“
$P_{Sat i}$ P_i ...	Partialdruck bei 100% rel. Feuchte bzw. bei 80% der rel. Feuchte innen
$\theta_{si,min}$...	kleinste zulässige Oberflächentemperatur bei der sich Schimmel bildet
R_{si} ...	Wärmeübergangswiderstand (0,25 m ² K/W: ungünstigster Fall für Tauwasser in Ecken)
$U_{max Rsi}$ $U_{0,13}$...	ungünstigster U-Wert des flächigen Bauteils bei 0,25 bzw. 0,13 m ² K/W
$f_{Rsi,min}$...	Temperaturfaktor: normative Anforderung an das Gebäude
m_i	Nutzerabhängige Feuchteabgabe im Raum [Künzel 2009]
n_{erf} ...	erforderlicher Luftwechsel (pro h bzw. Tag): rechnerische Anforderung an den Nutzer

Verminderung des **Risikos von Schimmel** ¹⁾ - Normklima (ÖN B 8110-2) -15%Feuchtelast nach EN 13788 ca. 3,0 g/m³ (typische Feuchteabgabe bei 30 m² pro Person: 3,2 g/m²h)

Gründerzeitthaus erfordert um ca. 15% geringere Luftfeuchte => sehr hoher Luftwechsel erforderlich

Δm_w	θ_e	φ_e	m_{we}	θ_i	φ_i	m_{wi}	$P_{Sat i}$	P_i	$\theta_{si,min}$	$f_{Rsi,min}$	R_{si}	$U_{max Rsi}$	$U_{max0,13}$	m_i	n_{erf}	n_{erf}
g/m ³	°C	%	g/m ³	°C	%	g/m ³	Pa	Pa	°C	-	m ² K/W	W/m ² K	W/m ² K	g/m ² h	1/h	1/d
0,7	10,0	75%	7,0	20,0	45%	7,8	2337	1315	11,0	0,10	0,25	3,59	6,30	3,2	1,74	41,8
0,9	9,0	76%	6,7	20,0	44%	7,6	2337	1285	10,7	0,15	0,25	3,39	5,70	3,2	1,41	33,8
1,1	8,0	77%	6,4	20,0	43%	7,4	2337	1256	10,3	0,20	0,25	3,22	5,24	3,2	1,19	28,6
1,2	7,0	78%	6,0	20,0	42%	7,2	2337	1227	10,0	0,23	0,25	3,08	4,88	3,2	1,05	25,2
1,3	6,0	79%	5,7	20,0	41%	7,1	2337	1198	9,6	0,26	0,25	2,96	4,59	3,2	0,94	22,6
1,5	5,0	80%	5,4	20,0	40%	6,9	2337	1168	9,3	0,28	0,25	2,86	4,36	3,2	0,86	20,6
1,8	4,0	81%	5,1	20,0	40%	6,9	2337	1168	9,3	0,33	0,25	2,68	3,96	3,2	0,72	17,3
2,0	3,0	82%	4,9	20,0	40%	6,9	2337	1168	9,3	0,37	0,25	2,52	3,62	3,2	0,62	14,9
2,3	2,0	83%	4,6	20,0	40%	6,9	2337	1168	9,3	0,40	0,25	2,38	3,34	3,2	0,55	13,2
2,5	1,0	84%	4,4	20,0	40%	6,9	2337	1168	9,3	0,44	0,25	2,26	3,10	3,2	0,50	12,0
2,8	0,0	85%	4,1	20,0	40%	6,9	2337	1168	9,3	0,46	0,25	2,15	2,89	3,2	0,46	11,0
2,9	-1,0	85%	3,8	20,0	39%	6,7	2337	1139	8,9	0,47	0,25	2,12	2,84	3,2	0,43	10,3
3,0	-2,0	85%	3,5	20,0	38%	6,6	2337	1110	8,5	0,48	0,25	2,09	2,79	3,2	0,42	10,1
3,1	-3,0	85%	3,2	20,0	37%	6,4	2337	1081	8,1	0,48	0,25	2,07	2,75	3,2	0,40	9,6
3,2	-4,0	85%	3,0	20,0	36%	6,2	2337	1052	7,7	0,49	0,25	2,05	2,71	3,2	0,39	9,4
3,3	-5,0	85%	2,8	20,0	35%	6,0	2337	1022	7,3	0,49	0,25	2,03	2,69	3,2	0,39	9,4
3,3	-6,0	85%	2,5	20,0	34%	5,9	2337	993	6,9	0,50	0,25	2,02	2,66	3,2	0,38	9,1
3,4	-7,0	85%	2,3	20,0	33%	5,7	2337	964	6,4	0,50	0,25	2,01	2,65	3,2	0,38	9,1
3,4	-8,0	85%	2,1	20,0	32%	5,5	2337	935	6,0	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,38	9,1
3,4	-9,0	85%	2,0	20,0	31%	5,3	2337	906	5,5	0,50	0,25	1,99	2,62	3,2	0,38	9,1
3,4	-10,0	85%	1,8	20,0	30%	5,2	2337	876	5,1	0,50	0,25	1,99	2,61	3,2	0,38	9,1
3,3	-11,0	85%	1,7	20,0	29%	5,0	2337	847	4,6	0,50	0,25	1,99	2,61	3,2	0,38	9,1
3,3	-12,0	85%	1,5	20,0	28%	4,8	2337	818	4,1	0,50	0,25	1,99	2,61	3,2	0,38	9,1
3,3	-13,0	85%	1,4	20,0	27%	4,7	2337	789	3,6	0,50	0,25	1,99	2,62	3,2	0,39	9,4
3,2	-14,0	85%	1,3	20,0	26%	4,5	2337	760	3,0	0,50	0,25	2,00	2,62	3,2	0,40	9,6
3,1	-15,0	85%	1,2	20,0	25%	4,3	2337	730	2,5	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,40	9,6
3,1	-16,0	85%	1,1	20,0	24%	4,1	2337	701	1,9	0,50	0,25	2,01	2,65	3,2	0,41	9,8
3,0	-17,0	85%	1,0	20,0	23%	4,0	2337	672	1,3	0,50	0,25	2,02	2,66	3,2	0,43	10,3
2,9	-18,0	85%	0,9	20,0	22%	3,8	2337	643	0,7	0,49	0,25	2,03	2,69	3,2	0,44	10,6
2,8	-19,0	85%	0,8	20,0	21%	3,6	2337	613	0,1	0,49	0,25	2,04	2,71	3,2	0,45	10,8
2,7	-20,0	85%	0,7	20,0	20%	3,5	2337	584	-0,6	0,48	0,25	2,06	2,74	3,2	0,47	11,3

¹⁾ maximale relative Luftfeuchte φ_i die in einem großen Teil im Winter nicht überschritten werden darf

Δm_w	Feuchtelast (Differenz der absoluten Feuchte zwischen innen „i“ und außen „e“)
θ_e φ m_w ...	Temperatur & Luftfeuchte (relativ % bzw. absolut g/m ³) außen „e“ und innen „i“
$P_{Sat i}$ P_i ...	Partialdruck bei 100% rel. Feuchte bzw. bei 80% der rel. Feuchte innen
$\theta_{si,min}$...	kleinste zulässige Oberflächentemperatur bei der sich Schimmel bildet
R_{si} ...	Wärmeübergangswiderstand (0,25 m ² K/W: ungünstigster Fall für Tauwasser in Ecken)
$U_{max Rsi}$ $0,13$...	ungünstigster U-Wert des flächigen Bauteils bei 0,25 bzw. 0,13 m ² K/W
$f_{Rsi,min}$...	Temperaturfaktor: normative Anforderung an das Gebäude
m_i	Nutzerabhängige Feuchteabgabe im Raum [Künzel 2009]
n_{erf} ...	erforderlicher Luftwechsel (pro h bzw. Tag): rechnerische Anforderung an den Nutzer

Verminderung des **Risikos von Schimmel**¹⁾ - Normklima (ÖN B 8110-2) -15%: f_{Rsi} -korrigiert (0,50)
 Feuchtelast nach EN 13788 ca. 3,0 g/m³ (typische Feuchteabgabe bei 30 m² pro Person: 3,2 g/m²h)
 Gründerzeithaus erfordert um ca. 15% geringere Luftfeuchte => sehr hoher Luftwechsel erforderlich

Δm_w	θ_e	φ_e	m_{we}	θ_i	φ_i	m_{wi}	$P_{Sat i}$	P_i	$\theta_{si,min}$	$f_{Rsi,min}$	R_{si}	$U_{max Rsi}$	$U_{max0,13}$	m_i	n_{erf}	n_{erf}
g/m ³	°C	%	g/m ³	°C	%	g/m ³	Pa	Pa	°C	-	m ² K/W	W/m ² K	W/m ² K	g/m ² h	1/h	1/d
3,0	10,0	75%	7,0	20	58%	10,1	2337	1704	15,0	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,42	10,1
3,1	9,0	76%	6,7	20	56%	9,7	2337	1650	14,5	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,42	10,1
3,1	8,0	77%	6,4	20	55%	9,4	2337	1598	14,0	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,41	9,8
3,1	7,0	78%	6,0	20	53%	9,1	2337	1547	13,5	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,41	9,8
3,1	6,0	79%	5,7	20	51%	8,8	2337	1497	13,0	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,41	9,8
3,1	5,0	80%	5,4	20	50%	8,6	2337	1449	12,5	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,41	9,8
3,1	4,0	81%	5,1	20	48%	8,3	2337	1402	12,0	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,40	9,6
3,1	3,0	82%	4,9	20	46%	8,0	2337	1356	11,5	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,40	9,6
3,1	2,0	83%	4,6	20	45%	7,7	2337	1312	11,0	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,40	9,6
3,1	1,0	84%	4,4	20	43%	7,5	2337	1269	10,5	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,40	9,6
3,1	0,0	85%	4,1	20	42%	7,2	2337	1227	10,0	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,41	9,8
3,2	-1,0	85%	3,8	20	41%	7,0	2337	1187	9,5	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,40	9,6
3,3	-2,0	85%	3,5	20	39%	6,8	2337	1147	9,0	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,39	9,4
3,3	-3,0	85%	3,2	20	38%	6,6	2337	1109	8,5	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,38	9,1
3,3	-4,0	85%	3,0	20	37%	6,3	2337	1072	8,0	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,38	9,1
3,4	-5,0	85%	2,8	20	35%	6,1	2337	1036	7,5	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,38	9,1
3,4	-6,0	85%	2,5	20	34%	5,9	2337	1001	7,0	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,38	9,1
3,4	-7,0	85%	2,3	20	33%	5,7	2337	967	6,5	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,38	9,1
3,4	-8,0	85%	2,1	20	32%	5,5	2337	935	6,0	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,38	9,1
3,4	-9,0	85%	2,0	20	31%	5,3	2337	903	5,5	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,38	9,1
3,3	-10,0	85%	1,8	20	30%	5,1	2337	872	5,0	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,38	9,1
3,3	-11,0	85%	1,7	20	29%	5,0	2337	842	4,5	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,38	9,1
3,3	-12,0	85%	1,5	20	28%	4,8	2337	813	4,0	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,39	9,4
3,2	-13,0	85%	1,4	20	27%	4,6	2337	785	3,5	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,39	9,4
3,2	-14,0	85%	1,3	20	26%	4,5	2337	757	3,0	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,40	9,6
3,1	-15,0	85%	1,2	20	25%	4,3	2337	731	2,5	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,40	9,6
3,1	-16,0	85%	1,1	20	24%	4,2	2337	705	2,0	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,41	9,8
3,0	-17,0	85%	1,0	20	23%	4,0	2337	680	1,5	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,42	10,1
3,0	-18,0	85%	0,9	20	22%	3,9	2337	656	1,0	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,43	10,3
2,9	-19,0	85%	0,8	20	22%	3,7	2337	633	0,5	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,44	10,6
2,9	-20,0	85%	0,7	20	21%	3,6	2337	611	0,0	0,50	0,25	2,00	2,63	3,2	0,44	10,6

¹⁾ maximale relative Luftfeuchte φ_i die in einem großen Teil im Winter nicht überschritten werden darf

Δm_w	Feuchtelast (Differenz der absoluten Feuchte zwischen innen „i“ und außen „e“)
θ_e φ_e m_w ...	Temperatur & Luftfeuchte (relativ % bzw. absolut g/m ³) außen „e“ und innen „i“
$P_{Sat i}$ P_i ...	Partialdruck bei 100% rel. Feuchte bzw. bei 80% der rel. Feuchte innen
$\theta_{si,min}$...	kleinste zulässige Oberflächentemperatur bei der sich Schimmel bildet
R_{si} ...	Wärmeübergangswiderstand (0,25 m ² K/W: ungünstigster Fall für Tauwasser in Ecken)
$U_{max Rsi}$ $U_{0,13}$...	ungünstigster U-Wert des flächigen Bauteils bei 0,25 bzw. 0,13 m ² K/W
$f_{Rsi,min}$...	Temperaturfaktor: normative Anforderung an das Gebäude
m_i	Nutzerabhängige Feuchteabgabe im Raum [Künzel 2009]
n_{erf} ...	erforderlicher Luftwechsel (pro h bzw. Tag): rechnerische Anforderung an den Nutzer

Verminderung des **Risikos von Schimmel** ¹⁾ - Normklima (ÖN B 8110-2) **+15%**Feuchtelast nach EN 13788 ca. 8,0 g/m³ (typische Feuchteabgabe bei 30 m² pro Person: 3,2 g/m²h)

Extreme Feuchtelast bedingt wärmebrückenfreie Gebäudehülle => minimaler Luftwechsel erforderlich

Δm_w	θ_e	φ_e	m_{we}	θ_i	φ_i	m_{wi}	$P_{Sat i}$	P_i	$\theta_{si,min}$	$f_{Rsi,min}$	R_{si}	$U_{max Rsi}$	$U_{max0,13}$	m_i	n_{erf}	n_{erf}
g/m ³	°C	%	g/m ³	°C	%	g/m ³	Pa	Pa	°C	-	m ² K/W	W/m ² K	W/m ² K	g/m ² h	1/h	1/d
5,9	10,0	75%	7,0	20,0	75%	12,9	2337	2191	19,0	0,90	0,25	0,42	0,44	3,2	0,22	5,3
6,1	9,0	76%	6,7	20,0	74%	12,8	2337	2162	18,7	0,89	0,25	0,46	0,48	3,2	0,21	5,0
6,2	8,0	77%	6,4	20,0	73%	12,6	2337	2132	18,5	0,88	0,25	0,49	0,52	3,2	0,20	4,8
6,4	7,0	78%	6,0	20,0	72%	12,4	2337	2103	18,3	0,87	0,25	0,52	0,55	3,2	0,20	4,8
6,5	6,0	79%	5,7	20,0	71%	12,3	2337	2074	18,1	0,86	0,25	0,55	0,59	3,2	0,19	4,6
6,7	5,0	80%	5,4	20,0	70%	12,1	2337	2045	17,9	0,86	0,25	0,57	0,61	3,2	0,19	4,6
6,9	4,0	81%	5,1	20,0	70%	12,1	2337	2045	17,9	0,87	0,25	0,53	0,57	3,2	0,18	4,3
7,2	3,0	82%	4,9	20,0	70%	12,1	2337	2045	17,9	0,87	0,25	0,50	0,54	3,2	0,18	4,3
7,5	2,0	83%	4,6	20,0	70%	12,1	2337	2045	17,9	0,88	0,25	0,48	0,50	3,2	0,17	4,1
7,7	1,0	84%	4,4	20,0	70%	12,1	2337	2045	17,9	0,89	0,25	0,45	0,48	3,2	0,16	3,8
8,0	0,0	85%	4,1	20,0	70%	12,1	2337	2045	17,9	0,89	0,25	0,43	0,45	3,2	0,16	3,8
8,1	-1,0	85%	3,8	20,0	69%	11,9	2337	2016	17,6	0,89	0,25	0,45	0,48	3,2	0,16	3,8
8,2	-2,0	85%	3,5	20,0	68%	11,7	2337	1986	17,4	0,88	0,25	0,47	0,50	3,2	0,15	3,6
8,3	-3,0	85%	3,2	20,0	67%	11,6	2337	1957	17,2	0,88	0,25	0,49	0,52	3,2	0,15	3,6
8,4	-4,0	85%	3,0	20,0	66%	11,4	2337	1928	16,9	0,87	0,25	0,51	0,55	3,2	0,15	3,6
8,5	-5,0	85%	2,8	20,0	65%	11,2	2337	1899	16,7	0,87	0,25	0,53	0,57	3,2	0,15	3,6
8,5	-6,0	85%	2,5	20,0	64%	11,0	2337	1870	16,4	0,86	0,25	0,55	0,59	3,2	0,15	3,6
8,5	-7,0	85%	2,3	20,0	63%	10,9	2337	1840	16,2	0,86	0,25	0,56	0,60	3,2	0,15	3,6
8,6	-8,0	85%	2,1	20,0	62%	10,7	2337	1811	15,9	0,86	0,25	0,58	0,62	3,2	0,15	3,6
8,6	-9,0	85%	2,0	20,0	61%	10,5	2337	1782	15,7	0,85	0,25	0,59	0,64	3,2	0,15	3,6
8,5	-10,0	85%	1,8	20,0	60%	10,4	2337	1753	15,4	0,85	0,25	0,61	0,66	3,2	0,15	3,6
8,5	-11,0	85%	1,7	20,0	59%	10,2	2337	1724	15,2	0,84	0,25	0,62	0,67	3,2	0,15	3,6
8,5	-12,0	85%	1,5	20,0	58%	10,0	2337	1694	14,9	0,84	0,25	0,64	0,69	3,2	0,15	3,6
8,4	-13,0	85%	1,4	20,0	57%	9,8	2337	1665	14,6	0,84	0,25	0,65	0,70	3,2	0,15	3,6
8,4	-14,0	85%	1,3	20,0	56%	9,7	2337	1636	14,4	0,83	0,25	0,66	0,72	3,2	0,15	3,6
8,3	-15,0	85%	1,2	20,0	55%	9,5	2337	1607	14,1	0,83	0,25	0,68	0,74	3,2	0,15	3,6
8,2	-16,0	85%	1,1	20,0	54%	9,3	2337	1577	13,8	0,83	0,25	0,69	0,75	3,2	0,15	3,6
8,2	-17,0	85%	1,0	20,0	53%	9,1	2337	1548	13,5	0,82	0,25	0,70	0,77	3,2	0,16	3,8
8,1	-18,0	85%	0,9	20,0	52%	9,0	2337	1519	13,2	0,82	0,25	0,71	0,78	3,2	0,16	3,8
8,0	-19,0	85%	0,8	20,0	51%	8,8	2337	1490	12,9	0,82	0,25	0,73	0,79	3,2	0,16	3,8
7,9	-20,0	85%	0,7	20,0	50%	8,6	2337	1461	12,6	0,82	0,25	0,74	0,81	3,2	0,16	3,8

¹⁾ maximale relative Luftfeuchte φ_i die in einem großen Teil im Winter nicht überschritten werden darf

Δm_w	Feuchtelast (Differenz der absoluten Feuchte zwischen innen „i“ und außen „e“)
θ_e φ_e m_w ...	Temperatur & Luftfeuchte (relativ % bzw. absolut g/m ³) außen „e“ und innen „i“
$P_{Sat i}$ P_i ...	Partialdruck bei 100% rel. Feuchte bzw. bei 80% der rel. Feuchte innen
$\theta_{si,min}$...	kleinste zulässige Oberflächentemperatur bei der sich Schimmel bildet
R_{si} ...	Wärmeübergangswiderstand (0,25 m ² K/W: ungünstigster Fall für Tauwasser in Ecken)
$U_{max Rsi}$ $U_{0,13}$...	ungünstigster U-Wert des flächigen Bauteils bei 0,25 bzw. 0,13 m ² K/W
$f_{Rsi,min}$...	Temperaturfaktor: normative Anforderung an das Gebäude
m_i	Nutzerabhängige Feuchteabgabe im Raum [Künzel 2009]
n_{erf} ...	erforderlicher Luftwechsel (pro h bzw. Tag): rechnerische Anforderung an den Nutzer

Verminderung des **Risikos von Schimmel**¹⁾ - Normklima (ÖN B 8110-2) **+15%**: f_{Rsi} -korrigiert (0,90)

Feuchtelast nach EN 13788 ca. 8,0 g/m³ (typische Feuchteabgabe bei 30 m² pro Person: 3,2 g/m²h)

Extreme Feuchtelast bedingt wärmebrückenfreie Gebäudehülle => minimaler Luftwechsel erforderlich

Δm_w	θ_e	φ_e	m_{we}	θ_i	φ_i	m_{wi}	$P_{Sat i}$	P_i	$\theta_{si,min}$	$f_{Rsi,min}$	R_{si}	$U_{max Rsi}$	$U_{max0,13}$	m_i	n_{erf}	n_{erf}
g/m ³	°C	%	g/m ³	°C	%	g/m ³	Pa	Pa	°C	-	m ² K/W	W/m ² K	W/m ² K	g/m ² h	1/h	1/d
5,9	10,0	75%	7,0	20	75%	13,0	2337	2196	19,0	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,21	5,0
6,2	9,0	76%	6,7	20	75%	12,9	2337	2182	18,9	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,20	4,8
6,5	8,0	77%	6,4	20	74%	12,8	2337	2169	18,8	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,20	4,8
6,7	7,0	78%	6,0	20	74%	12,7	2337	2155	18,7	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,19	4,6
6,9	6,0	79%	5,7	20	73%	12,7	2337	2142	18,6	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,18	4,3
7,1	5,0	80%	5,4	20	73%	12,6	2337	2129	18,5	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,18	4,3
7,4	4,0	81%	5,1	20	72%	12,5	2337	2115	18,4	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,17	4,1
7,5	3,0	82%	4,9	20	72%	12,4	2337	2102	18,3	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,17	4,1
7,7	2,0	83%	4,6	20	72%	12,3	2337	2089	18,2	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,16	3,8
7,9	1,0	84%	4,4	20	71%	12,3	2337	2076	18,1	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,16	3,8
8,1	0,0	85%	4,1	20	71%	12,2	2337	2063	18,0	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,16	3,8
8,3	-1,0	85%	3,8	20	70%	12,1	2337	2050	17,9	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,15	3,6
8,5	-2,0	85%	3,5	20	70%	12,0	2337	2037	17,8	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,15	3,6
8,7	-3,0	85%	3,2	20	69%	12,0	2337	2024	17,7	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,15	3,6
8,9	-4,0	85%	3,0	20	69%	11,9	2337	2012	17,6	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,14	3,4
9,1	-5,0	85%	2,8	20	68%	11,8	2337	1999	17,5	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,14	3,4
9,2	-6,0	85%	2,5	20	68%	11,7	2337	1986	17,4	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,14	3,4
9,3	-7,0	85%	2,3	20	68%	11,7	2337	1974	17,3	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,14	3,4
9,4	-8,0	85%	2,1	20	67%	11,6	2337	1961	17,2	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,13	3,1
9,5	-9,0	85%	2,0	20	67%	11,5	2337	1949	17,1	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,13	3,1
9,6	-10,0	85%	1,8	20	66%	11,4	2337	1937	17,0	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,13	3,1
9,7	-11,0	85%	1,7	20	66%	11,4	2337	1924	16,9	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,13	3,1
9,8	-12,0	85%	1,5	20	65%	11,3	2337	1912	16,8	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,13	3,1
9,8	-13,0	85%	1,4	20	65%	11,2	2337	1900	16,7	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,13	3,1
9,9	-14,0	85%	1,3	20	65%	11,2	2337	1888	16,6	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,13	3,1
9,9	-15,0	85%	1,2	20	64%	11,1	2337	1876	16,5	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,13	3,1
9,9	-16,0	85%	1,1	20	64%	11,0	2337	1864	16,4	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,13	3,1
10,0	-17,0	85%	1,0	20	63%	10,9	2337	1852	16,3	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,13	3,1
10,0	-18,0	85%	0,9	20	63%	10,9	2337	1841	16,2	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,13	3,1
10,0	-19,0	85%	0,8	20	63%	10,8	2337	1829	16,1	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,13	3,1
10,0	-20,0	85%	0,7	20	62%	10,7	2337	1817	16,0	0,90	0,25	0,40	0,42	3,2	0,13	3,1

¹⁾ maximale relative Luftfeuchte φ_i die in einem großen Teil im Winter nicht überschritten werden darf

Δm_w	Feuchtelast (Differenz der absoluten Feuchte zwischen innen „i“ und außen „e“)
θ_e φ_e m_w ...	Temperatur & Luftfeuchte (relativ % bzw. absolut g/m ³) außen „e“ und innen „i“
$P_{Sat i}$ P_i ...	Partialdruck bei 100% rel. Feuchte bzw. bei 80% der rel. Feuchte innen
$\theta_{si,min}$...	kleinste zulässige Oberflächentemperatur bei der sich Schimmel bildet
R_{si} ...	Wärmeübergangswiderstand (0,25 m ² K/W: ungünstigster Fall für Tauwasser in Ecken)
$U_{max Rsi}$ $U_{0,13}$...	ungünstigster U-Wert des flächigen Bauteils bei 0,25 bzw. 0,13 m ² K/W
$f_{Rsi,min}$...	Temperaturfaktor: normative Anforderung an das Gebäude
m_i	Nutzerabhängige Feuchteabgabe im Raum [Künzel 2009]
n_{erf} ...	erforderlicher Luftwechsel (pro h bzw. Tag): rechnerische Anforderung an den Nutzer



Ing.

Wolfgang LEITZINGER

Ingenieurbüro für Komfortlüftung

www.leit-wolf.at

Bahnstraße 9

3426 Muckendorf/Donau

luftkomfort@leit-wolf.at

CURRICULUM VITAE

Geboren 1970 in Klosterneuburg, absolvierte die HTL für Maschinenbau in Hollarbrunn, war 6 Jahre im Bereich Konstruktion- und Gebäudetechnikplanung beschäftigt, danach 10 Jahre beim AIT Geschäftsfeld Nachhaltige Thermische Gebäudetechnik im F&E-Bereich Lüftungstechnik tätig.

2009 gründete er das Ingenieurbüro leit-wolf Luftkomfort. Wolfgang Leitzinger war maßgeblich an zahlreichen Felduntersuchungen beteiligt, die die moderne Komfortlüftungstechnik analysiert, weiterentwickelt, fördert und Know How verbreitet.

Meilensteine / Projekte / Publikationen

- 2002 Projekt "Technischer Status von Wohnraumlüftungsanlagen (EFH)", technische Evaluierung, Nutzerinterviews, Qualitätskriterien
- 2004 Initiative F&E Projekt zur Erstentwicklung eines Plattenwärmetauschers mit Feuchterückgewinnung (Ideenpreis 1. Platz), Materialtests, Prototypenentwicklung, konstruktive Konzepte, Messungen, Funktionsnachweis
- 2007 Projekt "Evaluierung von mechanischen Klassenzimmerlüftungen, technische Evaluierung, Akzeptanzanalyse, Planungsleitfaden, Qualitätskriterien
- 2007 Projekt "Ausbildungsoffensive Komfortlüftung", Konzept, Erstellung von Kursunterlagen (Folien), Pilotkurs
- 2008 Kursstart "Zertifizierter Komfortlüftungsinstallateur", 5-tägiges Weiterbildungsprogramm mit Prüfung
- 2008 Projekt "Evaluierung von zentralen bzw. semizentralen Wohnraumlüftungen im Mehrfamilienhaus
technische Evaluierung, Akzeptanzanalyse, Planungsleitfaden, Qualitätskriterien
- 2009 Eröffnung eines modernen Messlabors für Lüftungsgeräte und Luft-Wärmepumpen bei AIT, 1210 Wien
- 2009 Berechtigungsprüfung und Gründung Ingenieurbüro für Installationstechnik
- 2010 Mitbegründer Verein "komfortlüftung.at", firmenunabhängige Infoplattform
- 2011 Projekt "Komfortlüftung plus+", Erstmalige Entwicklung hocheffizienter raumweise bedarfsgesteuerter Komfortlüftungssysteme
- 2012 Gewinn des RIZ-Genius, 1. Platz "intelligente Energie- und Ressourceneffizienz"
- 2012 Mitbegründer Verein "Komfortlüftungssysteme Austria", Interessensgemeinschaft österr. Anbieter
- 2013 Projekt "Zukunftstaugliche Komfortlüftungssysteme", Hygieneuntersuchungen, Reinigungserfordernisse und Konzepte, Planungsrichtlinien bezüglich Reinigbarkeit, Kostenanalyse
- 2015 Gewerbeberechtigung "Handwerk Lüftungstechnik", Installation von Wohnraumlüftungsanlagen

Die Firma leit-wolf Luftkomfort ist heute ein kleines Familienunternehmen, das industrieunabhängige, individuelle Beratung, Planung, eigene Komponenten, Ausführung und Service für den kleinvolumigen Wohnbau, Einfamilienhäuser und Wohnungen überwiegend für die Länder Österreich und Deutschland anbietet.

Schlechte Raumlufth – Wer trägt die Verantwortung?

Ing. Wolfgang Leitzinger, leit-wolf.at, 3426 Muckendorf

MSc DI(FH) Clemens Häusler, bauphysik.at, 2511 Pfaffstätten

Einleitung

Gebäude werden nun schon seit mehreren Jahrzehnten mit luftdicht schließenden Türen und Fenstern ausgestattet, unabhängig davon, ob es sich um einen thermisch unsanierten bzw. teilsanierten Altbau oder um einen Neubau nach aktuellen Wärmeschutzanforderungen handelt. Es verbleibt lediglich ein geringer „natürlicher Luftwechsel“ über Fugen in der Gebäudehülle, der nicht nur energetisch unerwünscht, sondern vor allem bauphysikalisch und hygienisch schädlich sein kann. Aus diesem Grund ist ein Luftwechsel immer über dafür vorgesehene Wege und möglichst kontrolliert durchzuführen (Fensteröffnung und/oder Lüftungssystem). In der Praxis wird bei der Konzeption eines luftdichten Gebäudes bis dato selten eine konkrete Berechnung, eine Konzeption oder ein Nutzerhinweis zur Erzielung der erforderlichen Lüftungsmaßnahmen durchgeführt. Ein zu definierender Luftwechsel ist jedoch die Grundlage zur Erfüllung der Anforderung „Feuchteschutz/Schimmelschutz“ oder „gute Raumlufthqualität“. Tritt Schimmel auf oder ist eine gute Raumlufthqualität nicht erreichbar, dann stellt sich nach wie vor die Frage „Wer trägt die Verantwortung?“

1. Ausgangslage

Zum Thema „Schimmel in Wohnungen“ gibt es in immer wieder neue Studien über den Anteil betroffener Wohnungen. Alle Untersuchungen kommen zur Ergebnis, dass mindestens 15% aller Wohnungen mit sichtbarem Schimmelbefall zu tun haben (Angaben aus Befragungen). Man muss jedoch davon ausgehen, dass die tatsächliche Anzahl wesentlich höher liegt, da Schimmel sehr oft versteckt auftritt, oder der Befall aus Scham oder falscher Eigendiagnose nicht angegeben wird.

Bezüglich Luftqualität ist keine Untersuchung bekannt, die über alle bestehenden Gebäude gespannt ist. Jedoch gibt es plausible Parameter, die auf eine zunehmend schlechter werdende Raumlufthqualität in (Wohn)gebäuden und damit einhergehend auf gesundheitlich negative Auswirkungen hinweisen. Eine Studie wurde 2014 unter dem Titel „Lüftung 3.0 – Bewohnergesundheit und Raumlufthqualität in neu errichteten, energieeffizienten Wohnhäusern“ durchgeführt (1). In dieser Untersuchung wurden Wohnhäuser ohne und mit Lüftungsanlage hinsichtlich Raumlufthqualitätsparameter und BewohnerInnenngesundheit verglichen. Dabei wurden signifikante Unterschiede festgestellt, die darauf hindeuten, dass mechanisch belüftete Objekte das gesundheitliche Befinden der BewohnerInnen verbessern.

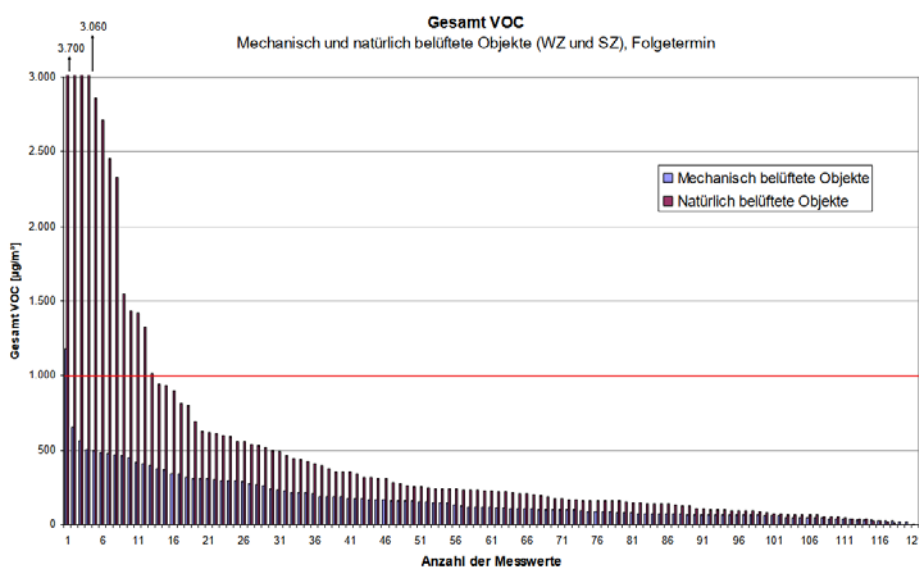


Abb. 1: Gesamt VOC-Werte in Wohn- und Schlafräumen von Objekten mit Wohnraumlüftungsanlage sowie von Objekten mit ausschließlicher Fensterlüftung

Bei leit-wolf Luftkomfort bemerkt man eine stark zunehmende Nachfrage nach dem Einbau von Lüftungsanlagen in Neubauten nach wenigen Jahren Nutzung. Die Berichte der anfragenden BewohnerInnen weisen darauf hin, dass in der Projektierungsphase selten Hinweise auf die zu erwartende Problematik der Luftqualität und Feuchte in luftdichten Häusern mit ausschließlicher Fensterlüftung erfolgte. Vielmehr gab es von Professionisten vermehrt Aussagen, dass Lüftungssysteme verzichtbar wären („Wände, Holz oder Putze atmen“), oder sogar negative Effekte hätten. Aus eigener Beobachtung handelt es sich dabei meist um Personen, die selbst über keine persönliche Erfahrung mit dem Wohnen in luftdichten Wohnungen bzw. Häusern verfügen. Hier herrscht also dringender Handlungsbedarf das Bewusstsein, das Interesse und das Wissen zu diesem wichtigen Thema bei beratenden und planenden Professionisten zu schärfen, sowie falsche Annahmen auszuräumen.

2. Raumklimatische Parameter - Berechnungsmöglichkeiten und Nachweise

Zunächst stellt sich die Frage, welche verbindlichen Regelungen es für die Erzielung eines bestimmten Raumklimas und der Lufthygiene gibt. Hier sind an erster Stelle die Richtlinien des OIB Nr. 3 („Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“) und Nr. 6 („Energieeinsparung und Wärmeschutz“) einzuhalten. Im Folgenden wird eine bewusste Unterteilung in Parameter der „thermischen Behaglichkeit“, in Parameter des „Bauwerkschutzes“ und in Parameter der „Hygiene und Gesundheit“ vorgenommen, wobei es in einigen Bereichen natürlich Überschneidungen gibt.

2.1. Parameter für thermische Behaglichkeit

Raumtemperatur Winter

In unserem Klima ist eine Raumheizung zur Erzielung einer thermischen Behaglichkeit erforderlich, die eine leichtere Bekleidung auch in Innenräumen im Winter erlaubt. Der dafür erforderliche Heizwärmebedarf (HWB) wird auf eine Raumtemperatur von **22°C** (20°C) bezogen. Das standardisierte Berechnungsverfahren des HWB dient prinzipiell nur dazu, die klar definierten Mindestanforderungen an den Wärmeschutz nachweisen zu können. Neben diesem normativ festgelegten Verfahren gibt es noch weitere Berechnungstools, die eine energetische Optimierung des Gebäudes erlauben. Für die standardisierte Berechnung der Heizlast steht die ÖNORM H 7500 zur Verfügung.

Raumtemperatur Sommer

Während in praktisch keinem Wohngebäude aus Behaglichkeitsgründen auf eine Raumheizung verzichtet wird, stehen beim sommerlichen Überwärmungsschutz die Bemühungen im Vordergrund, durch passive Vorkehrungen einen ausreichenden Hitzeschutz zu erzielen, und so eine zusätzliche aktive Kühlung zu vermeiden. Der Nachweis ist dabei nach OIB-RL 6 bei Wohngebäuden über die operative Temperatur gemäß ÖNORM B 8110-3 zu führen (bei Nichtwohngebäuden über den außeninduzierten Kühlbedarf). Die zulässige maximale Raumtemperatur ist ortsabhängig, bewegt sich aber bei bis zu ca. 30°C. Der rechnerisch thermisch induzierte Luftwechsel erfolgt über gekippte bzw. geöffnete Fenster, die sich von allein schließen, sobald die Temperatur außen höher ist als innen. Ich stelle hier zur Diskussion, wie oft solche Lösungen in der Praxis bislang tatsächlich umgesetzt wurden und wie praktikabel diese sind.

Anmerkung: diese Lösung des Vergleiches zwischen Außen- und Innentemperatur und Umschaltung zwischen Wärmerückgewinnung und Bypass ist heute in jedem modernen wohnungszentrierten Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung implementiert und automatisiert.

2.2. Parameter für Bautenschutz und/oder Parameter für Hygiene und Gesundheit

Vermeidung von Kondensat und Schimmelwachstum

Die Raumlufffeuchte ist der wesentliche Parameter, um Bauschäden durch Kondensat in der Konstruktion vorzubeugen, die eine Durchfeuchtung von Bauteilschichten, Verminderung der Dämmwirkung und mögliche Zerstörung von Baustoffen durch Schimmelpilze bewirken kann. Schimmelpilzsporen können durch Bauteilfugen in die Raumluff gelangen, oder aber auch durch Fruchtkörperwachstum an Innenoberflächen direkt an die Raumluff abgegeben werden. Das längerfristige Einatmen von Schimmelsporen insbesondere in größerer Konzentration kann auch bei gesunden Personen zu sehr breiten allergischen Reaktionen führen und chronische Krankheiten auslösen.

In der derzeit gültigen Fassung der OIB-RL3 (2019) ist in Abschnitt 6.4 zu lesen:

6.4 Vermeidung von Schäden durch Wasserdampfkondensation

- 6.4.1 Raumbegrenzende Bauteile von Bauwerken mit Aufenthaltsräumen sowie von sonstigen Bauwerken, deren Verwendungszweck dies erfordert, müssen so aufgebaut sein, dass Schäden durch Wasserdampfkondensation weder in den Bauteilen noch an deren Oberflächen bei üblicher Nutzung entstehen. Dies gilt jedenfalls als erfüllt, wenn Punkt 4.8 der OIB-Richtlinie 6 eingehalten wird.
- 6.4.2 Bei Außenbauteilen mit geringer Speicherefähigkeit (wie Fenster- und Türelemente) ist durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen, dass angrenzende Bauteile nicht durchfeuchtet werden.

Dazu der Verweis auf Punkt 4.8 in der OIB-RL 6:

4.8 Schadensbildende Kondensation und Risiko zur Schimmelbildung

Bei Neubau und Renovierung von Gebäuden und Gebäudeteilen sind in Abhängigkeit von deren Nutzung (nutzungsprofil-spezifische Feuchteproduktion) schadensbildende Kondensation an der inneren Bauteiloberfläche und das Risiko zur Schimmelbildung an der inneren Bauteiloberfläche zu vermeiden.

Bei Neubau und Renovierung von Gebäuden und Gebäudeteilen ist in Abhängigkeit von deren Nutzung (nutzungsprofil-spezifische Feuchteproduktion) schadensbildende Kondensation im Inneren von Bauteilen zu vermeiden.

In OIB-RL 3 wird von „üblicher Nutzung“ gesprochen. In der OIB-RL 6 wird etwas konkreter eine „nutzungsprofil-spezifische Feuchteproduktion“ genannt.

Der Bauteilnachweis erfolgt dabei mittels Simulation nach ÖNORM B 8110-2. In der Ausgabe 2020 wurde das traditionelle Innenraumklima (Temperatur und Luftfeuchte) durch die Feuchtelast ersetzt. Eine Größe, die sehr handlich für Simulationen ist, aber wenig griffig für „Normalsterbliche“.

Anmerkung 1: Die Feuchtelast ist die Differenz der absoluten Feuchte zwischen innen und außen. Nach EN 13788 beträgt die Feuchtelast für Wohngebäude 4 g/m^3 „bei normaler Belegung und Lüftung“ bzw. 6 g/m^3 „mit unbekannter Belegung“ bei einer Außenluft kleiner 0°C .

Anmerkung 2: Eine Feuchtelast von $7,3 \text{ g/m}^3$ entspricht dem Klima für Oberflächenkondensat (Feuchtespitzen) nach ÖN B 8115-2: 2003, eine Feuchtelast von $5,5 \text{ g/m}^3$ dem Klima für Schimmelrisiko nach ÖN B 8115-2: 2003. Die Kombination beider Fälle (6 Stunden $7,3 \text{ g/m}^3$ und 18 h $5,5 \text{ g/m}^3$) ergibt ca. 6 g/m^3 .

Die Vermeidung von Oberflächenkondensat gilt als erfüllt, wenn der Temperaturfaktor $f_{\text{Rsi}} \leq 0,70$ eingehalten wird. Welches Raumklima sich hinter dieser an sich technisch sinnvollen Größe versteckt ist der ÖNORM B 8110-2: 2020 nicht zu entnehmen (hier muss auf die Ausgabe 2003 herangezogen werden).

Für einen Nachweis der Einhaltung der zulässigen Raumluftfeuchte, welche wertemäßig gar nicht mehr angegeben ist, stehen nach wie vor keine standardisierten Berechnungstools zur Verfügung. Praktisch ist dies für den Planer wie für den Nutzer eine unbefriedigende Situation.

2.3. Parameter für Hygiene und Gesundheit

Luft kann als das wichtigste Lebensmittel bezeichnet werden, da es dem Körper über die Lunge permanent zugeführt werden muss. Über die Ausatemluft und die Körperoberfläche werden Stoffe an die Raumluft abgegeben, die bei steigender Konzentration durch Wiedereinatmung zu einer Beeinträchtigung des Wohlbefindens (Reizungen des Rachens, Müdigkeit, Konzentrationsstörungen) und auf längere Sicht auch zu einer chronischen Beeinträchtigung der Gesundheit führen. Zusätzlich gilt es Schadstofflasten und störende Gerüche durch Einrichtungen bzw. durch die Nutzung der BewohnerInnen zu berücksichtigen. In der OIB RL 3 werden in Abschnitt 10 die Anforderungen an die Lüftung wie folgt definiert:

10 Lüftung und Beheizung

10.1 Lüftung

- 10.1.1 Aufenthaltsräume und Sanitärräume müssen durch unmittelbar ins Freie führende Fenster, Türen und dergleichen ausreichend gelüftet werden können. Davon kann ganz oder teilweise abgesehen werden, wenn eine mechanische Lüftung vorhanden ist, die eine für den Verwendungszweck ausreichende Luftwechselrate zulässt. Die Lüftung von Aufenthaltsräumen durch unmittelbar ins Freie führende Fenster, Türen und dergleichen ist ebenfalls gewährleistet, wenn vor diese verglaste Loggien oder Wintergärten vorgesetzt sind, welche der jeweiligen Wohn- und Betriebseinheit zugeordnet sind und über öffnbare Fenster, Türen und dergleichen verfügen. Bei sonstigen innen liegenden Räumen, ausgenommen Gänge, ist für eine Lüftungsmöglichkeit zu sorgen.
- 10.1.2 In Räumen, deren Verwendungszweck eine erhebliche Erhöhung der Luftfeuchtigkeit erwarten lässt (insbesondere in Küchen, Bädern, Nassräumen etc.), ist eine natürliche oder mechanische Be- oder Entlüftung einzurichten.

Hier wird ausgesagt, dass man bestimmte Räume „ausreichend lüften können muss“. Jedoch wird nicht definiert oder verwiesen, was unter „ausreichend“ zu verstehen ist. Diese Aussage lässt auf den ersten Blick viel Interpretationsspielraum zu. Für Hygieneexperten sind diese unkonkreten Formulierungen alarmierend.

2.4. Fazit dieser Betrachtung

Obwohl es in der OIB RL 3 um die Bereiche „Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“ geht, fehlen in diesem Dokument die wesentlichen Anforderungen an die Raumluftqualität. Die Bewertung der Tauglichkeit der vorgesehenen Lüftungsmöglichkeiten hängt damit nach wie vor vom Bewusstsein, der Fachkenntnis und dem Ermessen der verantwortlichen Planungsfachleute ab.

Aus einiger Entfernung betrachtet sind die Anforderungen der OIB-Richtlinie nicht als objektives, wissenschaftliches Dokument zu verstehen, sondern bilden im Grunde die menschliche Intention ab, die „Behaglichkeit und Komfort“ aufgrund der unmittelbaren Empfindungen eine höhere Priorität einräumt, als „Gesundheit und Hygiene“.

3. Parameter und Berechnung der erwartbaren Raumluftfeuchte und Raumluftqualität

Entscheidender Faktor für die Verdünnung von Feuchte, Schad- und Geruchsstoffen ist der Außenluftwechsel. Als wissenschaftlich anerkannte Leitgröße zur Beurteilung der Raumluftqualität hat sich in Räumen, die für dauerhaften Aufenthalt von Personen bestimmt sind, der Kohlenstoffdioxidgehalt etabliert, der sich direkt proportional zur Belegungszahl und zum Aktivitätsgrad verhält.

Während sich die Raumluftqualität aufgrund des quasistationären CO₂-Gehaltes der Außenluft direkt proportional zur Außenluftwechselrate verhält, kommt bei der Raumluftfeuchte mit dem schwankenden Feuchtegehalt der Außenluft ein weiterer Faktor hinzu.

3.1. CO₂-Rechner

Für exemplarische Berechnung der CO₂-Ausgleichskonzentration und der grafischen Darstellung von CO₂-Verläufen in Räumen sind einfache Tools verfügbar. Als Parameter können Raumvolumen, Infiltration, Personenzahl (Alter), metabolische Rate (Aktivitätsgrad), CO₂-Anfangskonzentration, Lüftungsintervalle, u. a. eingegeben werden.

So ein Berechnungsprogramm auf MS Excel-Basis ist beispielsweise auf der Informationsplattform raumluft.org abrufbar („CO₂ SIM“).

3.2. Raumluftfeuchte-Rechner

Zur Berechnung der Raumluftfeuchte kennen wird kein empfehlenswertes Tool (auf Excel-Basis). Welche Raumluftfeuchte sich bei welcher Feuchteabgabe und welchem Luftwechsel einstellt kann jeder Planer nur selbst abschätzen. Angaben zur Feuchteabgabe können einschlägiger Literatur entnommen werden (3).

Anmerkung: Die Feuchtelast nach EN 13788 ist hierfür wenig hilfreich, denn die Feuchtelast ergibt sich aus der Kombination von Feuchteabgabe und Luftwechsel.

4. Wer trägt nun die Verantwortung?

Aufgrund der unklaren Situation in Österreich werden viele Fälle von Schimmelbefall in Wohnungen, Geruchsübertragung zwischen Wohnungen, oder mangelhafter Raumluftqualität aufgrund unzureichender Belüftungsmöglichkeiten zum Streitfall zwischen Mietern, Vermietern bzw. Eigentümern und Planungsverantwortlichen. Auch wenn eine Öffnung von Fenstern oder Innentüren theoretisch immer möglich ist, so kann dies nicht immer zumutbar sein. Daher ist es derzeit eher die Regel, dass auch bei entsprechender Motivation zur manuellen Fensterlüftung vorwiegend „dicke Luft“ in den Wohneinheiten herrscht, Kondensatbildung an den Fensterflächen oder Schimmelflecken in Feuchträumen oder Schlafzimmern zum Wohnen dazugehören.

Jeder Planer steht insbesondere aufgrund der geltenden Warnpflicht in der Verantwortung auf die Folgen unzureichender Lüftungsmöglichkeit hinzuweisen. Wird dieser Warnpflicht nicht nachgekommen, so trägt der Planer zumindest eine Teilschuld. Falls sich jedoch der Auftraggeber trotz Hinweis gegen ein notwendiges Lüftungssystem entscheidet, ist der Planer von der Haftung entbunden.

Aus diesem Grund ist es dringend erforderlich zu definieren, was unter „ausreichender Lüftung“ zu verstehen ist.

5. Entwicklung eines „Lüftungskonzeptes für Österreich“

In Österreich gab es und gibt es Initiativen, die diese unbefriedigende Situation ändern wollen. 2021 wurde ein Projekt mit dem Namen „Lüftungskonzept für Österreich“ initiiert, dessen Ziel die Programmierung eines Berechnungsprogrammes zur Einschätzung der Notwendigkeit von Lüftungsmaßnahmen war.

Im Folgenden wird der zusammenfassende Abschnitt aus dem Endbericht (2) zitiert:

Der Berechnungsansatz, bzw. das Tool kann neben einer allgemeinen Informationsquelle für NutzerInnen, PlanerInnen, ausführenden Firmen, Bauträgern, etc. auch als Basis für eine Konkretisierung der Anforderungen der OIB-Richtlinien bzw. der bautechnischen Regelungen der Länder herangezogen werden. In diesem Zusammenhang wäre es hilfreich, die Rahmenbedingungen, sowie die Vorgangsweise wie Raumluftqualität und Schimmelfreiheit in der Praxis definiert, bzw. nachgewiesen werden kann, in den Erläuterungen der OIB-Richtlinie 3 festzulegen.

Ziel des Projektes:

Ziel des Projektes ist die Schaffung eines Nachweisverfahrens (auf Basis Microsoft Excel), welches zeigt, ob eine natürliche Lüftung bzw. Fensterlüftung bei einer Standardnutzung zur Vermeidung Schimmelbildung ausreichend, bzw. in Hinblick auf eine ausreichend hygienische Luftqualität zumutbar ist.

- *Nachweis 1: Schimmelfreiheit auf Bauteiloberflächen ohne bzw. gegebenenfalls mit zumutbarem Eingriff der NutzerInnen.*
- *Nachweis 2: Gewährleistung einer ausreichenden Luftqualität entsprechend den Richtwerten des Arbeitskreises Innenraumluft des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie – BMK*

Methode:

Der im Projektantrag formulierte Ansatz im Bereich der Schimmelfreiheit, die Ansätze der DIN 1946 auf österreichische Verhältnisse umzuarbeiten, wurde aufgrund der Schwäche des Regelwerkes (DIN 1946 liefert das bauphysikalisch falsche Signal, eher undichter zu bauen, verworfen und ein neuer Ansatz gewählt, bei dem das Schimmelrisiko in Prozent für den Anwesenheitsfall mit NutzerInneneingriff und den Abwesenheitsfall ohne NutzerInneneingriff ausgewiesen wird.

Für den Nachweis einer ausreichenden Luftqualität mit zumutbarem NutzerInneneingriff sind keine normativen Ansätze im deutschsprachigen Raum bekannt. Die gewählte Methode vergleicht die berechneten notwendigen Lüftungsintervalle für eine ausreichende Luftqualität durch eine aktive Fensterlüftung mit festgelegten, für NutzerInnen zumutbaren Zeiträumen zwischen den Lüftungsperioden (z. B. Schlafzimmer 8 Std, Wohnzimmer 2 Std, Büro 2 Std, Klassenzimmer 45 Minuten, ...).

Das Berechnungsverfahren basiert auf dem Monte-Carlo Ansatz. Anstatt einer deterministischen Berechnung werden 1000 Berechnungen mit zufällig variierenden Eingabewerten (wenn nicht durch NutzerInnen fix vorgegeben) durchgeführt. Dadurch werden Unsicherheiten der Eingabeparameter (z. B. Personenzahl, Feuchteintrag) in der Bewertung berücksichtigt.

Ergebnis:

Als Ergebnis steht nun ein Excel Tool zur Verfügung mit dem das Schimmelrisiko bei Wohnbauten in Prozent und die Zumutbarkeit einer Fensterlüftung zur Erreichung einer ausreichenden Luftqualität bei Wohngebäuden, Schulen, Kindergärten und Büros berechnet werden kann.

Berechnungsbeispiel – konkrete Situation:

9.1.2. Für eine konkrete Situation – mit Variationen: Wohnzimmer – MFH Neubau

Eingaben Gebäude/Raum	Auswahl (Dropdown menu)	Hinterlegte Werte (bereiche)	Eigene Eingaben
Standort:	Innsbruck		
Gebäudeart:	Mehrfamilienhaus		
Luftdichtigkeit n50-Wert (Gebäude) [1/h]:	Standard Neubau	1,5 +/- 0,3	
Raumart (betrachteter Raum):	Wohnzimmer		
Fläche (betrachteter Raum) [m²]:	Wert eingeben ->		20
Höhe (betrachteter Raum) [m]:	Wert eingeben ->		2,5
Fläche öffentbare Fenster (betrachteter Raum) [m²]:	Wert eingeben ->		10
Fensterklasse nach EN12207 (betrachteter Raum):	3: mit guter Dichtung		
Lüftungsmöglichkeit (betrachteter Raum):	Querlüftung		
Lüftungsdauer pro Lüftungsvorgang [min]:	Wert eingeben ->		5
Gelände-/Terrainklasse (Windeinfluss):	Städtische Struktur		
Abschirmung-/Shieldingklasse (Windeinfluss):	Moderat windgeschützt		
Eingaben Personen für betrachteten Raum			
Anzahl Erwachsene:	Wert eingeben ->		2
Aktivität Erwachsene [met]:	Sitzend entspannt	1,0 +/- 0,0	
Anzahl Kinder:	Wert eingeben ->		1
Aktivität Kinder [met]:	Sitzend entspannt	1,0 +/- 0,0	
Mittleres Alter der Kinder [a]:	Wert eingeben ->		12

Ergebnis CO2 Bewertung	F9 drücken für Neuberechnung, Aufgr...
Fensterlüftung praktikabel/zumutbar:	Nein
Weil errechnete Zeit zwischen erforderlichen Fensterlüften [min]:	78 Minuten
Dies ist kürzer als die zumutbare Zeit zwischen Fensterlüften [min]:	120 Minuten

Weitere Angaben zur Bandbreite der Ergebnisse

- Für 5% der Fälle ist die Luftmenge kleiner 2,2 m³/h, und für 5% der Fälle größer 5,5 m³/h.
- Für 5% der Fälle ist die Luftwechselrate kleiner 0,1 1/h, und für 5% der Fälle größer 0,2 1/h.
- Für 5% der Fälle ist der CO2-Std.MW schon nach 55 min erreicht, für 5% der Fälle dauert es länger als 93 min.

Realistische Fensterlüftung (Start bei realistischem CO₂-Wert nach dem letzten Lüften mit variabler Zeit) und individuellem Lüftungsvorgang:

Nach 78 Minuten ist im Median der gleitende Mittelwert von 1.400 ppm CO₂ erreicht:

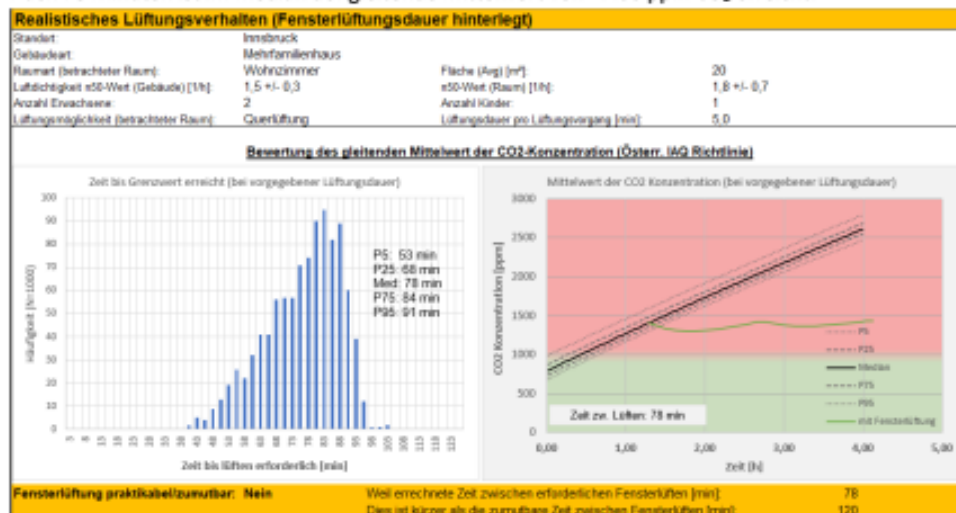


Abb. 2: Beispielhaftes Berechnungsblatt (CO₂-Betrachtung) für ein Wohnzimmer in einem Mehrfamilienhaus

6. Ausblick

Angesichts der extrem ansteigenden Energiepreise kann man davon ausgehen, dass BewohnerInnen vermehrt einzelne Räume weniger heizen und die Raumlüftung bei niedrigen Außentemperaturen auf ein absolutes Minimum einschränken. Diese Bedingungen begünstigen bekanntermaßen das Schimmelwachstum und Oberflächenkondensation, senken die Raumlufthqualität und erhöhen den Schadstoffgehalt.

Nicht vergessen sollte man die in den letzten Jahren durch die Corona-Pandemie ausgegebenen Verordnungen zur Vermeidung von Infektionen in Innenräumen, die maßgeblich durch den Außenluftwechsel beeinflusst werden können.

Die Versäumnisse in den Richtlinien sollten umgehend korrigiert und klare Anforderungen für die Einhaltung der Raumlufthqualität geschaffen werden. Mit dem Ergebnis aus dem Projekt „Lüftungskonzept für Österreich“ steht ein leistungsfähiges, nachvollziehbares und einfach anwendbares Berechnungstool zur Verfügung, das die wichtigste Voraussetzung für die Einführung einer breiten Anwendung in der Praxis bietet. In weiterer Folge ist geplant, das Berechnungsprogramm auch als laufend aktualisiertes Onlinetool zur Verfügung zu stellen.

7. Literatur

- (1) Tappler, Peter et al. (2014): Lüftung 3.0 – Bewohnergesundheit und Raumlufthqualität in neu errichteten, energieeffizienten Wohnhäusern. Endbericht einer Studie im Rahmen des Programms „Neue Energien 2020“, Klima- und Energiefonds
- (2) Greml A, Rojas-Kopeinig G, Pfluger R, Tappler P (2021): Lüftungskonzept Österreich, nachhaltig wirtschaften – Programm Stadt der Zukunft
- (3) »Wohnungslüftung und Raumklima« Helmut Künzle, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2009 (ISBN 987-3-8167-7659-8)



CURRICULUM VITAE

Prof.(HTL) Bmst. Dipl.-Ing.

Johann SPIESSBERGER

Institut für **B**auphysik und **t**echnischen **S**challschutz (IBTS GmbH)

Gerichtlich beeideter Sachverständiger für Bauphysik und technischen Schallschutz

Nichtamtlicher Sachverständiger im Gewerbeverfahren

Professor an der HTL1 für Bau&Design in Linz

Web: www.ibts.at

Kollmannsberg 109

A-4814 Neukirchen

Email: office@ibts.at

Geboren 1974 in Gmunden, absolvierte er die HTL Vöcklabruck Fachrichtung Maschinenbau BT und studierte danach in Graz und Padua Bauingenieurwesen (Dipl.-Ing).

Nach Tätigkeiten in verschiedenen Unternehmen (Bauunternehmen, Bauphysik-Software-Unternehmen, Bauphysik-Planungsbüro) begann er 2006 eine Lehrtätigkeit an der HTL1 für Bau&Design in Linz.

Neben der Lehr- und Vortragstätigkeit wurde 2007 ein Büro für Bauphysik gegründet (DI Johann Spiessberger e.U) welches mit der Aufnahme von Mitarbeitern 2015 in ein Institut mit den Schwerpunkten Bauphysik und technischer Schallschutz (IBTS GmbH) übergeleitet wurde.

Hauptaufgabengebiet ist die bauphysikalische Planung und Bauüberwachung inklusive der erforderlichen Schall-, Luftdichtheits- und Feuchtemessungen. Parallel dazu werden baupraktische Produktprüfungen und Forschungsarbeiten durchgeführt. Für Bezirks- und Landesgerichte erstellt DI Spiessberger als gerichtlich beeideter Sachverständiger Beweissicherungen und Gutachten.

In seiner Funktion als Nichtamtlicher Sachverständiger unterstützt DI Spiessberger Behörden bei Genehmigungsverfahren im Gewerbe- und Industriebereich hinsichtlich der Beurteilung von komplexen Schallemissionen.

Sanierung – Probleme bei Heizungstausch

Prof.(HTL) Bmst. Dipl.-Ing. Johann SPIESSBERGER, Neukirchen (Altm.)

Auf den folgenden Seiten wird auf die bauphysikalischen Problemfelder beim Heizungstausch eingegangen. **Ob und welche Heizsysteme** noch eingebaut werden dürfen wird **hier nicht behandelt**, da es den **Rahmen des Vortrages sprengen würde** da es auch regionale Unterschiede gibt.

1. Warum betrifft der Heizungstausch den Bauphysiker? Was ist unsere Aufgabe hier?

In der Regel ist das Heizungssystem bei Sanierungsobjekten – egal ob einzelne Wohnung oder gesamtes Gebäude – aus Altersgründen meist nicht mehr sinnvoll zu erhalten. Dies gilt gleichermaßen für Wohngebäude als auch für Nicht-Wohngebäude.

Damit stellt sich zwangsläufig die Frage, ob man das gleiche Heizsystem wieder einbaut oder auf ein anderes Heiz-Konzept umstellt.

Dies betrifft einerseits die Art der Wärmeerzeugung:

- Wärmepumpe
- Gas- und Ölbrenner (meist vorhanden)
- Pellets- bzw. Hackschnitzel
- Fernwärme, Elektroheizung
- Infrarotpaneelheizung
- Solarthermie
- Hybridheizungen (z.B. Gas + Luftwärmepumpe)
- Fernwärme

Andererseits aber auch die Art der Wärmeverteilung im Gebäude:

- Fußbodenheizung
- Wandheizung
- Betonkernaktivierung in der Decke (nur möglich wenn statisch neue Decken eingezogen werden müssen)
- Abgehängte Deckenheizung
- Konventionelle Heizkörper
- Bodenkonvektor
- Deckenstrahler/Gebläse (Industrie)

Im Neubau sind die meisten Fragestellungen relativ einfach zu beantworten und bereits in der Planung können entsprechende Vorkehrungen für schadensfreies Beheizen getroffen werden.

Im **Bestand** stößt man jedoch manchmal an **Grenzen**, da je nach Umfang der Sanierungsarbeiten ganze **Bauteile nicht angegriffen werden** (sollen) bzw. besonders bei **historischen Gebäuden Einschränkungen** hinsichtlich Optik und Dämmung im Außenbereich **bestehen**. Erfahrene **Heizungsplaner** bzw. **Installateure** bringen **zumeist viel Erfahrung mit**, sind jedoch gerade dort wo alte Gebäude auf moderne Heizungen treffen manchmal überfordert mit Beurteilung von Schallschutz

und Wärmebrücken und oft auch von den Wünschen der Auftraggeber. Besonders Nachwuchskräfte die eventuell bisher nur im Neubau tätig waren haben verständlicherweise Schwierigkeiten ihre Erfahrungen auf ältere Gebäude zu übertragen.

Und hier kann der Bauphysiker das Zusammenwirken von Heizsystem, Heizwärmeverteilung und vorhandene Bausubstanz untersuchen und möglichst frühzeitig auf Problemstellungen und mögliche Lösungen hinweisen.

Nachfolgend sind einige Problemstellungen angeführt die häufig auftreten und die man zumindest ansprechen sollte wenn man als Bauphysiker an einem Sanierungsvorhaben beteiligt ist.

2. Lärmemissionen neuer Heizsysteme

Der Wechsel auf eine außen aufgestellte Luft-Wärmepumpe oder eine innen aufgestellte Pellet- bzw. Hackschnitzelheizung kann zu ungewollten Lärmstörungen bei Nachbarn und eigenen Hausbewohnern führen. Dies gilt natürlich auch hinsichtlich Schwingungen der Kompressoren bzw. Förderanlagen von z.B. Pellets.

Bei **Luft-Wärmepumpen** ist man hinsichtlich **Aufstellungsort** der Außenteile meist **eingeschränkt**. Die **Geräuschemissionen** sind bei **manchen Geräten erheblich** und besonders in größeren Dimensionen bei schlecht gedämmten Gebäuden für die Nachbarschaft **störend**.

Die **Stadt Wien** hat hier eine **eigene Richtlinie publiziert**, in der die wesentlichen Eckpunkte angeführt wird:

<https://www.wien.gv.at/wohnen/baupolizei/pdf/schallschutz-haustechnischer-anlagen.pdf>

Auch das Forum Schall hat 2013 ein Informationsblatt zu dem Thema herausgegeben:

https://www.oel.at/images/Forum_Schall/Arbeitsbehilfe/2013_Informationenblatt_Luftwaermepumpen_.pdf

Für die **zukünftigen OIB Richtlinie 5:2023** ist ein **eigenes Kapitel** hinsichtlich Lärmemissionen haustechnischer Anlagen zur **Nachbarschaft** und auch zum eigenen Gebäude hin geplant, die **Grenzwerte** enthalten soll.

In **kritischen Fällen** sind hier **Ausbreitungsberechnungen** und **Sonderlösungen** sinnvoll um das Risiko von übermäßigen Lärmstörungen von vorneherein zu minimieren.

Beispielberechnung mit „versteckter“ Anlage

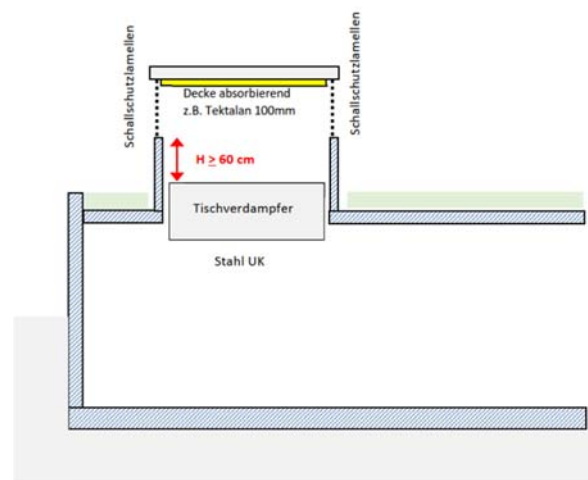
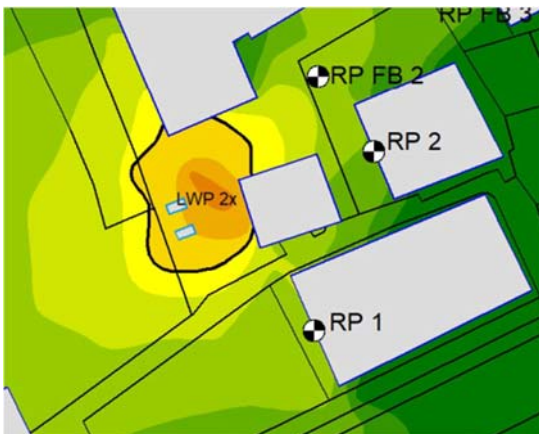


Abb.: Außengerät nicht direkt ins Freie gestellt, sondern in einem Zubau-Schacht „versteckt“ und mit Schallschutzlamellen abgedeckt

Aufstellung von Heizungsanlagen im Inneren von Gebäuden

Vor allem Wärmepumpen und Pelletheizungen haben im Regelfall Maschinenbestandteile die nicht nur Schall sondern auch Schwingungen aussenden (Kompressoren, Fördereinrichtungen,...).

Häufig trifft man bei **Kompressoren hervorstechende Frequenzen** an. Diese können sich in **ungünstigen Situationen im Gebäude** verbreiten. Je nach Frequenz kann man eine Übertragung reduzieren durch **Elastomer-Unterlagen** bzw. durch **Lagerung auf Stahlfedern**. Natürlich sind auch alle starren Rohrdurchführungen von den umgebenden Bauteilen zu trennen.

Dies ist sinnvollerweise vorab zu klären um in Abstimmung mit dem Haustechniker entsprechende Entkopplungen vornehmen zu können.



Abb.: Blockelement, Isotop® DSD-BL Fa. Getzner



Abb.: Sylomerlager Fa. Getzner



Abb.: Wärmepumpe auf Elastomerlager

Deshalb Check durch Bauphysiker erforderlich:

- Welche Lärmeinwirkung ist „ortsüblich“?
- Welche Lärmemissionen haben die Geräte? Gefahr von Grenzwertüberschreitungen?
- Gibt es eine direkt betroffene Nachbarschaft?
- Ist das Gerät für Nachbarn sichtbar?
- Aufstellungsort optimal gewählt?
- Eventuell Einhausung möglich?
- Wie ist das eigene Gebäude betroffen?
- Risiko von Schwingungsübertragung in Wohnungen?
- Lagerung auf schwingungsanfälligen Decken/Dächern (z.B. Holzleichtdach)?

3. Luftdichtheit vor und nach der Sanierung

Ältere Gebäude sind **nicht besonders luftdicht**, da Fenster und Türen sowie Anschlüsse ans Dach meist nicht gesondert abgedichtet sind. Dies wäre bei vielen bestehenden Heizungssystemen auch fatal, da **Brennerheizungen** (Gas, Öl) und auch für Kaminöfen natürlich auf **Frischluftezufuhr angewiesen** sind. Viele Gebäude weisen deshalb extra (nicht verschließbare) Öffnungen zu Fassade oder Kellerräumen auf um jedenfalls **genug Luft in die Wohnung** für den **Verbrennungsprozess** zu bringen.

Bei **Sanierungen** mit Fenstertausch wird heutzutage natürlich **Wert auf Luftdichtheit gelegt** und im Regelfall die Einbau-Normen für Neubau angewandt und die entsprechenden Dichtsysteme geklebt bzw. eingelegt.

Für Brennerheizungen bzw. Kaminöfen ist deshalb nach der Sanierung meist eine definierte Luftzufuhr herzustellen (Raumluftunabhängiger Betrieb) da sich geplante Öffnungen des Wohnraumes nach außen mit den Anforderungen nach „moderner“ Luftdichtheit widersprechen.

Für einen Gesamtüberblick fühlt sich oft niemand zuständig.

Deshalb Check durch Bauphysiker erforderlich:

- Welche Öffnungen sind im Bestand vorhanden? Können sie verschlossen werden?
- Wie wird nach Sanierung gelüftet? Wohnraumlüftung sinnvoll/erforderlich? Straßenlärm?
- Ist eine Kaminofen geplant? Zuluft?
- Gibt es Luftdichtheitsanforderungen? Zertifikat Klimaaktiv/Ögni?

4. Heizungsreserven

Grundsätzlich ist die **richtige (Über)Dimensionierung der Heizung sehr wesentlich**, wobei hier die Erfahrung der Installateure und Haustechnikplaner unerlässlich ist.

Bei den **meist bestehenden Gas- und Ölheizungen** ist nicht die obere Heizleistung sondern die „Runterregelung“ die Herausforderung. Normale, kleine Gasbrenner von z.B. einer 6 kW- Heizung können ohne Probleme auch 15 kW Heizleistung erreichen wobei auch im Heizkörper noch Reserven stecken, da diese meist zwar auf 70°C ausgelegt aber auch mit 90°C Vorlauf betrieben werden können. Damit sind auch problematische Wohnungen (EG über Kellergeschoß, Dachgeschoß,..) jedenfalls beheizbar.

Wird das **Heizsystem** auf z.B. **Wärmepumpe mit Fußbodenheizungen** umgestellt ergeben sich bei **schlecht gedämmten Gebäuden** oft **Heizanlagen im Grenzbereich**, da die Wärmepumpe sehr schnell große Dimensionen erreicht bzw. über die Fußbodenoberfläche ja nur eine gewisse Wärmemenge transportiert werden kann (Temperatur begrenzt aufgrund der Behaglichkeit).

Fensteranschlüsse, die mit **Heizkörper** ausreichende Oberflächentemperaturen **erreichten**, kühlen mit der **Fußbodenheizung naturgemäß etwas ab** und es sind u. U. **zusätzliche Maßnahmen** (Leibungsdämmung,..) erforderlich. Ansonsten besteht die Gefahr von **Kondensation** an Wandoberflächen und eventuell **Schimmelbildung**.

Ein **Sonderfall** sind **direkt elektrisch betriebene Heizungen**, die ihre Anschlussleistung nahezu verlustfrei in Heizwärme umwandeln können. Hier sind bei scharfer Dimensionierung **keine Reserven** vorhanden. Früher wurden häufig Nachtspeicheröfen eingesetzt, da Nachtstrom besser verfügbar und daher wesentlich günstiger war als Tagstrom. Diese werden jetzt laufend ausgemustert.

Ein großes Missverständnis herrscht oft auch hinsichtlich der tatsächlich verfügbaren Heizleistung. Es **reicht nicht**, eine Wohnung bei kalten Außentemperaturen „irgendwie“ **auf ca. 20°C zu bringen**.

Gemäß **Normanforderungen** müssen **20°C** auch bei der Norm-Auslegungstemperatur (z.B. Linz - 12,2°C) und einem 0,4-fachen Luftwechsel **erreicht werden können**. D.h. bei „moderater“ Außentemperatur von z.B. **-5°C** und weniger Luftwechsel muss die Wohnung problemlos **auf > 25°C** beheizbar sein.

Gerade bei **kleinen Wohnungen** mit **hoher Belegung** und **hohem Frischluftbedarf** (Familie mit mehreren kleinen Kindern) ist hier eine **ausreichende Heizmöglichkeit unbedingt erforderlich**.

Deshalb Check durch Bauphysiker sinnvoll:

- Ist auch das neue Heizsystem in der Lage die Räume jedenfalls ausreichend zu beheizen?
- Hat das Heizungssystem Reserven in der Dimensionierung?
- Welche Parameter ändern sich durch die neue Heizung?

5. Wärmeverteilung im Raum

Durch **Änderung des Heizsystems** ändert sich häufig auch die **Verteilung der Wärme** im Raum. Bei konventionellen alten Heizsystemen mit Heizkörper wurden die Heizungsrohre im Regelfall entlang der Außenwände als „Ring“ gelegt.

Dies war einerseits einem damals oft sehr geringen Bodenaufbau geschuldet bzw. bei nachrüsten in Altbauten wurden die Rohre der Einfachheit halber einfach über dem Boden in oder auf der Wand verlegt.

Die Erwärmung der Fenster über den Heizkörpern ist hinlänglich bekannt, die Erwärmung der kalten ungedämmten Sockel und Wände durch die meist in Kupfer ausgeführten heißen Rohre wird hingegen wenig beachtet.

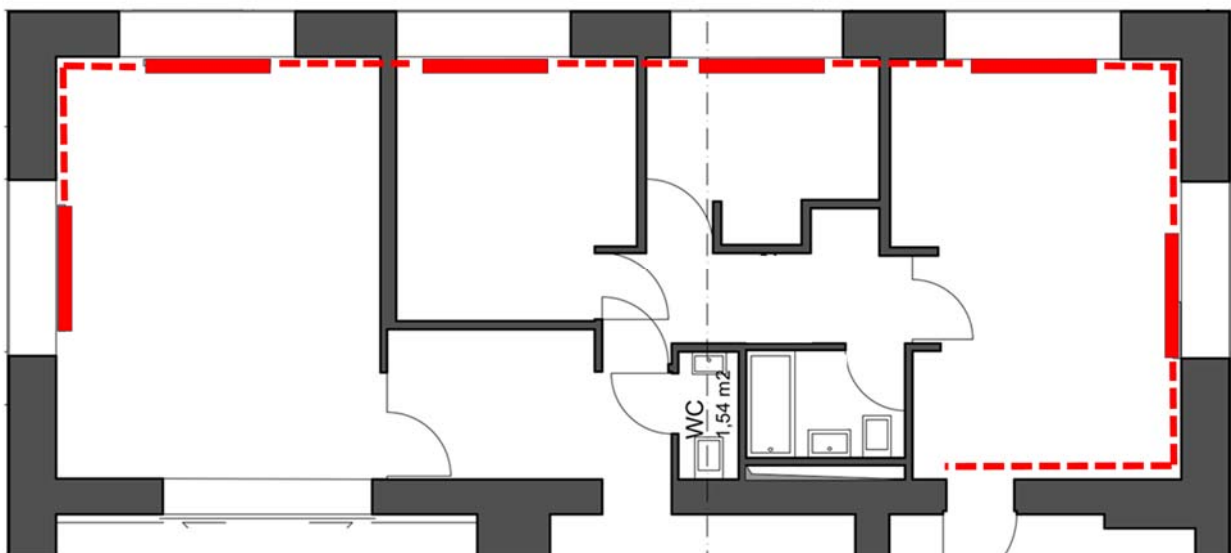
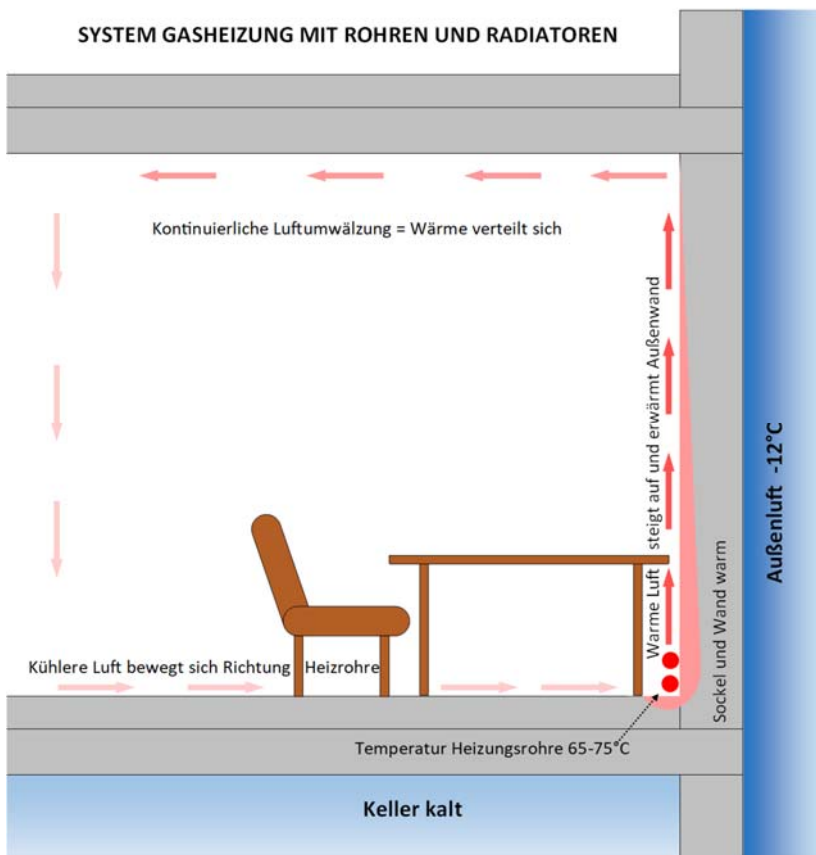


Abb.: Ringleitung der Heizungsrohre zu den Heizkörpern

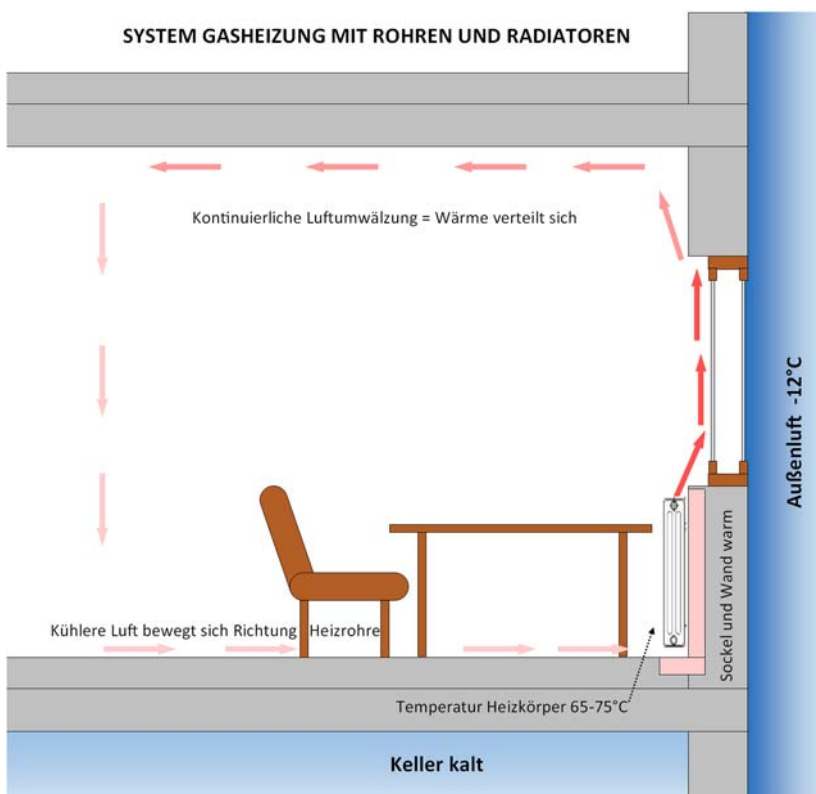


Die Heizungsrohre im Sockelbereich erwärmen besonders im Erdgeschoß über einem kalten Keller durch Wärmestrahlung sowohl den wichtigen (weil sonst sehr kalten) Sockel als auch durch aufsteigende warme Luftbewegung die Außenwand.

So entsteht eine permanente Luftumwälzung und es gelangt auch unter Möbelstücke etwas Wärme.

Einen vergleichsweise kalten Boden kann auch dieses System nicht verhindern, da die umgewälzte Luft (die von den warmen Rohren angesaugt wird), ja selbst nicht mehr besonders warm ist.

Abb.: Verteilung der Wärme im Raum und im Sockelbereich



Im Bereich der Heizkörper verstärkt sich dieser Vorgang natürlich um ein Vielfaches und sorgt für eine richtige Luftumwälzung im Raum.

Abb.: Verteilung der Wärme im Raum und im Sockelbereich

Werden Bodenaufbau sowie Heizkörper und Leitungsrohre erneuert, verläuft die Anbindung meist auf „kürzestem“ Weg und erfolgt mit Kunststoffrohren die weniger Wärme abgeben. Durch die Luftumwälzung aufgrund der Heizkörper wird jedoch zumindest noch der Großteil der Räume mit „bewegter“ warmer Luft versorgt. Der Boden bleibt aber kalt.

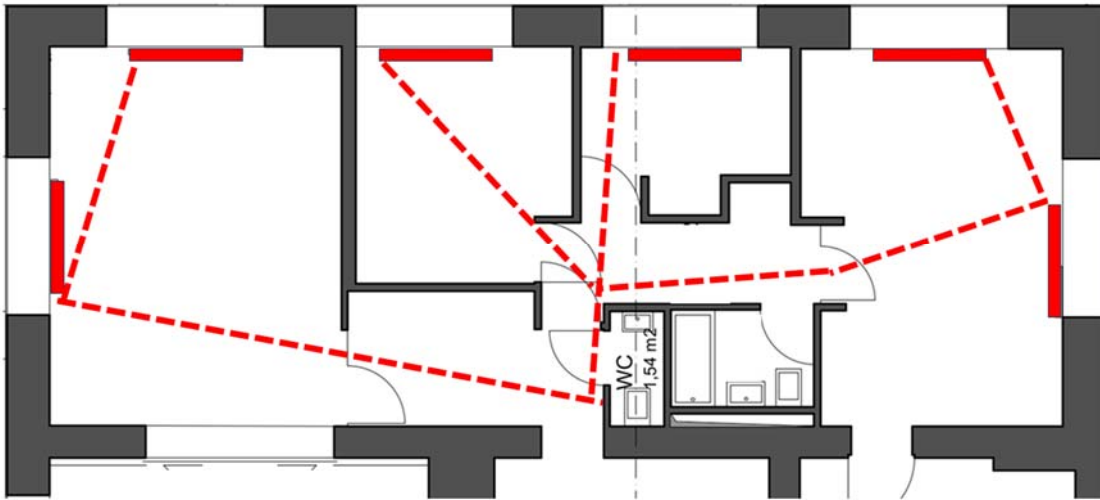
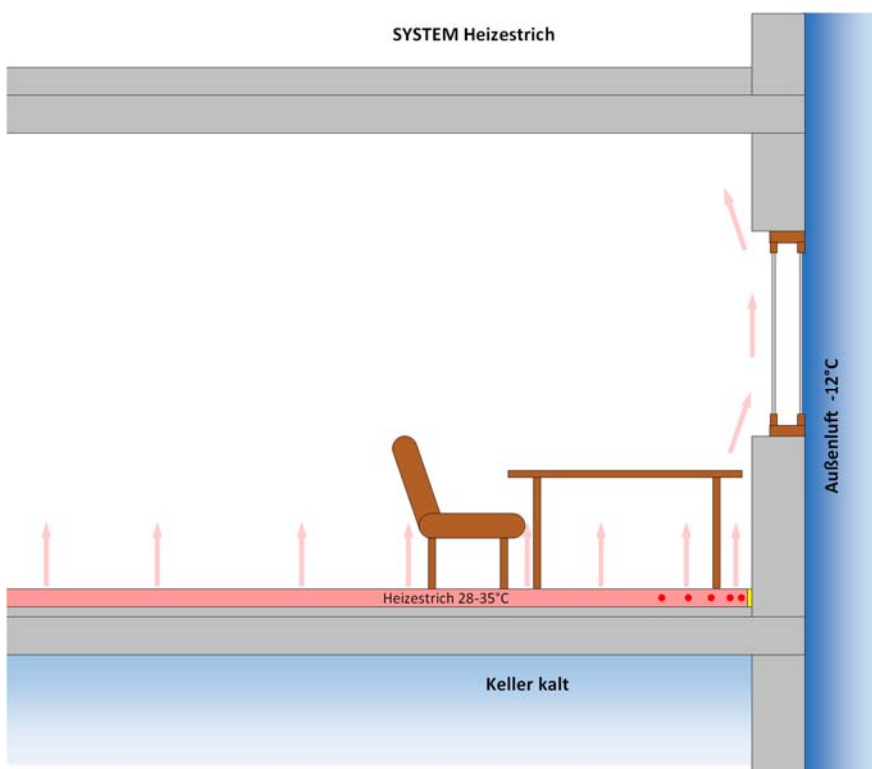


Abb.: Verlegung der Leitungsrohre im Bodenaufbau

Bei Umstellung des Systems auf Fußbodenheizung fällt die hohe Temperatur durch Heizungsrohre und Heizkörper weg und damit auch die beschleunigte thermische Bewegung der Luft. Dafür steigt jedoch über die gesamte Heizstrichfläche warme Luft auf und durchmischt so kontinuierlich die Raumluft. Sinnvollerweise werden die Heizschlangen an der kalten Außenwand enger verlegt und so mehr Heizenergie zu den Wänden und Fenstern hin verlagert.



Der Wechsel auf eine Fußbodenheizung löst zwar das Problem mit dem kalten Boden über einem Keller, aber naturgemäß werden Außenwände und Fensternischen mit weniger Wärme versorgt.

Hier sind bei besonders schlecht gedämmten Wänden Zusatzmaßnahmen wie Innendämmung (schafft leider wieder neue Probleme), zusätzlicher Heizkreis in der Wand oder eine Aufputz-Sockelheizung erforderlich.

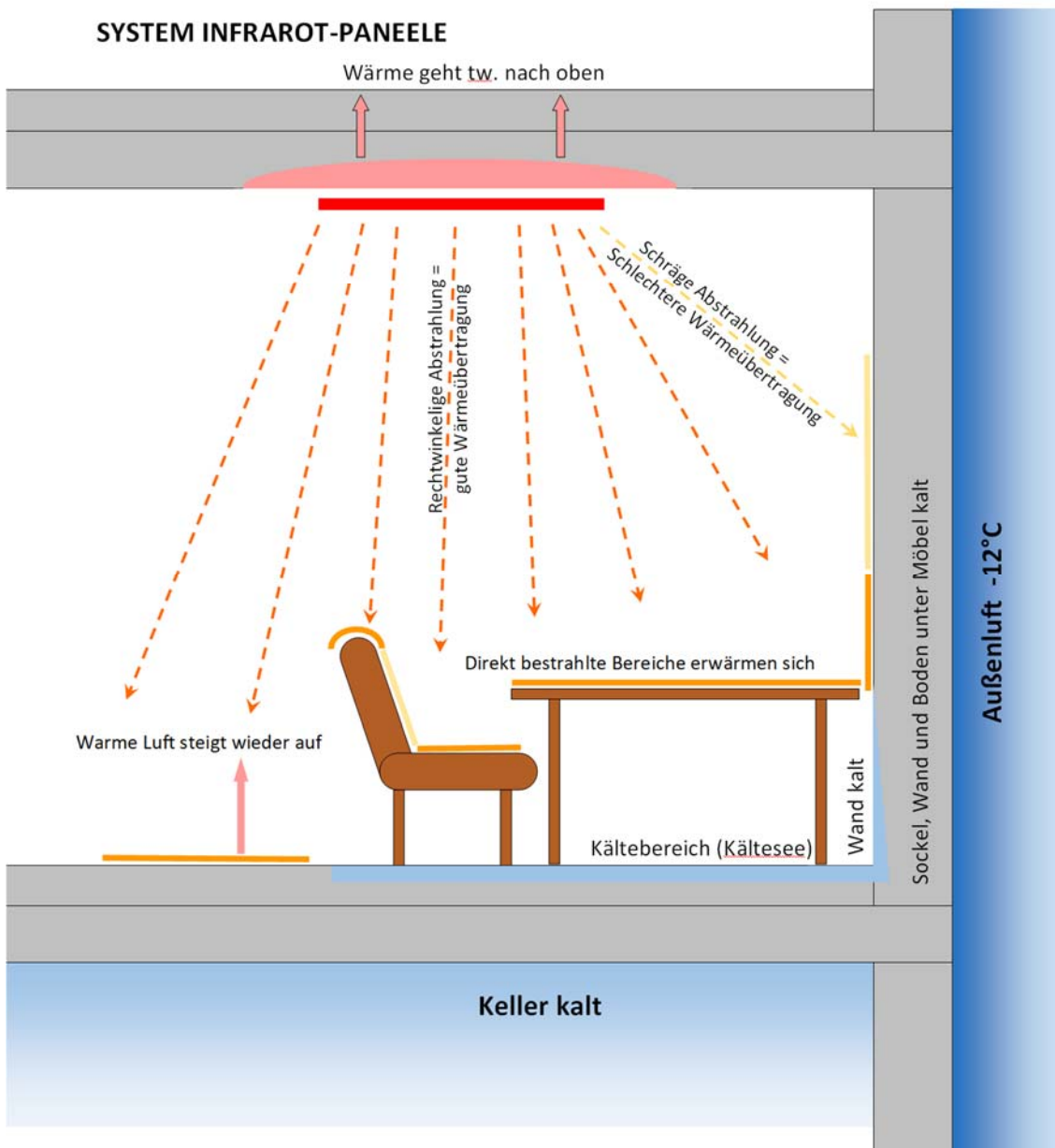
Abb.: Verteilung der Wärme im Raum und im Sockelbereich mit Heizstrich

Beim **Sonderfall Infrarot-Heizungen** wird die Sache **etwas komplizierter**. Investitionskosten sind sehr niedrig im Vergleich zu anderen Heizsystemen und grundsätzlich wäre die Idee, Strahlungswärme auszunutzen begrüßenswert, besonders wenn der Strom dafür z.B. aus einer PV-Anlage mit großem Stromspeicher stammt.

Die Umsetzung im Bestand (der außen nicht saniert wird oder aus Denkmalschutzgründen auch nicht verbessert werden darf) ist jedoch schwierig, da durch schlechte Dämmung die Außenbauteile besonders in Randbereichen abkühlen.

Der Plan durch Infrarot-Paneele alle Oberflächen gleichmäßig zu erwärmen, da die Strahlen immer weiter reflektiert werden funktioniert (wenn überhaupt ausreichend) nur mit sehr geringer Möblierung, da diese die Strahlen von den kalten Bauteilen - besonders im Sockelbereich - abhält.

Unter und hinter den Möbelstücken entstehen Kältebereiche zu denen denklogisch keine Wärme gelangen kann, da warme Luft sich nicht seitwärts sondern aufwärts bewegt. Weiters ist natürlich der Einbau der Paneele zu beachten, da herkömmliche Paneele durch eine Leistungsbegrenzung bei Hitzestau in ihrer Wärmeabgabe eingeschränkt werden können.



Eine Norm für die korrekte Anwendung ist zumindest in Deutschland seit Jahren in Planung aber bisher nicht erschienen. In diversen Leitfäden wird jedoch von einer Infrarot-Paneelheizung als Hauptheizung „eher“ abgeraten. Die Verwirrung ist hier insgesamt sehr groß. Jedenfalls ist eine umfassende Recherche anzuraten um hier nicht in eine unlösbare Situation hineinzugeraten.

Check durch Bauphysiker sinnvoll:

- Welche Bereiche werden durch die neue Heizung nicht mehr erwärmt?
- Sind zusätzliche Maßnahmen (Innendämmung, Begleitheizung,..) erforderlich?
- Wo verlaufen zukünftig die Heizungsrohre? Kann ich deren Verlauf ausnutzen um Problemstellen zu erwärmen?



Ing
Tucheslau Robert

CURRICULUM VITAE

Geschäftsführer
Fa. Monobeton GmbH

Eisteichstraße 20
2320 Schwechat

office@monobeton.at

Geboren 1955 in Wien, nach Absolvierung der Volksschule, Realgymnasium und HTL Leberstraße, Matura in Hochbau

Techniker im Hochbau bei der Fa. Stumvoll GmbH 1974-1978, Schulbauten für die Gemeinde Wien, Heizkraftwerk II ÖMV Schwechat

Bauleiter bei der Fa. Beton und Monierbau GmbH Wien 1978 – 1990, Wohnbauten in Wien, Teilbereiche U-Bahn Herrengasse, Führung der Tiefbauabteilung von 1986 – 1990 Kanalbauten in NÖ, Fernheizleitungen in Wien, Kanalumbauten in Wien 10, 15 und 17

Oberbauleitung und Kalkulationsabteilung Hochbau bei der Fa. Alpine Bau GesmbH von 1990 – 2003, Wohn- und Bürobauten in Wien, „Anna Grand Hotel“ Wien 1., U6-14 über die Donau, Hochhaus neue Donau und vieles mehr.

2003 – 2004 Fa. Willich Trockenbau Abteilungsleiter für Hotelausbau

2004 – 2021 Übernahme der Fa. Estriche Pfeiffer GmbH, LKH Tulln, LKH Klagenfurt Küche, Hauptbahnhof Wien, DC Tower mit 200m Höhe, Krankenhaus Nord mit 200.000 m² etc.

Seit 2009 Fa. Monobeton GmbH, Estriche und monolithische Platten für Industrieobjekte, Tankstellen, Lagerhallen, Fahrbahnen und Gehwege

Von 2005 – 2021 Vorstand im VÖEH (Verband der österr. Estrichhersteller) mit mehreren Publikationen und Fachvorträgen

Von 2012 – 2020 Experte im Normenausschuss der Austrian Standards

Estriche - Probleme in ihrer Dicke

Ing Tucheslau Robert, Geschäftsführer Fa. Monobeton GmbH, Eisteichstraße 20, 2320 Schwechat

Die PowerPoint Präsentation steht allen TeilnehmerInnen nach der Veranstaltung als Download zur Verfügung (www.bauphysik.at), weitere schriftliche Informationen finden sie in:

ÖNORM B 3732 Estriche - Planung, Ausführung, Produkte und deren Anforderungen (2016-12)

ÖNORM EN 13813 Estrichmörtel, Estrichmassen und Estriche - Estrichmörtel und Estrichmassen - Eigenschaften und Anforderungen (2003:02 bzw. 2017-03E)


Verschiedenste Unterlagen vom VÖEH (Verband der österreichischen Estrichhersteller, Eschenbachgasse 11, 1010 Wien, office@estrichverband.at, bzw. www.estrichverband.at):



Technische Merkblätter

Download:  Technisches Merkblatt 1.1 (Dampfbremsen).pdf (125.59 KB)

Download:  Technisches Merkblatt 2.1 Großformatige Fliesen).pdf (142.54 KB)

Download:  Technisches Merkblatt 3.2 (Verformungen bei Zementestrichen).pdf (227.44 KB)

Download:  Technisches Merkblatt 4.1 (Meterriss).pdf (1.44 MB)

Download:  Technisches Merkblatt 5.1 (Sichtestriche).pdf (2.12 MB)

Download:  Technisches Merkblatt 6.1 (Fugen).pdf (4.81 MB)

Anmerkung zu den Technischen Merkblättern:

Die Technischen Merkblätter des VÖEH sind nicht öffentlich zugänglich, sondern stehen nur den Mitgliedern (Hersteller, Industriepartner, Handel) zur Verfügung. Sollte es im Bereich der BauphysikerInnen reges Interesse an den Merkblättern geben, so wird man sich beim VÖEH um eine Lösung bemühen.

Verschiedenste Unterlagen vom VÖEH (Verband der österreichischen Estrichhersteller, Eschenbachgasse 11, 1010 Wien, office@estrichverband.at bzw. www.estrichverband.at):



Fachinfo (Fachartikel)

Fachtagungen, Know-how Austausch bei neuen Ö-Normen und Produktinformationen sind Schwerpunkte der VÖEH-Vereinsarbeit. Hier haben Sie Zugriff auf Fachinformation.

Verlegung von Parkettböden ohne nennenswerte Untergrundvorbereitung (!?)

Elastische Splittschüttungen im Holzbau

Regelwerk für & rund um den Schacht

Zeit- und lastabhängige Verformungen

Die Bedeutung der Schnittstellen unter den Ausbaugewerken

Zwangshöhen im Estrichbau

Einfluss der Ausgleichsfeuchte eines Zementestrichs auf seine Belegereife (Aus der Praxis eines Sachverständigen)

Der Heizestrich – Planung und Ausführung – das Koordinationsgespräch

Bodenebene Duschen und deren Einbauteile

Sonderkonstruktion Badezimmer mit Calciumsulfatestrich in Verbindung mit einem W4 Bereich

Die Anordnung von Dampfbremsen unter schwimmenden oder gleitenden Estrichen gemäß ÖNORM B3732:2016-12

Datenlogger - der kleine Helfer im Fußbodenbau

Höhenlagen bei Terrassentüren

Sichtestrich: mangelhafte Detailplanung, fehlende Warnhinweise und deren Folgen (Aus der Praxis eines Sachverständigen)

Meterriss: Wer ist verantwortlich für diese wichtige Sache am Bau?

Fugenplanung im Fußbodenbereich – ein umfangreiches Spektrum

Wichtige Aspekte der Fugenplanung (Aus der Praxis eines Sachverständigen)

Restfeuchtigkeit von Estrichen (CM/KRL-Methode)

Verlegung großformatiger Fliesen aus der Sicht des Estrichherstellers

Anmerkung zu den Fachinfos:

Die Fachinfos stehen auf der Homepage des VÖEH zum kostenlosen Download zur Verfügung.



CURRICULUM VITAE

M.Eng DI(FH)

Hendrik REICHELT

Forschung und Entwicklung

Kaufmann Bausysteme GmbH
Baiene 115
AT-6870 Reuthe

H.reichelt@kaufmannbausysteme.at

Geboren 1978 in Münster Westf. absolvierte seine Schulausbildung und Schreinerlehre in Kirchheim unter Teck und studierte danach an der FH Rosenheim, DI(FH) Holzbau und Ausbau. Im Rahmen eines weiterführenden Master Studiengangs im Bereich Holztechnik hat er insbesondere an der Reduktion von Schwingungen bei Holzdecken durch den Einsatz von Schwingungstilgern gearbeitet.

Im Anschluss and das Studium (von 2009 bis 2018) hat Herr Reichelt beim Elastomer Hersteller Getzner Werkstoffe GmbH sich um die Einführung von Sylomer und Sylodyn als Schallentkopplungslager im Holzbau engagiert.

Nach 10 Jahren in der Chemie Industrie ist Herr Reichelt zum Holzbau zurückgekehrt um bei der Firma Kaufmann Bausysteme GmbH seit 2018 spannende Aufgaben im Bereich Forschung und Entwicklung an zu gehen.

Holzmodulbauweise- Schalltechnische Analyse eines Gebäudes

Einfluss der Gebäudehöhe auf den Luft- und Trittschallschutz

DI(FH) Hendrik Reichelt, M.Eng., Kaufmann Bausysteme GmbH, 6870 Reuthe

1. Einleitung

Die Geschichte von KAUFMANN BAUSYSTEME beginnt mit Holz. Ganz natürlich. Statt von Innovation sprach man vor über 65 Jahren von Weiterentwicklung und von der bestmöglichen Nutzung des Werkstoffes Holz. Ganz im Sinne der Wirtschaftlichkeit und der Nachhaltigkeit. Daran hat sich bis heute nichts verändert.

Mit dem Projekt Hotel Ammerwald in Reutte, Österreich, gelang es 2009 das erste Großprojekt in Modulbauweise umzusetzen. Damit wurde der Startschuss für das serielle Bauen mit Holzmodulen gesetzt, wo zuvor der Holzmodulbau nur für kleine Anbauten oder Einzimmerappartments angewandt wurde. Weitere Projekte mit immer wiederkehrenden, gleichen Wohneinheiten für Hotels, Gesundheitszentren und Studentenwohnheimen konnten in der Folge umgesetzt werden. Mit dem Studentenwohnheim „Woodie“, einem 6-geschossigen Gebäude mit Brettsper Holz als sichtbares Material für die Tragstruktur, konnte das erste Holzgebäude in Gebäudeklasse 5 in Hamburg errichtet werden.



Abbildung 1: Hotel Ammerwald, Reutte; AT



Abbildung 2: Woodie; Hamburg; DE

Neben den, für sich als geschlossene Apartments, eingesetzten Raummodulen hat sich die Modulbauweise auch für die Herstellung von Wohnhäusern für Mehrzimmerwohnungen, sowie Schul- und Bürogebäuden etabliert. Das bisher größte von Kaufmann Bausysteme umgesetzte Bauprojekt ist das Bürogebäude auf dem Luisenblock West in Berlin. Das Bürogebäude (17.100 GBF) mit 400 Büros, bestehend aus 455 einzelnen Raummodulen, wurde in einer Bauzeit von weniger als 15 Monaten fertiggestellt und im Dezember 2021 an den Bauherrn übergeben.



Abbildung 3: Luisenblock West; Berlin; DE

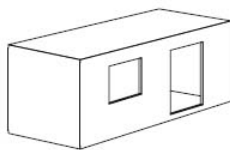
Alle diese seriell gefertigten Projekte sind für sich immer Prototypen gewesen, die für die Baugenehmigung den örtlichen Anforderungen an die Tragfähigkeit, den Brandschutz, die Energieeffizienz, ... und den SCHALLSCHUTZ entsprechen mussten.

Der Nachweis für die Erfüllung der Schallschutzanforderungen kann bisher in der Holzmodulbauweise nur über Bauschallmessungen vor Ort erbracht werden. Für einen rechnerischen Nachweis steht derzeit kein bauaufsichtlich eingeführtes Bemessungskonzept zur Verfügung. Das planerische Risiko für den Schallschutz liegt somit bei der ausführenden Firma. Um dieses Risiko für Kaufmann Bausysteme stetig zu minimieren werden schallschutzspezifische Fragestellungen bei laufenden Bauprojekten untersucht.

Bei dem Projekt Luisenblock West wurde der Einfluss der Geschoßhöhe auf den Luft- und Trittschallschutz der Geschoßdecken durch eine systematische Messreihe untersucht, die im vorliegenden Beitrag diskutiert wird.

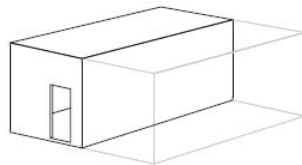
2. Besonderheiten der Raummodulbauweise in Bezug auf den Schallschutz

Die dreidimensionalen Raummodule werden bei Kaufmann Bausysteme ausschließlich in holzmassivbauweise errichtet und in einer Werkhalle vorgefertigt. Der Vorfertigungsgrad kann hierbei bis hin zu der fest installierten Möblierung ausgeweitet werden. Jedenfalls können alle Oberflächen, Anschlüsse und Installationen in hoher Qualität vorgefertigt und die Montagezeiten auf der Baustelle auf ein Minimum reduziert werden. Die Module werden für gewöhnlich als Quader ausgeführt und bestehen aus vier rechteckigen Wandelementen, einem Boden- und einem Deckenelement. Wird aus mehreren Modulen ein Raum errichtet, zum Beispiel für ein größeres Büro oder Klassenzimmer, so werden Wandelemente durch Träger und Stützen ersetzt.



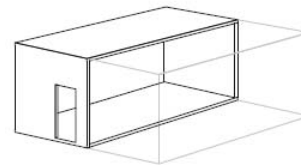
Einzelmodul
1 Raummodul = 1 Haus

Kleinwohnung, Büro,
Anbau, Ausstellungsraum



geschlossenes Modul
1 Raummodul = 1 Raum

Hotel, Pflegeheim,
Studentenheim



offenes Modul
x Raummodule = 1 Raum

Wohnbau, Schule,
Kindergarten, Büro

Abbildung 4: Module mit unterschiedlichen Öffnungen (Quelle: zuschnitt 67 Raumstapel S.6; proHolz Austria)

Durch die Fügung der Module auf der Baustelle zu einem Gebäude findet man im Gegensatz zum zweidimensionalen Elementbau immer „doppelte“ Trennwände und -decken, die zueinander einen bestimmten Abstand haben. Dies mag auf den ersten Blick zu Mehrkosten führen. Diese werden jedoch durch andere Vorteile, wie eine kurze Bauzeit kompensiert. Zusätzlich sind Vorsatzschalen meist überflüssig. Daraus resultiert, dass die Oberflächen der tragenden Trennwände und -decken optimaler Weise in Holzlichtoberflächen, allenfalls mit einem Anstrich, ausgeführt werden.

Die Mehrschaligkeit der Wände und Decken wirkt sich auf die Direktschallübertragung (durgezogene Linie) positiv aus. Das Fehlen von Vorsatzschalen ist für die Schallübertragung über die Schallnebenwege (gestrichelte Linie) bei den Decken von Nachteil. Aus diesem Grund werden übereinanderliegende Module auf Elastomerlager gestellt. Der Vergleich der Regeldetails der konventionellen Brettsperrholzbauweise in **Abbildung 5** und der Holzmodulbauweise in **Abbildung 6** verdeutlicht wie bedeutend das Elastomerlager für die Unterbindung der Schallübertragung über die Schallnebenwege ist.

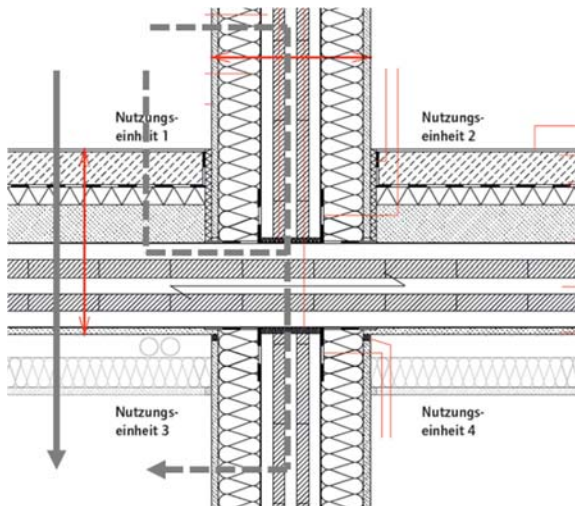


Abbildung 5: Knotendetail Holztafelbauweise
(Quelle: Bauteilfügung twmxgdm02
www.dataholz.eu)

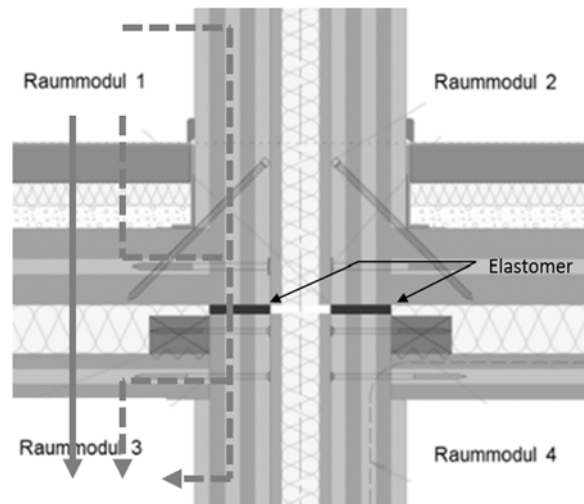


Abbildung 6: Knotendetail Holzmodulbauweise
(Quelle: Kaufmann Bausysteme)

Um eine optimale Entkopplung durch die Elastomerlager erzielen zu können, müssen diese aufgrund der vorherrschenden statischen Belastung nach ihrer statischen Belastbarkeit ausgewählt werden. Als Modell für die Auslegung der Lager wird das Prinzip des Ein-Massenschwingers herangezogen und die vorherrschende Eigenfrequenz f_0 bestimmt, die wiederum als Indiz für die Wirksamkeit der Entkopplung herangezogen wird. Auf die genaue Schwingungslehre wird an dieser Stelle nicht eingegangen. Die Eigenfrequenz f_0 ist bekanntermaßen proportional von der mitschwingenden Masse m (Gewicht der Module) und der Federsteifigkeit k (dyn. Steifigkeit des Elastomerlagers) abhängig. Dies bedeutet, dass mit steigender Auflast die Steifigkeit des Elastomerlagers erhöht werden kann um die gleich Abstimmfrequenz zu erhalten. In der Baupraxis werden in einem Gebäude deshalb je Etage unterschiedlich steife Lager eingebaut, von **weicher** oben nach **steifer** unten.

Ob diese Theorie des Ein-Massenschwingers auf die Holzmodulbauweise anzuwenden ist wurde mit der im Folgenden diskutierten Messreihe untersucht.

3. Beschreibung der Messreihe am Bürogebäude Luisenblock West

Der Luisenblock West ist ein 7-geschossiges Bürogebäude (EG + 6 OG) in Massivholzmodulbauweise das in einer H-Form orientiert ist. An dem Erschließungskern in Beton-Massivbauweise (Querstich im H) schließen die Holzmodule in alle vier Richtungen an.

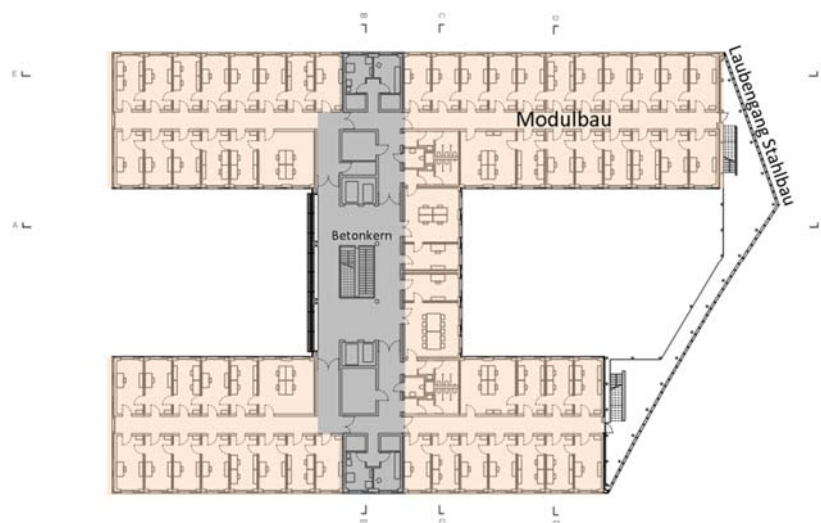


Abbildung 7: Grundriss Luisenblock West

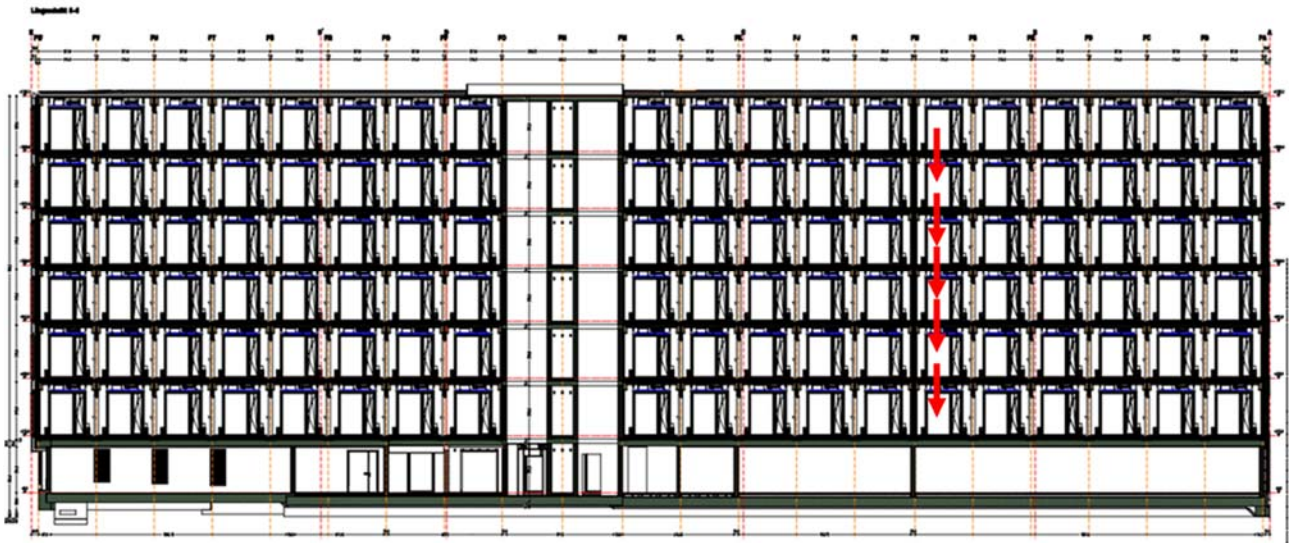


Abbildung 8: Längsschnitt Luisenblock West

Zur Untersuchung des Einflusses der Gebäudehöhe auf den Luft- und Trittschallschutz in der Geschößtrennung wurden insgesamt 44 Trittschallmessungen und 14 Luftschallmessungen an jeweils übereinanderliegende Büros durchgeführt (Siehe ↓ in Abbildung 8). Bei der Auswahl der übereinanderliegenden Räume für die Schallmessung wurde darauf geachtet, dass Module mit unterschiedlicher Orientierung im Gebäude ausgesucht wurden.

3.1. Auswertung Trittschallmessungen

Für die Trittschallmessungen wurde an 7 Positionen (vgl. Abbildung 9) übereinanderliegenden Räumen vom 6. bis zum 1.(wo möglich auch ins EG) ausgewählt.



Abbildung 9: Positionen der Trittschallmessungen

- TS .233 Büro als Eckmodul mit Anschluss an die Fluchttreppe
- TS .277 Büro als Modul mit Anschluss an die Brandwand
- TS. 241 Büro aus zwei Modulen mit Anschluss an Beton Kern
- TS. 338 Büro aus zwei Modulen mit Anschluss an Beton Kern
- TS. 330 Büro als Modul zwischen anderen Modulen
- TS. 335 Büro als Modul zwischen anderen Modulen
- TS .333 Büro als Eckmodul

Zusätzlich wurden zur Kontrolle auch noch Stichprobenmessungen an anderer Stelle im Gebäude gemacht.

Für die Auswertung der Messergebnisse wurden folgende Vergleiche angestellt und auf den Einfluss der Geschosshöhe geachtet.

1. TS .233 mit TS .333 und TS .277
2. TS .330 mit TS .335
3. TS .241 mit TS .338
4. TS .233, .277, .330, .333, .335 mit TS .241, .338

Beispielhaft wird an dieser Stelle die Auswertung für den ersten Vergleich dargestellt.

Tabelle 1: Einzahlwerte Trittschallmessungen Position .233

Messung	M-Nr.	Senderraum (SR)	SR Stockwerk	SR Volumen	Empfangsraum m (ER)	ER Stockwerk	ER Volumen	Fläche Trennbau teil	Lage der Räume zueinander	L'nT,w	L'nT,w+Ci	L'nT,w+Ci50
TS 001	6.233	6	51 m³	5.233	5	49 m³	18 m²	übereinander	39	41	49	
TS 002	5.233	5	49 m³	4.233	4	49 m³	18 m²	übereinander	40	42	47	
TS 003	4.233	4	49 m³	3.233	3	49 m³	18 m²	übereinander	42	42	49	
TS 004	3.233	3	49 m³	2.233	2	49 m³	18 m²	übereinander	39	41	49	
TS 005	2.233	2	49 m³	1.233	1	49 m³	18 m²	übereinander	41	42	48	
TS 006	1.233	1	49 m³	0.233	0	49 m³	18 m²	übereinander	41	42	47	
						Anzahl	6	Mittelwert	40,3	41,7	48,17	
								Max	42	42	49	
								Min	39	41	47	
								Standardabw.	1,21	0,52	0,983	

Tabelle 2: Einzahlwerte Trittschallmessungen Position .333

Messung	M-Nr.	Senderraum (SR)	SR Stockwerk	SR Volumen	Empfangsraum m (ER)	ER Stockwerk	ER Volumen	Fläche Trennbau teil	Lage der Räume zueinander	L'nT,w	L'nT,w+Ci	L'nT,w+Ci50
TS 028	6.333	6	51 m³	5.333	5	49 m³	18 m²	übereinander	39	41	49	
TS 031	5.333	5	49 m³	4.333	4	49 m³	18 m²	übereinander	42	43	50	
TS 039	4.333	4	49 m³	3.333	3	49 m³	18 m²	übereinander	42	43	49	
TS 042	3.333	3	49 m³	2.333	2	49 m³	18 m²	übereinander	42	44	50	
TS 045	2.333	2	49 m³	1.333	1	49 m³	18 m²	übereinander	40	41	48	
						Anzahl	5	Mittelwert	41	42,4	49,2	
								Max	42	44	50	
								Min	39	41	48	
								Standardabw.	1,41	1,34	0,837	

Tabelle 3: Einzahlwerte Trittschallmessungen Position .333

Messung	M-Nr.	Senderraum (SR)	SR Stockwerk	SR Volumen	Empfangsraum m (ER)	ER Stockwerk	ER Volumen	Fläche Trennbauteil	Lage der Räume zueinander	$L'_{nT,w}$	$L'_{nT,w}+CI$	$L'_{nT,w}+CI50$
TS 007	6.227	6	51 m ³	5.227	5	49 m ³	18 m ²	übereinander	●	38	40	48
TS 008	5.227	5	49 m ³	4.227	4	49 m ³	18 m ²	übereinander	●	39	42	51
TS 009	4.227	4	49 m ³	3.227	3	49 m ³	18 m ²	übereinander	●	42	43	50
TS 010	3.227	3	49 m ³	2.227	2	49 m ³	18 m ²	übereinander	●	41	42	49
TS 011	2.227	2	49 m ³	1.227	1	49 m ³	18 m ²	übereinander	●	42	43	50
						Anzahl	5	Mittelwert		40,4	42	49,6
								Max		42	43	51
								Min		38	40	48
								Standardabw.		1,82	1,22	1,14

Vergleicht man den Standard Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ dieser 16 Trittschallmessungen sieht man, dass zwischen dem maximalen Wert mit 42 dB und dem minimalen Wert von 38 dB gerade mal 4 dB unterschied sind. Eine Tendenz, dass die Gebäudehöhe eine Rolle spielt, kann aus diesen Messungen nicht abgeleitet werden. Die gleichen Erkenntnisse konnten bei den Vergleichen 2. bis 4. auch festgestellt werden.

3.2. Auswertung der Luftschallmessungen

Für die Luftschallmessungen wurde an 2 Positionen übereinanderliegender Räume vom 6. bis zum 1.(wo möglich auch ins EG) ausgewählt:

- LS. 335 Büro als Modul zwischen anderen Modulen
- LS. 241 Büro aus zwei Modulen mit Anschluss an Beton Kern

Zusätzlich wurden noch Stichprobenmessungen an anderer Stelle im Gebäude gemacht (LS . 227 und LS .330)

**Abbildung 10:** Positionen der Trittschallmessungen

Der Vergleich aller 14 Luftschallmessung (siehe Tabelle 4) zeigt für die bewertete Standard – Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ einen maximalen Wert mit 65 dB und einen minimalen Wert von 57 dB. Die Messungen liegen somit bis zu 8 dB auseinander.

Tabelle 4: Einzahlwerte Luftschallmessungen

Messung	M-Nr.	Senderraum (SR)	SR Stockwerk	SR Volumen	Empfangsraum m (ER)	ER Stockwerk	ER Volumen	Fläche Trennteil	Lage der Räume zueinander	$D_{nT,w}$
LS 020	6.241	6	106 m ³	5.241	5	101 m ³	37 m ²	übereinander	65	
LS 036	6.330	6	51 m ³	5.330	5	49 m ³	18 m ²	übereinander	62	
LS 050	5.241	5	101 m ³	4.241	4	101 m ³	37 m ²	übereinander	57	
LS 053	5.335	5	49 m ³	4.335	4	49 m ³	18 m ²	übereinander	63	
LS 052	5.330	5	49 m ³	4.330	4	49 m ³	18 m ²	übereinander	65	
LS 051	5.227	5	49 m ³	4.227	4	49 m ³	18 m ²	übereinander	60	
LS 056	4.241	4	101 m ³	3.241	3	101 m ³	37 m ²	übereinander	61	
LS 057	4.330	4	49 m ³	3.330	3	49 m ³	18 m ²	übereinander	60	
LS 058	3.241	3	101 m ³	2.241	2	101 m ³	37 m ²	übereinander	61	
LS 062	3.330	3	49 m ³	2.330	2	49 m ³	18 m ²	übereinander	59	
LS 059	3.227	3	49 m ³	2.227	2	49 m ³	18 m ²	übereinander	59	
LS 063	2.241	2	101 m ³	1.241	1	101 m ³	37 m ²	übereinander	59	
LS 064	2.330	2	49 m ³	1.330	1	49 m ³	18 m ²	übereinander	59	
LS 065	1.241	1	101 m ³	0.241	0	101 m ³	37 m ²	übereinander	58	
						Anzahl	14	Mittelwert	60,57	
								Max	65	
								Min	57	
								Standardabw.	2,441	

Es ist eine leichte Tendenz erkennbar, dass bei den Luftschallmessungen der Schallschutz in den oberen Geschossen etwas besser ist als in den unteren, wobei die schlechteste Schallpegeldifferenz in einem Büro zwischen dem 5. und 4. Obergeschoss gemessen wurde.

4. Schlussfolgerung

Die Frage ob die Geschöshöhe auf den Luft- und Trittschallschutz in einem Modulgebäude von Kaufmann Bausysteme einen Einfluss hat konnte teilweise geklärt werden.

Die Ergebnisse der Trittschallmessungen haben gezeigt, dass der Einfluss der Geschöshöhe auf die Qualität des Trittschalls keinen signifikanten Einfluss hat.

Im Bereich des Luftschallschutzes kann eine Tendenz erkannt werden, dass die Gebäudehöhe einen Einfluss auf die Schalpegeldifferenz hat. Um die Ursache für diese Tendenz zu ermitteln müssen im Weiteren die Messkurven Frequenzweise miteinander Verglichen werden. Ob eine derartige Streuung in anderen Gebäuden auch vorzufinden ist entzieht sich dem Kenntnisstand des Autors.

Der Autor hofft im Rahmen der Diskussion mit dem Plenum hier weiter Impulse für die Analyse der Daten zu bekommen.

CURRICULUM VITAE



DI
Hannes VEITSBERGER

Ziviltechniker für Bauwesen
Allgemein beeideter gerichtlich zertifizierter Sachverständiger

normconsult ZT GmbH
Hainersdorf 6
8264 Hainersdorf

veitsberger@normconsult.at



DDI
Christoph TITZ

Area Sales Manager

Getzner Werkstoffe GmbH
Herrenau 5
6706 Bürs

christoph.titz@getzner.com

Fitnessstudios Trittschall XXL

DI Hannes Veitsberger, normconsult ZT GmbH, 8264 Hainersdorf
DDI Christoph Titz, Getzner Werkstoffe GmbH, 6706 Bürs

1 Einleitung

Der im innerstädtischen Bereich von Stadtplanern und Politik gewünschte Nutzungsmix in bestehenden Gebäuden wirft vermehrt Fragen hinsichtlich der schalltechnischen Ausformung von betrieblichen Anlagen in einem solchen Umfeld auf.

Insbesondere im dichteren Stadtkern und innerhalb der größeren Städte wird die Erdgeschosszone vermehrt wieder einer Nutzung für Gewerbebetriebe zugeführt. Daraus ergibt sich insbesondere bei direkt angrenzender Wohnnutzung und entsprechender zeitlicher Überschneidung insbesondere im Hinblick auf das Schutzziel Schlafen mit den Betriebszeiten der betrieblich genutzten Räume ein großes Konfliktpotenzial.

Für diesen speziellen Vortrag wurde ein Sonderfall aus einem solchen Nutzungskonflikt herangezogen. In den letzten Jahren waren von der normconsult ZT GmbH vermehrt Fälle von Nutzungsänderungen von bestehenden Räumen in der Erdgeschoss- und Kellergeschoßzone von Gründerzeitgebäuden in Fitnessstudios bearbeitet worden. Die üblicherweise in Fitnessstudios vorhandenen ortsfesten Cardio-Geräte wie Laufbänder, Stepper und stationäre Spinning Bikes sind dabei eher unproblematisch da sie in den gewerblichen Ausführungen der Anlagen mit vorkonfektionierten, werkseitig installierten Elastomerlagern entkoppelt sind.

Diese Arbeit soll nun Wege aufzeigen, wie mit üblichen Kategorien von Fitnessstudios und den damit verbundenen schalltechnischen Belastungen umgegangen werden kann. Diese Ausarbeitung stellt einen Diskussionsbeitrag für eine fachliche Auseinandersetzung dar. Wir würden uns freuen, wenn wir einen neuen Meinungsaustausch sowohl mit Kollegen in den Ämtern, als auch mit Fachkollegen aus dem Planungsbereich führen können.

Im Bereich der freien Gewichte ist eine Kontrolle der Bewegungen sowie die damit verbundene Belastung der Baukonstruktionen nicht werkseitig herstellbar. Üblicherweise wird von den Betreibern der Fitnessstudios in diesen Fällen im Bereich der freien Gewichte mit Fallschutzmatten und entsprechenden Sportböden gearbeitet.

In der Projektentwicklung, speziell im Zuge der Genehmigungsverfahren mit den Kollegen in den Ämtern, wurde für die normconsult ZT GmbH offensichtlich, dass speziell die freien Gewichte als stark störungsträchtig angesehen werden. Aus den Gesprächen mit den Amtskollegen konnte keine Anforderung spezifiziert werden, die mit einer herkömmlichen Baukonstruktion umsetzbar ist. Die gestellte Anforderung, dass bei den fallenden Gewichten die Spitzenpegel im Bereich des Grundgeräuschpegels bzw. dem äquivalenten Dauergeräuschpegel liegen müssten, stellt für übliche Baukonstruktionen eine (zu?) hohe konstruktive Anforderung dar.

Da insbesondere für unterschiedliche Kategorien von Fitnessstudios keine definierten Nutzungsbedingungen für den Freihantelbereich bestehen, wird bisher von einer Maximalbelastung der fallenden Gewichte ausgegangen.

Warum ist es wichtig, den Bodenaufbau im Fitnesscenter korrekt auszuführen und richtig zu planen? Einerseits muss das Thema Körperschall betrachtet werden. Darauf wird später noch ausführlich eingegangen. Andererseits darf man nicht auf die Auswirkungen fallender Gewichte unter einem Deckbelag vergessen. Immer wieder kommt es zu Schadensbildern wie diesen:



Abbildung 1: Estrichkonstruktion 2 Monate alt unter Freigewichtsbereich

Um derartige Schäden zu vermeiden, muss das verwendete Material des Belages im Hinblick auf Steifigkeit, Dicke und Dämpfungsverhalten so abgestimmt sein, dass zum einen der Estrich keinen Schaden nimmt und zum anderen möglichst viel Stoßenergie absorbiert und dadurch nur wenig Schwingungsenergie ins Bauwerk eingetragen wird, sodass das fallende Gewicht weit genug eindringen kann, um elastisch abgefedert zu werden, aber gleichzeitig ein Durchschlagen auf den Estrich verhindert, welches in weiterer Folge auch ein schalltechnisches Problem darstellen kann.

2 Anforderungen / Grenzwerte

Auf Störungen aus Schallpegelspitzen gehen verschiedene Normen und Richtlinien ein. So wird in der ÖAL RL 6/18 „Die Wirkungen des Lärms auf den Menschen / Beurteilungshilfen für den Arzt“ speziell auf die Bedeutung der Schallpegelspitzen für Schlafstörung hingewiesen. Dabei werden bis zu einem maximalen Schalldruckpegel ($L_{A,max,innen}$) von 35 dB Effekte wie vermehrte Körperbewegungen, EEG-Arousals und einzelne strukturelle Veränderungen der Schlafstadien angegeben. Zwischen 35 bis 42 dB werden verlängerte Einschlafphasen, vermehrte bewusste Weckreaktionen und eine Verkürzung der Gesamtschlafdauer angeführt.

Die ÖNORM S 9012 „Beurteilung der Einwirkung von Schwingungsimmissionen des landgebundenen Verkehrs auf den Menschen in Gebäuden; Schwingungen und sekundärer Luftschall“ gibt Richtwerte für mittlere A-bewertete Maximalpegel für ausreichenden Schallschutz und guten Schallschutz in Abhängigkeit der Gebietskategorie und der Tageszeit an. Dabei sind für jede Zug- oder KFZ-Gattung die Mittelwerte der gemessenen Maximalpegel jeder Zugvorbeifahrt zu bestimmen. Der Maximalwert der Mittelwerte aller Zuggattungen ist dem Grenzwert gegenüberzustellen. Die ÖNORM S 9012 sieht für die Gebietskategorien 1 (Ruhegebiet, Kurgebiet) bzw. 4 (Kerngebiet mit Büros, Handel, Wohnungen...) Richtwerte des mittleren A-bewerteten Maximalpegels von 35 dB bzw. 45 dB von 6:00 Uhr bis 22:00 Uhr für ausreichenden Schallschutz vor. In den Nachtstunden werden die mittleren A-bewerteten Maximalpegels von 30 dB bzw. 40 dB für einen ausreichenden Schallschutz angegeben.

Die ÖNORM B 8115-2:2021 definiert die zugrundeliegende Methodik der Ermittlung von Schutzziele hinsichtlich der Schallpegelspitzen in folgender Weise:

Bei Schallübertragung in Gebäuden darf der kennzeichnende Spitzenpegel $L_{A,sp}$ den Planungsbasispegel L_{PB} um nicht mehr als 10 dB überschreiten.

3 Messungen

3.1 Labor

Da es bislang keine Rechenmodelle für Hantelgewichte gibt, welche einen Schallpegel ableiten ließen, hat die Firma Getzner ein umfangreiches Prüfprogramm durchgeführt. Hierbei wurden unterschiedliche Gewichte von verschiedenen Fallhöhen geprüft und schwingungs- sowie schalltechnisch ausgewertet. Diese Untersuchungen stellen in weitere Folge die Basis für eine mögliche Prognoserechnung dar.

Für die Planungssicherheit des Betreibers und des Bauphysikers, der eine Prognose erstellt, empfiehlt es sich dabei, die Fallversuche möglichst genau zu definieren, da sich bei den Versuchsserien der Firma Getzner gezeigt hat, dass Formen der Fallgewichte bzw. der Winkel, in welchem Hanteln abgeworfen wurden, einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis haben können. Für eine bessere Vergleichbarkeit von Versuchen wäre es allerdings empfehlenswert, verschiedene Fallgewichte zu definieren, die zu reproduzierbaren Ergebnissen führen und die eine sichere Durchführung der Versuche erlauben (kein seitliches Wegspringen). Vorstellbar wären kompakte Stahlgewichte mit runden Aufschlagsflächen.

Ebenfalls sollten Versuche, sowohl im Labor als auch in-situ mehrmalig wiederholt werden, um der Streuung dieser sehr kurzen Einzelereignisse möglichst gerecht zu werden.



Abbildung 2: Gewicht zur Erzeugung hoher Fallenergie



Abbildung 3: Kurzhantel, Fall in 90° Stellung

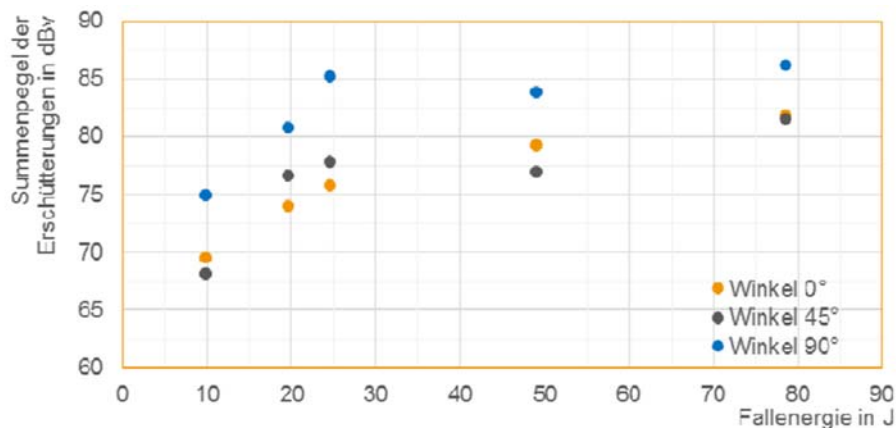


Abbildung 4: Gegenüberstellung der Summenpegel der Erschütterung bei unterschiedlichen Winkelstellung der Kurzhanteln auf dem handelsüblichen Sportbodenbelag

Für die Versuche mit Kurzhanteln wurden die Ergebnisse bei verschiedenen Winkelstellungen verglichen (0° Position = horizontale Haltung und damit Gewichte auf gleicher Höhe, um 45° gedrehte Position und um 90° gedrehte Position, Letzteres wie in Abbildung 3 ersichtlich). Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, liegen die Summenpegel der Fallversuche mit 90° Position im Mittel um 5,0 dB über dem Mittel der Pegel der Versuche mit der 0° Position und der 45° Position. Die 90° Position stellt also den ungünstigsten Fall dar.

Bei den Kurzhantelversuchen mit 0° und 45° Position trat zudem die Herausforderung auf, dass die Hanteln je nach Bodenaufbau mehr oder weniger unkontrolliert zur Seite wegsprangen, was bei zunehmenden Gewichten eine erhebliche Verletzungsgefahr für die Prüfer darstellte. Auch hier zeigte sich, dass die hochdämpfende Wirkung einzelner Schichten der g-fit Shock Absorb Aufbauten dieses seitliche Wegspringen stark reduzierte und damit die Sicherheit der zukünftigen Athleten erhöht wird.

Die Auswertung zeigte auch, dass bei gleicher Fallenergie die Schalldruckpegel bei Kurzhanteln im Mittel um ca. 5 dB(A) höher lagen als die Werte der Langhantelgewichte. Begründet liegt dies in der unterschiedlichen Form der Hanteln: die Langhantelgewichte haben einen relativ großen Radius und damit eine größere Lastverteilungsfläche als die Kurzhanteln, wenn sie mit der Seitenfläche aufkommen.

3.2 Messungen in-situ

Grundlagen: Im Zuge verschiedener Projektbearbeitungen wurden speziell zur Feststellung der schalltechnischen Belastungen von fallenden Gewichten mehrere Messkampagnen durchgeführt. Die Messkampagnen wurden in Gründerzeitgebäuden im Bereich der Kellerzone sowie der Erdgeschosszonen durchgeführt.



Abbildung 5: Ansicht Messkampagne 1 (Quelle: StreetView)



Abbildung 6: Ansicht Messkampagne 2 (Quelle: StreetView)

In einer ersten Messkampagne wurden im Kellerbereich eines bestehenden Gründerzeitgebäudes auf einem speziell angefertigten Podest aus Holzplatten auf Gummilagern nach den Spezifikationen des Betreibers des Fitnessstudios Gewichte aus einer Höhe von bis zu 1,70 m und einer Masse von bis zu 50 kg fallen gelassen. In einem Aufenthaltsraum im Nebengebäude im ersten Obergeschoss sowie im Erdgeschoss wurden Empfangsmessungen durchgeführt.

Aus den abfallenden Gewichten auf die zuvor beschriebene Podestkonstruktion auf einen schwimmend gelagerten Estrich mit 50 mm Trittschalldämmplatte aus Glaswolle eines renommierten Herstellers konnten folgende Schallpegelspitzen festgestellt werden:

	Olympic	Kettle	Kurz	Szenario
OG1 Kabinett	52,3	41,2	49,5	Abwurf aus Kniehöhe keine Zusatzelemente
OG1 Kabinett	45,3	38,1	47,0	Absetzen keine Zusatzelemente
OG1 Kabinett	42,0	37,2	44,6	Abwurf aus Kniehöhe Weight Layer
OG1 Kabinett	39,9	32,4	41,3	Absetzen Weight Layer
OG1 Kabinett			42,6	Abwurf aus Kniehöhe Matte
OG1 Kabinett			37,1	Absetzen Matte
OG1 Kabinett			43,2	Abwurf aus Kniehöhe Weight Layer und Matte
OG1 Kabinett			37,6	Absetzen Weight Layer und Matte
OG1 Küche			48,8	Abwurf aus Kniehöhe keine Zusatzelemente
OG1 Küche			43,8	Absetzen keine Zusatzelemente
OG1 Küche			42,1	Abwurf aus Kniehöhe Weight Layer
OG1 Küche			35,2	Absetzen Weight Layer
OG1 Küche			35,9	Abwurf aus Kniehöhe Matte
OG1 Küche			33,8	Absetzen Matte
OG1 Küche			36,2	Abwurf aus Kniehöhe Weight Layer und Matte
OG1 Küche			31,2	Absetzen Weight Layer und Matte

In einer zweiten, größeren Messkampagne wurden an einem ähnlich strukturierten Gebäude ebenfalls aus der Erdgeschoss- und Kellerzone Schallpegelmessungen in das erste Obergeschoss des betreffenden Gebäudes durchgeführt. Bei dieser Messkampagne wurde auf den bestehenden Unterböden eine Estrichkonstruktion durch den Einsatz von einer Trittschalldämmplatte und aufgelegten Terrassenplatten simuliert. Auf diese „Estrichplatte“ wurden unterschiedlichste Sportböden mit teilweise Elastikunterlagen aufgebracht. Aus dieser Messkampagne zeigte sich das nachfolgende Ergebnis:

Bei dieser zweiten Messkampagne wurden Gewichte zwischen 20 und 25 kg in etwa aus Hüfthöhe von 70 cm fallen gelassen.



Abbildung 7: untersuchtes Gewicht



Abbildung 8: Fallhöhe der Gewichte



Abbildung 9: untersuchter, simulierter, Bodenaufbau



Abbildung 10: untersuchter Bodenaufbau Variante

Es zeigt sich, dass die Schallpegelspitzen aus den fallenden Gewichten insbesondere bei sehr ruhiger Umgebungssituation, wie sie im hofseitigen Raum der Messkampagne zwei festgestellt werden kann, bei den hier untersuchten Fallenergien deutlich wahrnehmbar sind. Erst durch eine Verlängerung des Übertragungsweges über ein zusätzliches Geschoss und entsprechenden Umgebungserauschpegel können aus subjektiver Betrachtung der Messungen die Spitzen aus den fallenden Gewichten bei den hier eingesetzten Fallenergien nicht mehr wahrgenommen werden. Die bei der Messung festgestellten ortsüblichen Verhältnisse waren dabei im straßenseitigen Raum (Empfangsraum für die Messung Kellergeschoß Obergeschoß 1) $L_{A,eq} = 29,2$ [dB] $L_{A,95} = 22,1$ [dB] und für den hofseitigen Raum (Empfangsraum für die Messungen Erdgeschoß – Obergeschoß 1) $L_{A,eq} = 24,6$ [dB] $L_{A,95} = 21,8$ [dB]. Aus den untersuchten Gewichts- und Aufbaukombinationen konnten die folgenden Spitzenpegel bestimmt werden.

	Bodenbelag Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Kettle Bell 20 kg aus 70 cm	EG – OG1	52	47	43	42	47	47	40	47	46	40	39	41	41	36	39	37	38	35	35	42	41	41	37
	KG – OG 1	41	36	33	32	34	35	33	38	36	33	31	33	31	33	33	33							

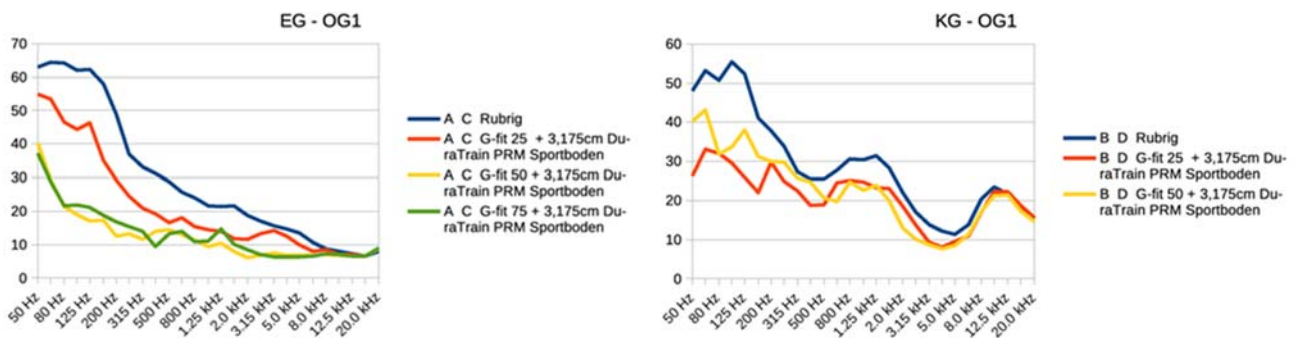


Abbildung 11: Spitzenauswertung Frequenzen EG-OG1 Abbildung 12: Spitzenauswertung Frequenzen KG-OG1

Aus den durchgeführten messtechnischen Untersuchungen kann gesagt werden, dass für eine Verminderung von Störungen aus dem Betrieb von Fitnessstudios und dabei insbesondere die Freihandbereiche sowohl eine betriebliche als auch eine bautechnisch/konstruktive Lösung angestrebt werden muss.

3.3 Schlussfolgerung

Für eine bessere Vergleichbarkeit von Versuchen und Produkten wäre es empfehlenswert, ein „Standardgewicht“ als Fallgewicht zu definieren, das zu reproduzierbaren Ergebnissen führt und eine sichere Durchführung der Versuche erlaubt (kein seitliches Wegspringen). Zu empfehlen sind kompakte Stahlgewichte mit runden und flachen Aufschlagsflächen oder z.B. einer Kettlebell (ein Gewicht mit einer flachen Aufstandsfläche und seitlichen Rundungen).

Aus den durchgeführten Messserien hat sich gezeigt, dass die reproduzierbarsten Messergebnisse bei Einsatz von Langhanteln oder Kettlebells erzielt werden und es wird empfohlen, Messungen im Rahmen von Untersuchungen auch mit diesen durchzuführen. Messungen mit Kurzhanteln und 90° Stellung bieten dagegen eine auf der Sicherer Seite liegende Alternative. Damit kann im tatsächlichen Betrieb von einem geringeren Geräuschniveau als bei den Messungen ausgegangen werden.

4 Vorschlag zur Nutzungsbeschreibung von Fitnessstudios

Für den Betrieb eines Fitnessstudios, insbesondere für die freien Gewichte, ergeben sich aus in den Kapiteln 2 und 3 angeführten Grundlagen für die zu erwartenden Emissionen und den anzusetzenden Anforderungen eine große Bandbreite an Nutzungsszenarien und Anforderungswerten. Aus Sicht der Verfasser wäre die Anwendung der Richtwerte der ÖNORM S 9012 eine taugliche Festlegung, um im Hinblick auch auf andere Störungen ähnlicher Ausprägung (Fahrzeugverkehr) einen ausreichenden oder guten Schallschutz zu erzielen. Für die in dieser Arbeit speziell untersuchte Nutzung der Fitnessstudios im Kerngebiet der Kategorie 4 würde das Maximalpegel zwischen 35 und 40 dB bedeuten.

Aus den angestellten Untersuchungen wurde aufgezeigt, dass für verschiedene Nutzungsszenarien (unterschiedliche Fallhöhen, unterschiedliche Gewichte, unterschiedliche Hantelformen) deutlich unterschiedliche Emissionen und Immissionen zu erwarten sind.

Aus den oben angeführten Untersuchungen zeigt sich, dass die Einhaltung von verträglichen immissionsseitigen Schallpegel-Spitzenpegeln nur aus einer Kombination aus Nutzung und konstruktionstechnischen Ansätzen möglich wird.

Aus der Erfahrung mit unterschiedlichen Betreibern von Fitnessstudios wird vorgeschlagen, die Fitnessstudios in drei Kategorien einzuteilen, um den üblichen Nutzungen Rechnung tragen zu können. Aus dieser Kategorisierung der Fitnessstudios können für die schalltechnischen Belastungen in Gebäuden die nachfolgenden Belastungen angesetzt werden.

Tabelle 1: Typologie Fitnessstudios / Nutzungsbedingungen

Typ/Klasse	Tätigkeit	schalltechnische Belastung
Fitness 1 (Body Styling):	geringer Umfang von Gewichten, geringe Gewichte < 30 kg, besonderes Augenmerk auf kontrollierte Bewegungen und Anweisung die Gewichte nicht fallenzulassen	Abstellen Gewicht 30 kg aus 5 cm
Fitness 2 (sportlich,...):	normaler Umfang von Gewichten, übliche Gewichte ~ 30 kg, Gewichte können z.B. 1x am Tag fallen gelassen werden	Gewicht 30 kg aus 50 cm
Fitness 3 (Olympisch):	alle Gewichte, Reißen und Stoßen / Stemmen bis zum Drop (freies Fallenlassen)	Gewicht 200 kg aus 200 cm

5 Maßnahmen

Für eine schalltechnische Bearbeitung von freien Gewichten im Rahmen von gewerblich genutzten Fitnessstudios wird aus den angestellten Untersuchungen folgende Vorgangsweise grundsätzlich erforderlich sein:

- Festlegen Typ / Klasse des Fitnessstudios mit dem Betreiber
 - In der Diskussion mit dem Betreiber des Fitnessstudios und dem Schallexperten ist die Typologie des Fitnessstudios entsprechend oder in Anlehnung an Tabelle 1: Typologie Fitnessstudios / Nutzungsbedingungen festzulegen.
- In-situ Messungen mit Fallenergien der entsprechenden Typen / Klassen auf den Rohböden bzw. simulierten Aufbauten.
 - Durchführung eines Fallversuchs mit mittlerer Fallenergie (bzgl. der beabsichtigten Nutzung) auf eines der Produkte in der Datenbasis und Messung des Schalldruckpegels im Empfangsraum für alle Terzwerte des relevanten Frequenzbereichs.
 - Dabei kann jeweils der Mittelwert der Maximalpegel aus mehreren Fallversuchen bestimmt wird und dann der mit den Grenzwerten gegenübergestellt wird.
 - Erstellung einer Datenbasis für verschiedene Produkte durch Fallversuche (siehe beispielhafte Darstellung in Abbildung 12 und Abbildung 13)
 - Messungen im darunter bzw. darüber liegenden Raum für Fallversuche im KG bzw. in einem OG
 - Versuche idealerweise mit genormten Fallgewichten bei Abwurf aus unterschiedlicher Höhe und mit unterschiedlicher Fallenergie
 - Erstellung von Diagrammen des gemessenen Schalldruckpegels in Abhängigkeit der Fallenergie und der Frequenz für jedes Produkt
- Dimensionierung schalltechnischer Maßnahmen

- Abschätzung des zu erwartenden Schalldruckpegels für unterschiedliche Bodenaufbauten (aus der Datenbasis) und unterschiedliche Nutzungsszenarien (Fallenergien) durch das ins Verhältnis setzen der Versuchsdaten mit den Werten der Datenbasis.
- Prognose für höhere Fallgewichte anhand von in Situ Messungen mit den Erkenntnissen aus Laboruntersuchungen und Einschränkung der Nutzung auf die max. zulässigen Grenzwerte
- Berücksichtigung des empfohlenen Bodenaufbaues auf weitere wichtige Parameter:
 - Rückprallverhalten von Gewichten -> Einfluss auf Sicherheit für Athleten
 - Standfestigkeit und Stabilität der Bodenkonstruktion
 - Schutz der Bodenkonstruktion vor stoßinduzierter Zerstörung
- Ausführung

Mit dieser Vorgehensweise ließe sich mit geringem Versuchsaufwand für unterschiedliche Nutzungen der jeweilige bauliche Aufwand gut abschätzen, wobei alle baulichen Gegebenheiten der Baukonstruktion (Deckenstärke, Estrichdicke, Trittschalldämmung usw.) mitberücksichtigt werden.

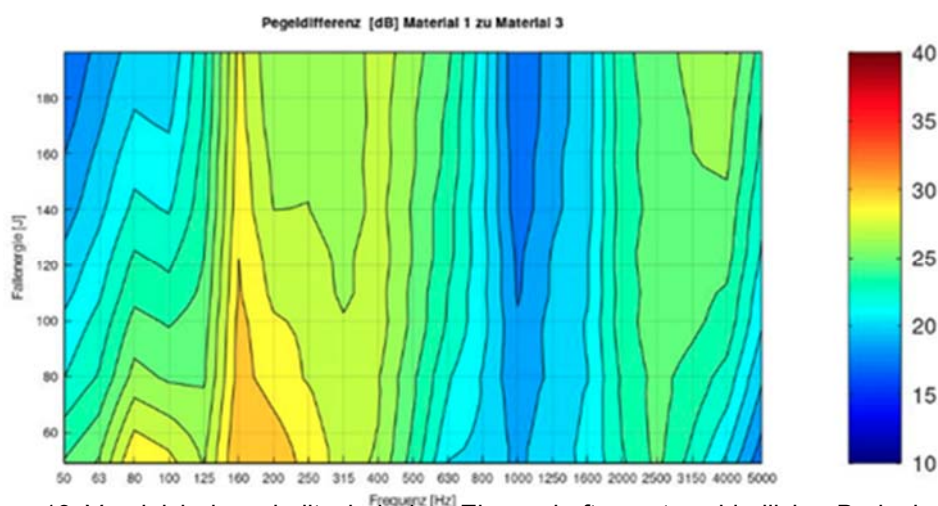


Abbildung 13: Vergleich der schalltechnischen Eigenschaften unterschiedlicher Bodenbeläge 1

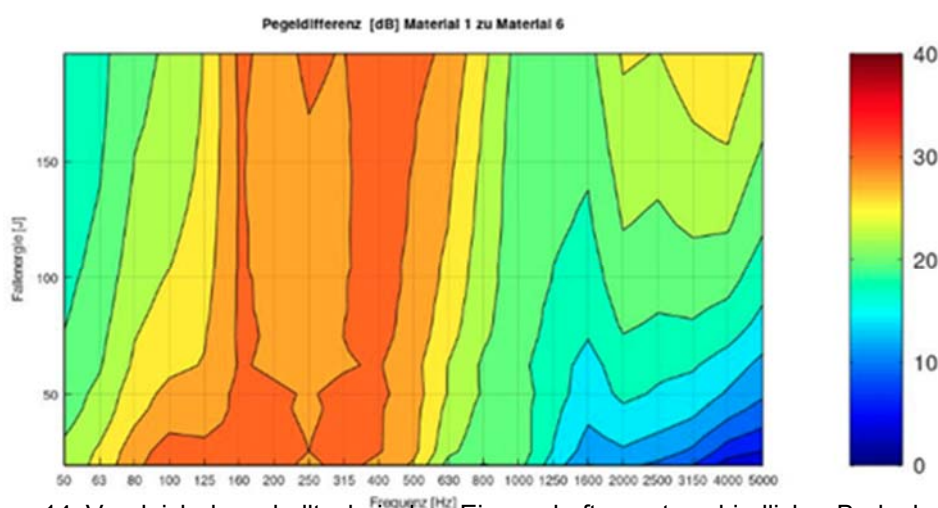


Abbildung 14: Vergleich der schalltechnischen Eigenschaften unterschiedlicher Bodenbeläge 2

Abbildung 13 und Abbildung 14 zeigen Beispiele einer Darstellung der in der Datenbasis erfassten Pegeldifferenz bei der Verwendung zweier unterschiedlicher Materialien in Abhängigkeit von der Frequenz und der Fallenergie und dienen als Grundlage für Prognoseberechnungen. Derartige Diagramme könnten für die Abschätzung der zu erwartenden Werte mit z.B. g-fit Shock Absorb pro verwendet werden, wenn Versuchsergebnisse mit z.B. Rohböden oder bestehenden Sportböden vorliegen.

Aus diesen Untersuchungen können dann, wie für die untersuchten Fitnessstudios, Maßnahmenpakete für die Objektplanung zusammengestellt werden.

Typ/Klasse	Ausführung Fallenergie [J]	Empfohlene Maßnahmen ^{*)} für Schutzziel Wohnen Nutzungszeit bis 22:00
Fitness (Body Styling):	<p>1 15 [J]</p> <p>Schnitt: 1:5</p> <p>1 tragende Decke 2 Mauerwerk 3 Verputz 4 AFM 35 5 Randdämmstreifen 6 PE-Folie 7 Estrich 8 g-fit shock absorb advance 9 Sportboden (Gummi)</p>	<p>bei Schallübertragung von unten nach oben über mindestens ein Zwischengeschoß ($d_{LW} = 15$ dB)</p> <p>schwimmender Bodenaufbau (Estrich) für $L_{nt,w} \leq 38$ dB + 25 mm hochdämpfende und stoßabsorbierende Matte unter Sportboden</p>
Fitness (sportlich,...):	<p>2 150 [J]</p> <p>Schnitt: 1:5</p> <p>1 tragende Decke 2 Mauerwerk 3 Verputz 4 AFM 35 5 Randdämmstreifen 6 PE-Folie 7 Estrich 8 g-fit shock absorb pro 9 Sportboden (Gummi)</p>	<p>bei Schallübertragung von unten nach oben über mindestens ein Zwischengeschoß ($d_{LW} = 15$ dB)</p> <p>schwimmender Bodenaufbau (Estrich) für $L_{nt,w} \leq 28$ dB + 50 mm hochdämpfende und stoßabsorbierende Matte unter Sportboden</p>
Fitness (Olympisch / CrossFit):	<p>3 4000 [J]</p>	<p>SONDERKONSTRUKTION nur in Einzellagen</p>

^{*)} diese Maßnahmen gelten für die untersuchten Gründerzeitgebäude. Für Neubauten, insbesondere aus Stahlbeton, wurden auch günstigere Situationen messtechnisch festgestellt.

6 Zusammenfassung

Aus den Laboruntersuchungen der Firma Getzner und den in-situ Messungen der normconsult ZT GmbH können folgende Erkenntnisse zusammengefasst werden:

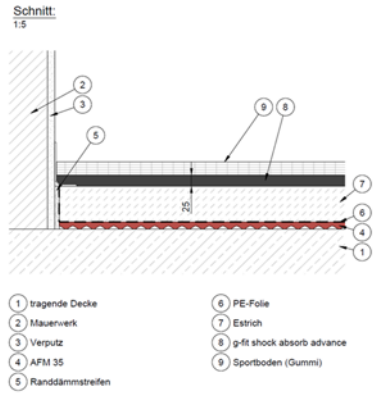
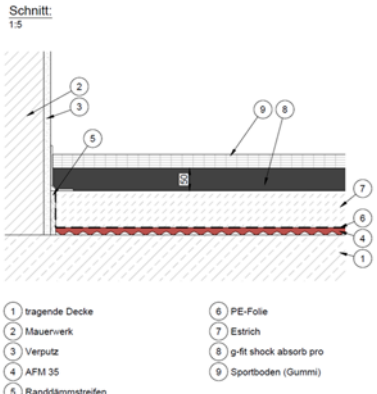
Durch die häufig neu eröffneten Fitnessstudios wird vermehrt von Störungen aus dem Betrieb mit Freihanteln berichtet. Übliches benutzen von Cardio Geräten etc. ist aus der bisherigen Erfahrung nur vereinzelt problematisch.

Um die aus diesem Anwendungsfall kommenden Systematiken sorgfältig zu adressieren hat die Firma Getzner in umfangreichen Studien und Laboruntersuchungen speziell auf den Einsatzfall Fitnessstudio optimierte Produkte und Unterlagen sowie ein dazu abgestimmtes Rechenverfahren entwickelt.

Aus der Zusammenarbeit im Normenkomitee 208 von Getzner Werkstoffe und normconsult ZT GmbH ergab sich in einigen Fällen die Möglichkeit die Eigenschaften der Produkte nicht nur im Labor, sondern auch in-situ zu untersuchen.

Die normconsult ZT GmbH hat mit unterschiedlichsten Bodenaufbaukombinationen die durch fallende Gewichte (hauptsächlich ca. 20-25 kg aus 70 cm Höhe aber auch schwerere und höher) auftretenden Schallimmissionen messtechnisch untersucht. Es hat sich gezeigt, dass die zu erwartenden Spitzenpegel bei Übertragungsweg über zwei Geschoße bei Einsatz von Getzner Werkstoffe g-fit Shock Absorb Produkten unter handelsüblichen Sportbelägen in einem Bereich von 32 - 34 dB zu liegen kommen. Es konnte zudem gezeigt werden, dass das Prognoseverfahren der Firma Getzner Werkstoffe auch auf die Bausituation übertragbar und anwendbar wäre und sich dadurch die Schallübertragung bereits vor Beginnen der Sanierungsmaßnahmen abschätzen ließe.

Als Diskussionsgrundlage für Bearbeitungen im Umfeld von Fitnessstudios kann nachfolgende Zusammenfassung als Anhalt dienen.

Typ/Klasse	Tätigkeit	schalltechnische Belastung	Ausführung Fallenergie [J]	Empfohlene Maßnahmen ^{*)} für Schutzziel Wohnen Nutzungszeit bis 22:00
Fitness 1 (Body Styling):	geringer Umfang von Gewichten, geringe Gewichte < 30 kg, besonderes Augenmerk auf kontrollierte Bewegungen und Anweisung die Gewichte nicht fallenzulassen	abstellen Gewicht 30 kg aus 5 cm	15 [J] 	bei Schallübertragung von unten nach oben über mindestens ein Zwischengeschoß ($d_{Lw} = 15$ dB) schwimmender Bodenaufbau (Estrich) für $L_{nt,w} \leq 38$ dB + 25 mm hochdämpfende und stoßabsorbierende Matte unter Sportboden
Fitness 2 (sportlich, ...):	normaler Umfang von Gewichten, übliche Gewichte < 30 kg, Gewichte können 1x im Monat fallen gelassen werden	Gewicht 30 kg aus 50 cm	150 [J] 	bei Schallübertragung von unten nach oben über mindestens ein Zwischengeschoß ($d_{Lw} = 15$ dB) schwimmender Bodenaufbau (Estrich) für $L_{nt,w} \leq 28$ dB + 50 mm hochdämpfende und stoßabsorbierende Matte unter Sportboden
Fitness 3 (Olympisch):	alle Gewichte, Reißen und Stoßen / Stemmen bis zum Drop	Gewicht 200 kg aus 200 cm	4000 [J]	SONDERKONSTRUKTION Einzellagen Tiefabgestimmte schwere Fußbodenkonstruktion mit passendem Toplayer $L_{nt,w}$ in der Regel durch Hintergrundgeräusche und nicht durch Normhammerwerksanregung bestimmt

^{*)} diese Maßnahmen gelten für die untersuchten Gründerzeitgebäude. Für Neubauten, insbesondere aus Stahlbeton, wurden auch günstigere Situationen messtechnisch festgestellt.

CURRICULUM VITAE



DI
Walter Hauser

Landeskonservator

Bundesdenkmalamt
Abteilung für Tirol
Burggraben 31
6020 Innsbruck

walter.hauser@bda.gv.at

DI Walter Hauser, studierte Architektur an der Universität Innsbruck und ist seit 1990 im Bundesdenkmalamt, Abteilung Tirol, in der praktischen Denkmalpflege tätig, seit 2014 Landeskonservator. Beschäftigt sich neben der allgemeinen Denkmalpflege und historischer Bauforschung mit der Weiterentwicklung der Baudenkmalpflege im Bundesdenkmalamt Österreichs. Das besondere Interesse gilt dem ländlichen Raum.

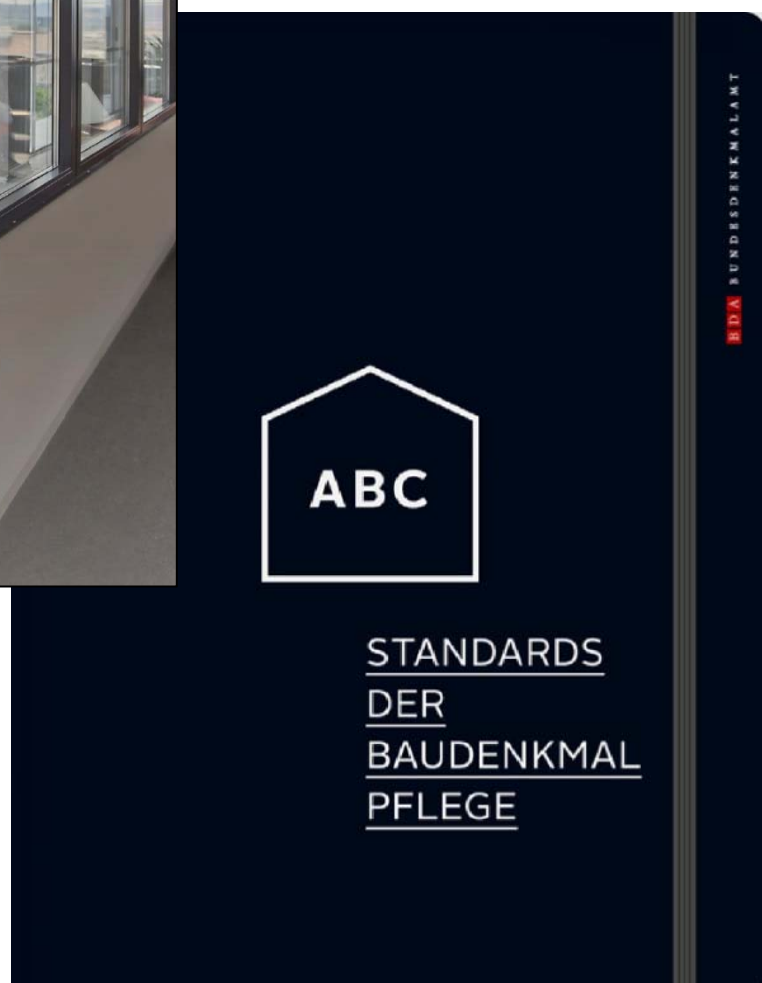
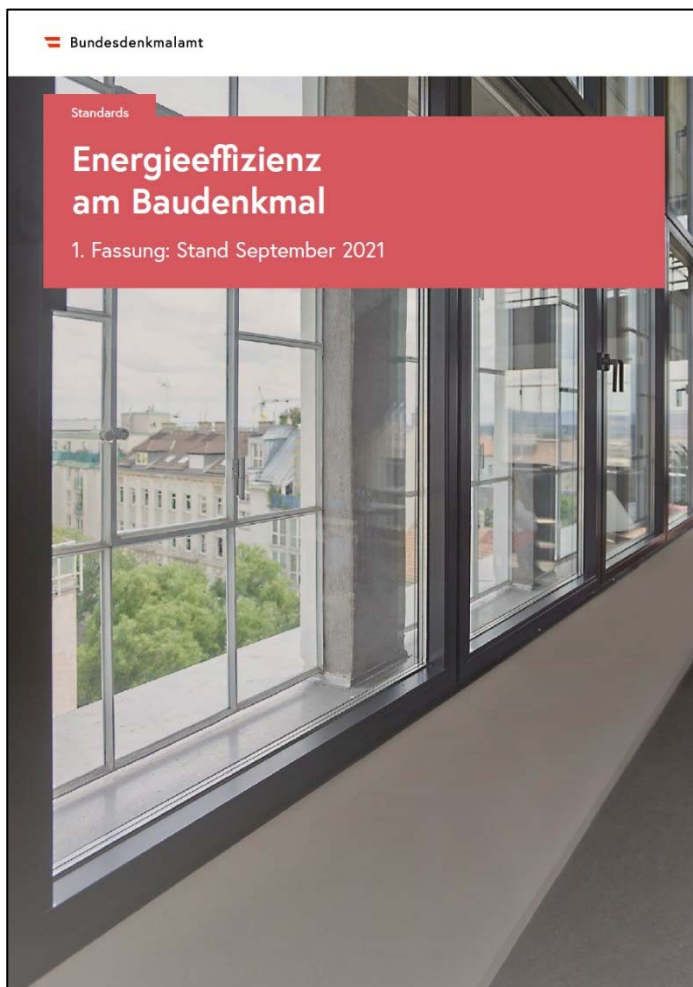
Denkmalschutz und Bauphysik

DI Walter Hauser, Landeskonservator, Bundesdenkmalamt Abteilung für Tirol, 6020 Innsbruck

Die PowerPoint Präsentation steht allen TeilnehmerInnen nach der Veranstaltung als Download zur Verfügung (www.bauphysik.at), weitere schriftliche Informationen finden sie unter:

www.bda.gv.at/service/publikationen/standards-leitfaeden-richtlinien/standards-energieeffizienz.html

www.bda.gv.at/service/publikationen/standards-leitfaeden-richtlinien/standards-der-baudenkmalpflege.html





CURRICULUM VITAE

Ing.
Harald SCHUCHNIGG

AXIS Ingenieurleistungen ZT GmbH

Rainergasse 4
A-1040 Wien

Harald.schuchnigg@axis.at

Geboren 1973 in Wien, absolvierte seine Schulausbildung in Österreich (HTL Wien, Camillo Sitte Lehranstalt, Ing. für Tiefbau).

Seit 1994 bei AXIS Ingenieurleistungen (Nachfolger von Friedreich & Partner) zuerst als Mitarbeiter, dann Projektleiter, Gesellschafter, Gruppenleiter Bauphysik und seit 2022 handlungsbevollmächtigter „Prokurist“.

AXIS Ingenieurleistungen ist ein führendes Unternehmen im Bauingenieurwesen und bietet als Entwickler, Planer und Berater Leistungen der Tragwerksplanung, Brandschutz, Bauphysik, Brückenbau, Technische Infrastruktur, Umweltplanung, Straßen- und Verkehrsplanung an.

Generalsanierung Parlament

Ing. Harald Schuchnigg, AXIS Ingenieurleistungen ZT GmbH, A-1040 Wien

1. Einleitung

Das neoklassizistische Reichsratsgebäude von Theophil Hansen wurde von 1874 bis 1883 errichtet. Im Jahre 1910 wurde durch die zuständigen Ministerien ein umfassender Dachausbau des Gebäudes vorgenommen. Die Zerstörungen aus dem Zweiten Weltkrieg führten zu Umbauten von Max Feller und Eugen Wörle. Größte Bekanntheit erreichte dabei der 1955 bis 1956 durchgeführte Umbau des ehemaligen Herrenhauses – dem heutigen Nationalratssitzungssaal.

Nach umfassenden Voruntersuchungen wurde im Jänner 2014 in der Präsidialkonferenz (Präsidenten bzw. Präsidentinnen des Nationalrates und alle Klubobleute) die nachhaltige Sanierung des Parlamentsgebäudes und die Totalabsiedelung des Parlamentsbetriebes während der Bauzeit beschlossen.

Im einstimmig beschlossenen Parlamentsgebäudesanierungsgesetz (PGSG) wurde als Ziel und Begriffsbestimmung festgehalten:

§ 1.(1) *Zur langfristigen Erhaltung des historischen Parlamentsgebäudes in Wien und zur Sicherstellung der Erfüllung der parlamentarischen Aufgaben der Organe der Gesetzgebung des Bundes ist eine nachhaltige Sanierung des Parlamentsgebäudes erforderlich, die insbesondere die Herstellung des gesetzmäßigen Gebäudezustandes, die Behebung aller vorhandenen Mängel und Schäden, funktional effizienzsteigernde Maßnahmen und die Nutzung vorhandener Raumreserven beinhaltet.*

2. Wettbewerb



Nach einem europaweiten Auswahlverfahren wurde die Bietergemeinschaft Jabornegg & Pálffy und AXIS Ingenieurleistungen ZT GmbH im August 2014 als Generalplaner zur Sanierung des Parlamentsgebäudes beauftragt. Der geplante Umbau durch Jabornegg & Pálffy Architekten _ AXIS bildet im Zuge der Sanierung eine weitere Etappe für das architektonische Erscheinungsbild: Die Adaption des Parlamentsgebäudes an die zukünftigen Anforderungen erfolgt in mehreren Schritten, die sich an dem architektonischen Konzept Theophil Hansens orientieren und so in der Summe wiederum ein homogenes Bild ergeben sollen.

3. Entwurf und Einreichplanung 2015-2017

Gesamtkonzept – Architektonische Aspekte

Das Projekt beinhaltet eine Instandsetzung und den Umbau des Hauptgebäudes des österreichischen Parlamentes im Sinne einer architektonischen und funktionalen Restrukturierung sowie einer baulichen Weiterschreibung durch die Nutzung von Raumreserven.

Folgende wesentliche bauliche bzw. gebäudetechnische Instandsetzungen finden im Gebäude statt:

- Sicherheitssanierung im Sinne von Brandschutz, Evakuierung & Barrierefreiheit
- Instandsetzung von Gebäudeteilen (Dächer, Fenster, Brüstungen, Decken etc.)
- Gebäudetechnische Modernisierung (Haustechnik, Sicherheits-technik, Medientechnik etc.)

Folgende räumlich-funktionale Umbauten finden im Gebäude statt:

- Grundsätzliche Aufwertung des Erdgeschoßes durch die Anordnung eines Besucherzentrums, öffentliches Lokal I und II, Ausstellungsräume, Bibliothek etc.
- Nutzung Raumreserve Dachgeschoß durch die Anordnung von Büros, eines Restaurants und eines Besucherumganges mit Demokratiewerkstatt
- Anordnung von vier neuen Haupttreppenanlagen vom Untergeschoß bis ins neue Dachgeschoß
- Neuausbildung des Nationalratssitzungsaaales und seiner räumlichen Peripherie mit Couloirerweiterungen.

Die historischen Räume werden nachhaltig in Stand gesetzt, gleichzeitig soll ihre Prägnanz durch die teilweise Rücknahme von Einbauten späteren Datums wiederhergestellt werden.

Zusätzliche öffentliche Räumlichkeiten werden im Bereich von Erd- und Dachgeschoß hergestellt, und erweitern damit für Besucher die Möglichkeit am parlamentarischen Leben in einem wesentlich größeren Umfang als bisher teilnehmen zu können.

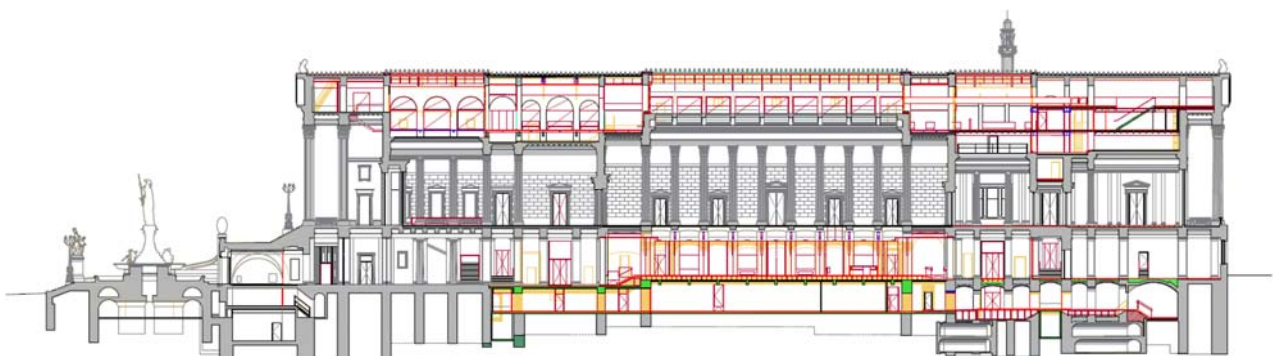
Sämtliche öffentlich zugängliche Geschoße werden durch vier neue, zentrale Treppenhäuser verknüpft, die nicht nur eine attraktive Verbindung zwischen den einzelnen Ebenen anbieten, sondern auch der erforderlichen neuen Dimensionen der Fluchtwege entsprechen.

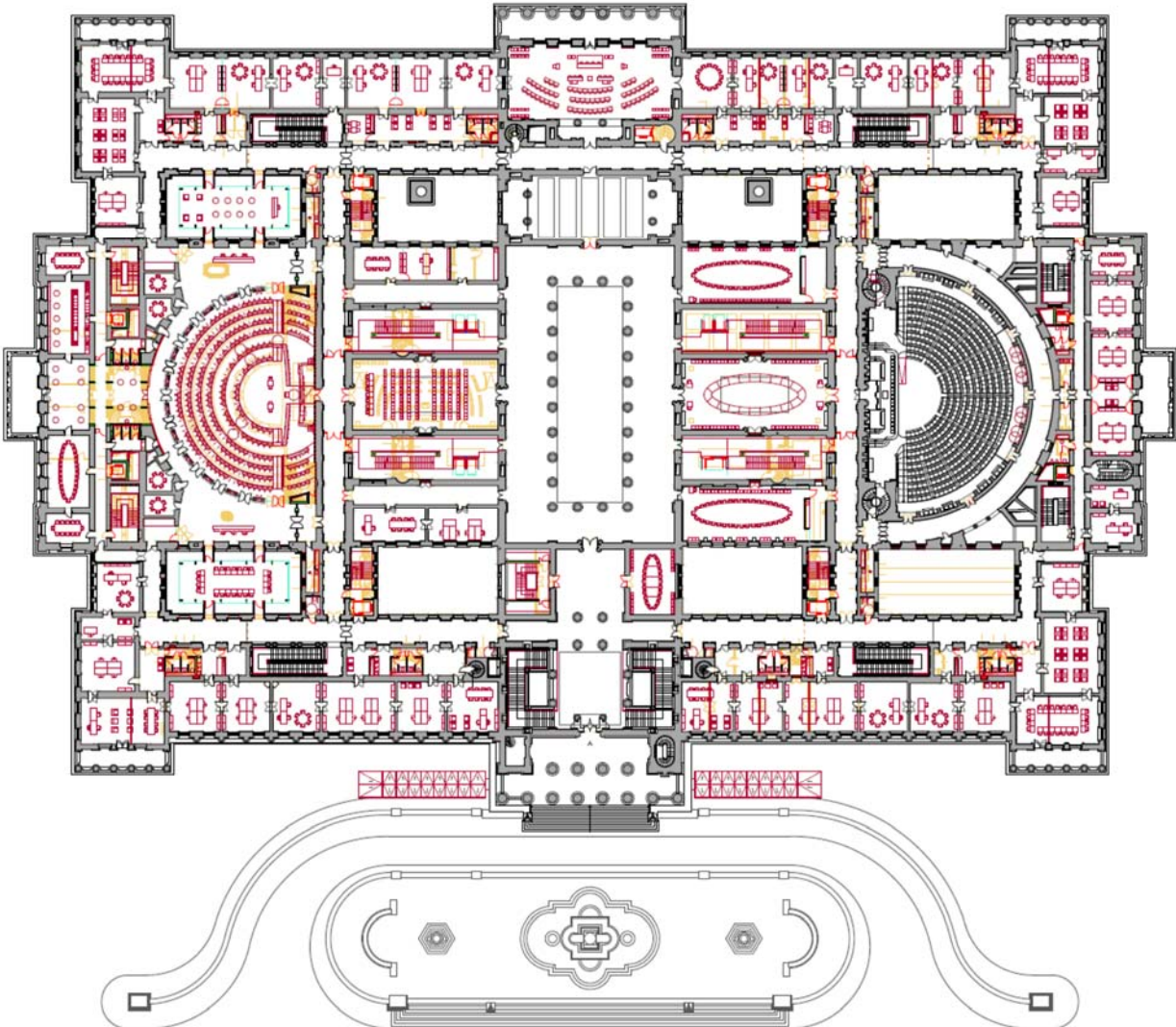
Die neuen Zubauten sind so angeordnet, dass sie das historische Erscheinungsbild mit ihrer Gegenwart nicht überlagern und somit nicht stören. Sofern Zubauten von einigen wenigen Standpunkten aus dem Stadtraum eingesehen werden können, ist ihre Höhenlage stets dem Hauptfries des Gebäudes untergeordnet.

Ziel ist eine substanzielle Instandsetzung des Parlaments, die Schaffung effizienter Arbeitsbereiche, sowie ein erweitertes räumliches Angebot, das dem zunehmenden öffentlichen Bedürfnis nach Information und Transparenz vor Ort Platz verschafft.

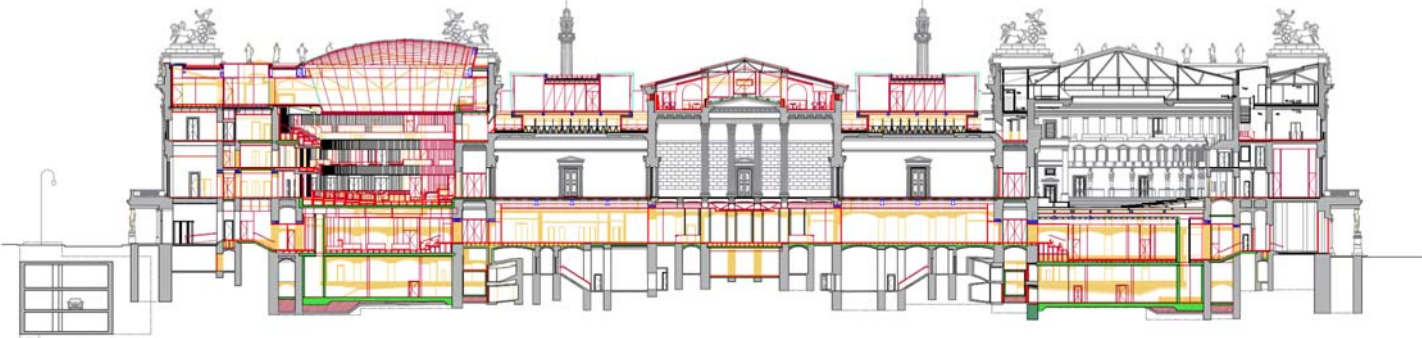
Wie auch das räumliche Konzept ist auch das gestalterische Konzept als eine Weiterschreibung zu verstehen. Stein, Metall, Holz und Textiles bestimmen auch den Materialkanon für die neuen Oberflächen, und stellen weiter in ihrer Farbigkeit differenzierte Bezüge zum historischen Bestand her:

Für den Betrachter bereits heute auffällig deutlich akzentuierte Farbigkeiten wie rot(braun) oder auch (dunkel)grün werden dabei dem historischen Bestand überlassen. Grundtöne wie beige und grau werden hingegen übernommen und in Helligkeit und Farbigkeit von elfenbeinfarben bis dunkelblaugrau variiert.



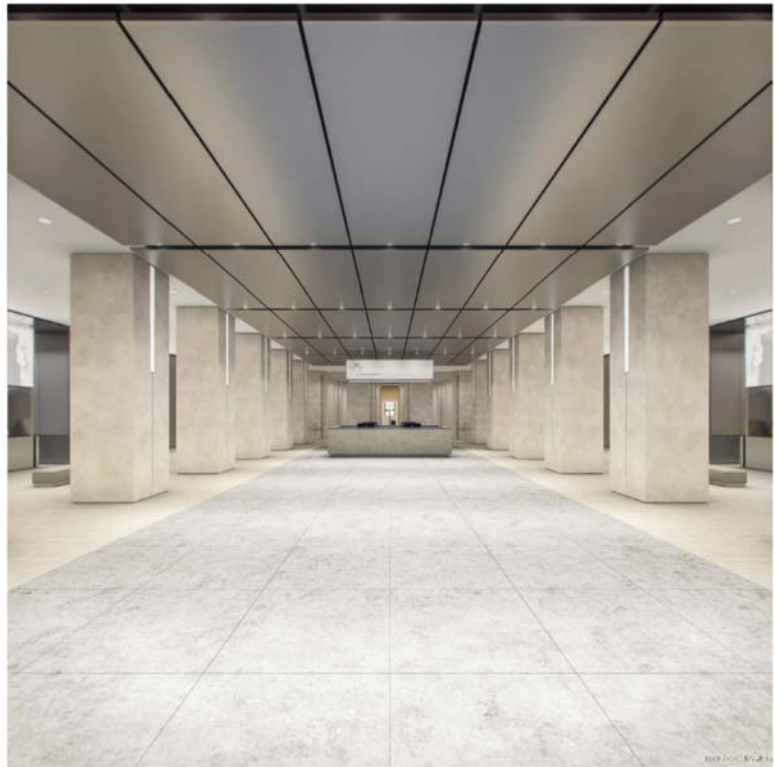
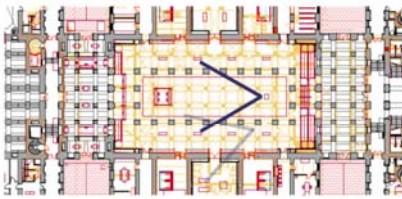


Grundriss Ebene OG01



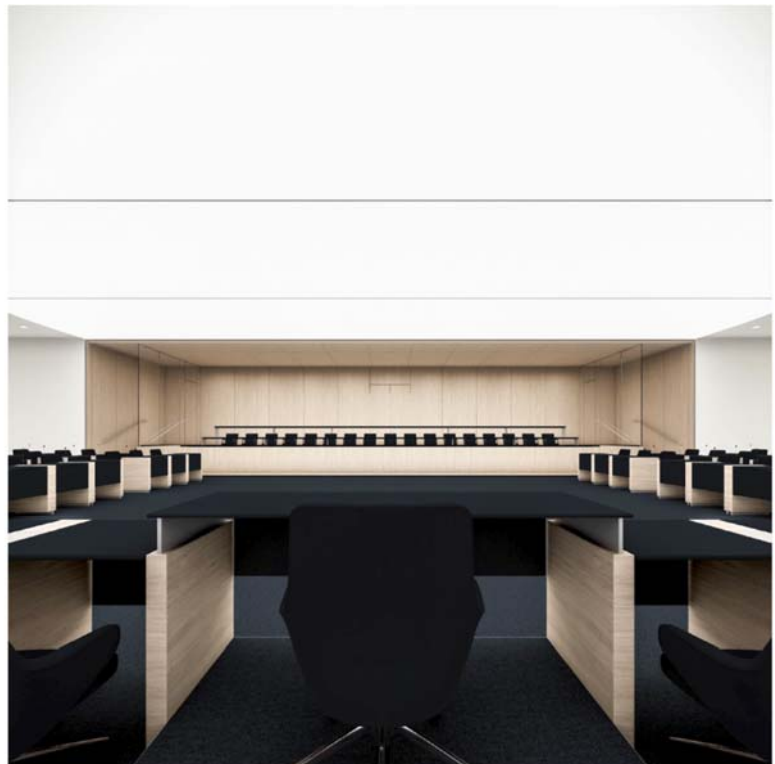
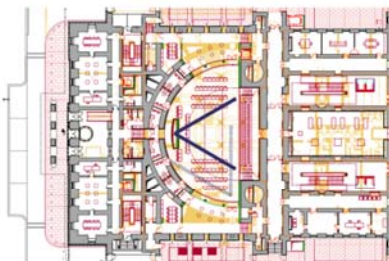
Längsschnitt

ad 5.3.7 Besucherzentrum – Agora



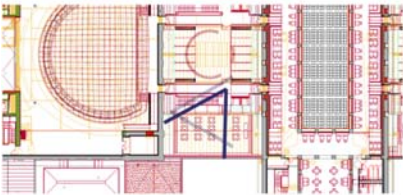
Besucherzentrum – Agora Ebene EG01

ad 5.3.4 Lokale – Lokal 1 (Untersuchungsausschuss)



Lokal 1 Ebene EG01

ad 5.3.11 Erschließung – Neue Haupttreppen



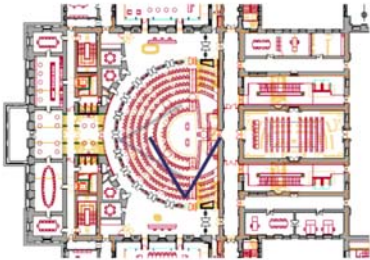
Neue Haupttreppen

ad 5.3.10 Gastronomie



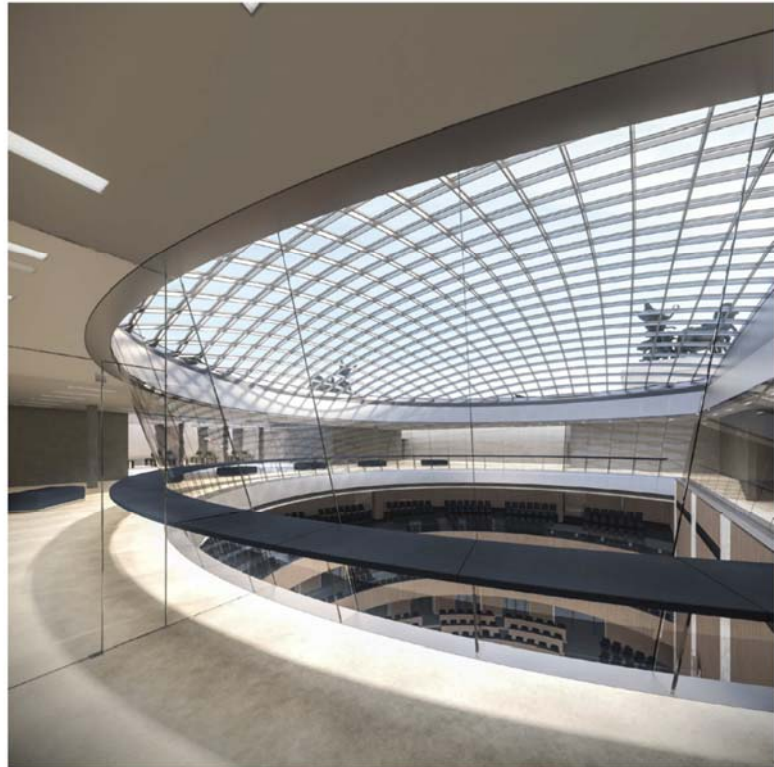
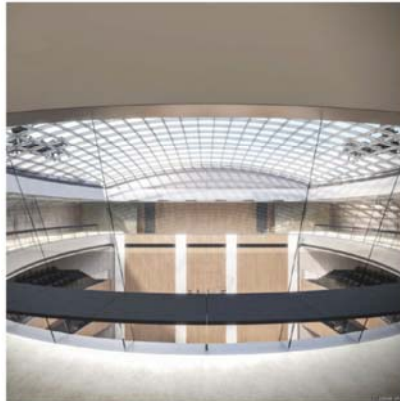
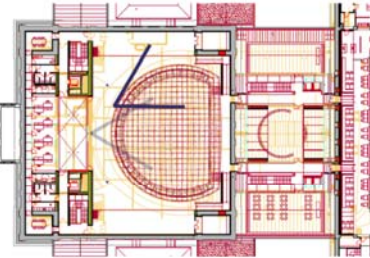
Gastronomie - Restaurant Ebene OG03

id 5.3.1 Nationalratssitzungssaal



Nationalratssitzungssaal

ad 5.3.9 Gästepanorama



Gästepanorama – Ebene OG03

Pläne: Jabornegg&Pálffy_AXIS / Visualisierungen: © 2020 ZOOMVP

