



# Grundlagen zur Bauphysik

Skriptum als Voraussetzung für das BKT Labor Bautechnikum Wien

Dipl.-Ing. Dr. techn. Martin Teibinger, Wien

Lehrer am Camillo Sitte Bautechnikum, Wien; Lektor an diversen Fachhochschulen und Universitäten Allgemein beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger;



### Vorwort

Bauphysik ist nicht alles – aber ohne Bauphysik ist alles nichts!

Die Bedeutung der Bauphysik hat in den letzten Jahren aufgrund steigender Anforderungen an die Energieeinsparung sowie die Behaglichkeit, erhöhter Schallemissionen (durch zunehmenden Verkehrslärm, Home-Entertainment etc.) und somit steigendem Ruhebedürfnis der Bewohner zugenommen. Das vorliegende Skriptum stellt eine ausgewählte Zusammenfassung der Grundlagen der Bauphysik dar. Diese dienen als Voraussetzung für die Teilnahme und die Durchführung der bauphysikalischen Laborübungen am Bautechnikum Wien, Leberstraße 4 c.

Das Skriptum soll und kann nicht die vorliegenden BKT Schulbücher Mezera, K.; Bednar, T.; Riccabona, C. Baukonstruktion Band 1 bis Band 5, Verlag: Manz ersetzen, sondern dient vielmehr als Ergänzung und Zusammenfassung bauphysikalischer Grundlagen.

Der Aufbau der einzelnen Kapitel gliedert sich in physikalische Grundlagen zum besseren Verständnis, Anforderungen und Hintergründe zu Kennwerten und den Versuchen bzw. Berechnungen im Laborunterricht. Zusätzlich werden ein Überblick über bautechnische Empfehlungen und Hinweise auf weiterführende bzw. vertiefende Literatur zu einzelnen Schwerpunkten gegeben.

Das Skriptum wurde nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Sollten sich dennoch Fehler eingeschlichen haben bzw. einzelne Kapitel ergänzende Erklärungen benötigen, so bitte ich um Hinweise.

Ich wünsche Ihnen viel Freude mit der Bauphysik!

Martin Teibinger



# **INHALTSVERZEICHNIS**

1	Bereiche der Bauphysik1
2	Behaglichkeit1
2.1	Thermische Behaglichkeit1
2.1.1	Operative Temperatur θopt2
2.1.2	Relative Luftfeuchte φ2
2.1.3	Luftbewegung3
2.1.4	Temperaturschichtung3
2.2	Nicht-thermische Behaglichkeit3
2.2.1	Raumluftqualität3
2.2.2	Tageslichtqualität4
2.2.3	Akustik4
3	Grundlagen zum Wärmeschutz5
3.1	Grundlagen5
3.1.1	Definition Wärme5
3.1.2	Temperatur5
3.1.3	Temperaturmessung6
3.1.4	Warum werden bei Gebäuden Wärmeschutzmaßnahmen umgesetzt?7
3.2	Wärmetransport9
3.2.1	Wärmeleitung10
3.2.2	Wärmeströmung (Konvektion)11
3.2.3	Wärmestrahlung11
3.3	U-Wert von Bauteilen13
3.3.1	homogene Bauteile13
3.3.2	Inhomogene Bauteile14
3.4	U-Wert Berechnung Fenster UW16
3.4.1	Fenster mit Isolierverglasung16
3.4.2	Kastenfenster18
3.4.3	Kennwerte18
4	Wärmebrücken und Infrarotthermografie20



4.1	Definition und Arten von Wärmebrücken	20
4.2	Nachweis von Wärmebrücken	21
4.3	Infrarotthermografie	21
4.4	Weiterführende Literatur:	21
5	Luft- und Winddichtheit der Gebäudehülle	22
5.1	Definition	22
5.2	Anforderungen	23
5.3	Prüfung der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle (Blower	
5.3.1	Grundlagen	23
5.3.2	Beurteilung von Leckagen	25
5.4	Weiterführende Literatur:	26
6	Grundlagen zum Feuchteschutz	27
6.1	Luftfeuchtigkeit	27
6.2	Berechnung der absoluten Luftfeuchtigkeit im Raum	30
6.3	Baustoffe und Feuchtigkeit	32
6.3.1	Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ	32
6.3.2	Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke sd-Wert	33
6.4	Vermeidung von Oberflächenkondensat	34
6.5	Feuchtespeicher und Feuchtetransportmechanismen	35
6.5.1	Feuchtespeicherung	35
6.5.2	Feuchtetransport	36
6.6	Vermeidung von schädlichem Kondensat im Bauteil	38
6.6.1	Allgemeines	38
6.6.2	Klimarandbedingungen	38
6.6.3	Berechnung der Wasserdampfsättigungsdrücke	39
6.6.4	Grafische Darstellung von p und ps	41
6.6.5	Berechnung der Tauwassermenge	42
6.6.6	Berechnung der Verdunstungsmenge	42
6.7	Weiterführende Literatur:	43



7	Energieausweis	44
7.1	Grundlagen	44
7.1.1	Energieausweis-Vorlage-Gesetz (EAVG)	44
7.1.2	Begriffsbestimmungen	44
7.1.3	Anforderungen	46
7.2	Erstellen von Energieausweisen	50
7.2.1	Ersteller von Energieausweisen	50
7.2.2	Ermittlung der Daten	50
7.2.3	Berechnung des Energieausweises	55
7.3	Vereinfachte Berechnung des Heizwärmebedarfs	55
7.3.1	Ermittlung der Transmissionswärmeverluste QT	56
7.3.2	Ermittlung der Lüftungswärmeverluste QV	59
7.3.3	Ermittlung der interne Gewinne Qi	60
7.3.4	Ermittlung der solaren Gewinne Qs	60
7.3.5	Vereinfachte Ermittlung der Wärmespeicherfähigkeit C	61
7.3.6	Bilanzierung	62
7.3.7	Exemplarische Klimadaten	63
8	Sommerlicher Wärmeschutz	64
8.1	Grundlagen	64
8.2	Nachweis für Wohngebäude	65
9	Schallschutz	66
9.1		
•	Allgemeines	66
9.1.1	Allgemeines Wellenarten	
_		66
9.1.1	Wellenarten	66 67
9.1.1 9.1.2	WellenartenFrequenz	66 67 67
9.1.1 9.1.2 9.1.3	WellenartenFrequenz Ton, Klang, Geräusch, Lärm	66 67 67 68
9.1.1 9.1.2 9.1.3 9.1.4	Wellenarten  Frequenz  Ton, Klang, Geräusch, Lärm  Terz-, Oktavband	66 67 67 68
9.1.1 9.1.2 9.1.3 9.1.4 9.1.5	Wellenarten  Frequenz  Ton, Klang, Geräusch, Lärm  Terz-, Oktavband  Schallleistung P und Schalldruck p	66 67 68 68
9.1.1 9.1.2 9.1.3 9.1.4 9.1.5 9.1.6	Wellenarten  Frequenz  Ton, Klang, Geräusch, Lärm  Terz-, Oktavband  Schallleistung P und Schalldruck p  Schallintensität J	66 67 68 68 69
9.1.1 9.1.2 9.1.3 9.1.4 9.1.5 9.1.6 9.1.7	Wellenarten  Frequenz  Ton, Klang, Geräusch, Lärm  Terz-, Oktavband  Schallleistung P und Schalldruck p  Schallintensität J  Schalldruck p – Schalldruckpegel L	66 67 68 68 69 69



9.2.1	Luftschallschutz	/3
9.2.2	Trittschallschutz	82
9.2.3	Weiterführende Literatur	86
9.2.4	Flankenübertragung	87
9.3	Raumakustik	87
9.3.1	Begriffe	88
9.3.2	Absorber	90
9.3.3	Diffusoren	91
9.3.4	Weiterführende Informationen	91
10	Brandschutz	92
10.1	Einteilung	92
10.2	Brandverhalten versus Feuerwiderstand	93
10.2.1	Brandverlauf	93
10.2.2	Brandverhalten – Baustoffverhalten	93
10.2.3	Feuerwiderstand	94
10.2.4	Anforderungen	95
10.2.5	Bautechnische Empfehlungen	95
10.2.6	Weiterführende Literatur	96
11	Abbildungsverzeichnis	97
12	Tabellenverzeichnis	103



# 1 Bereiche der Bauphysik

Die Bauphysik beschäftigt sich mit den Maßnahmen, die dem Menschen in einem Gebäude ein behagliches, gesundes Klima sicherstellen, die Umwelt und die Bauteile schützt. Sie beschäftigt sich somit mit:

- Brandschutz
- Wärme- und Feuchteschutz
- Schallschutz (Bau- und Raumakustik)
- Tageslicht und Beleuchtung
- Klima

# 2 Behaglichkeit

Die Behaglichkeit beschreibt den körperlichen und seelischen Zustand subjektiven Wohlbefindens in Räumen mit einem entsprechendem Klima. Man kann sie in thermische und nicht-thermische Behaglichkeit unterteilen.

# 2.1 Thermische Behaglichkeit

Zu den thermischen Faktoren zählen die Raumtemperatur und die Oberflächentemperaturen der einzelnen Bauteile, welche als Mittelwert die operative bzw. empfundene Temperatur darstellen, die relative Luftfeuchte, die Luftgeschwindigkeit sowie Turbulenzen in der Luftgeschwindigkeit und die Temperaturschichtung. Abhängig ist das Empfinden der Person von physiologischen (körperliche Verfassung, Geschlecht, Alter...), intermediären (Kleidung, Tätigkeitsgrad, Tages- und Jahresrhythmus...) und physikalischen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, relative Luftfeuchtigkeit, Luftbewegung, akustische Einflüsse...) Bedingungen, siehe Abbildung 1.

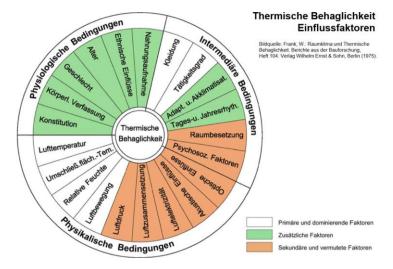


Abbildung 1: Einflussfaktoren auf die thermische Behaglichkeit, Quelle: <a href="https://www.delta.at/wp-content/uploads/2015/07/Vortrag Hermes - Thermischer Komfort - BHK2015.pdf">https://www.delta.at/wp-content/uploads/2015/07/Vortrag Hermes - Thermischer Komfort - BHK2015.pdf</a>, (06.09.2020)

FÜR:

Mensch

Umwelt

Bauteile

Abhängigkeit der thermischen Behaglichkeit

# 2.1.1 Operative Temperatur $\theta_{opt}$

$$\theta_{opt} = \frac{\theta_L + \theta_U}{2}$$

$$\theta_u = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_{u,i} \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Dabei bedeutet:

 $\theta_{opt}$ : operative bzw. empfundene Temperatur in °C

 $\theta_L$ : Raumlufttemperatur in °C

 $\theta_U$ : mittlere Temperatur der Oberflächen in °C

A: Bauteiloberflächen in m²

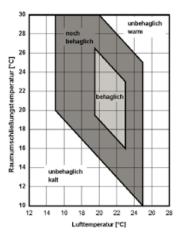


Abbildung 2: Anforderung an die Lufttemperatur  $\theta_L$  und die mittlere Temperatur der raumumschließenden Bauteile  $\theta_L$ , Quelle: <a href="https://www.delta.at/wp-content/uploads/2015/07/Vortrag Hermes-Thermischer Komfort - BHK2015.pdf">https://www.delta.at/wp-content/uploads/2015/07/Vortrag Hermes-Thermischer Komfort - BHK2015.pdf</a>, (06.09.2020)

# 2.1.2 Relative Luftfeuchte φ

Die relative Luftfeuchtigkeit kennzeichnet den Gehalt an Luftfeuchtigkeit zum maximal möglichen Gehalt, siehe hierzu auch Abschnitt 6.1. Abhängig ist die relative Luftfeuchte von der Lufttemperatur, der Feuchteproduktion im Raum und dem Luftwechsel.

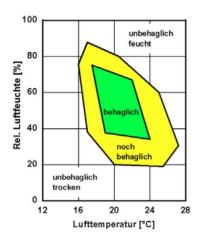


Abbildung 3: Behaglichkeitsgrenzen für die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte, Quelle: <a href="https://www.delta.at/wp-content/uploads/2015/07/Vortrag\_Hermes\_-">https://www.delta.at/wp-content/uploads/2015/07/Vortrag\_Hermes\_-</a>
<a href="https://www.delta.at/wp-content/uploads/2015/07/Vortrag\_Hermes\_-">htt



## 2.1.3 Luftbewegung

Die Behaglichkeitsgrenze einer Luftbewegung hängt von der Raumlufttemperatur ab, siehe Abbildung 4. Grundsätzlich spricht man von einem Grenzwert der Behaglichkeit bei einer Geschwindigkeit in Körpernähe von 0,2 m/s.

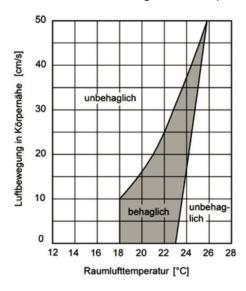


Abbildung 4: Behaglichkeitsgrenzen für die Luftgeschwindigkeit in Körpernähe in Abhängigkeit der Lufttemperatur, Quelle: <a href="https://www.delta.at/wp-content/uploads/2015/07/Vortrag">https://www.delta.at/wp-content/uploads/2015/07/Vortrag</a>
<a href="https://www.delta.at/wp-co

## 2.1.4 Temperaturschichtung

Als Richtwert gilt ein maximaler Temperaturunterschied von 2 K:

- zwischen kältester und wärmster Stelle im Raum
- vertikal je Meter Höhenunterschied
- als empfundene Temperatur an verschiedenen Körperseiten

# 2.2 Nicht-thermische Behaglichkeit

# 2.2.1 Raumluftqualität

Wir halten uns durchschnittlich 90 % unserer Lebenszeit in Innenräumen auf. Dies verdeutlicht auch die Bedeutung der Raumluftqualität auf Behaglichkeit und Gesundheit. Grundsätzlich gilt, dass sich in der Raumluft keine Schadstoffe in gefährlicher Konzentration befinden und die Luft nicht als muffig bzw. abgestanden empfunden wird.

Bekannt ist in diesem Zusammenhang die von Max von Pettenkofer (1818-1901) entwickelte Pettenkofer-Zahl. So soll die CO<sub>2</sub>-Konzentration in einem Innenraum 1.000 ppm (parts per million) nicht überschreiten. Abhängig ist die Raumluftqualität neben der Art und Größe der Emissionen durch Personen, Möbel, Baustoffe, Reinigungsmittel, Zigarettenrauch etc. von der Lüftung. In Nichtraucherbereichen wird

Pettenkofer-Zahl: CO2-Konzentration < 1.000 ppm



ein Volumenstrom von 30 m³/h (mittlere Innenluftqualität) bzw. 45 m³/h (hohe Luftqualität) pro Person empfohlen. Für Raucherzonen werden die Werte verdoppelt.

## 2.2.2 Tageslichtqualität

In Österreich wird in OIB Richtlinie 3 Anforderungen an die Belichtung gestellt. Dabei muss in Aufenthaltsräumen die gesamte Lichteintrittsfläche (Architekturlichte der Fenster) mindestens 12 % der Bodenfläche betragen, wobei sich die erforderliche Lichteintrittsfläche bei einer Raumtiefe von mehr als 5 m um jeweils 1 % der gesamten Bodenfläche je angefangenem Meter zusätzlicher Raumtiefe erhöht. Es werden auch Anforderungen bzgl. Sichtverbindung nach außen gestellt. Aufenthaltsräumen von Wohnungen sichergestellt sein, dass alle zur Belichtung notwendigen Lichteintrittsflächen eine freie Sicht von mindestens 2 m (gemessen von Fassadenflucht normal auf die Lichteintrittsfläche) aufweisen. Weiters muss in mindestens einem Aufenthaltsraum jeder Wohnung eine Lichteintrittsfläche eine freie waagrechte Sicht in 1,2 m Höhe von mindestens 6 m (gemessen von Fassadenflucht normal auf die Lichteintrittsfläche) gewährleisten.

ÖNORM EN 17037 führt darüberhinausgehende Beurteilungskriterien zur Tageslichtqualität in Gebäuden an.

#### 2.2.3 Akustik

Einfluss auf die akustische Behaglichkeit haben die Raumakustik, siehe Abschnitt 9.3 und die schalltechnischen Eigenschaften der Außen- bzw. Trennbauteile, siehe Abschnitt 9.2.



# 3 Grundlagen zum Wärmeschutz

# 3.1 Grundlagen

#### 3.1.1 Definition Wärme

Die Wärme (Q) kennzeichnet den Prozess der Übertragung thermischer Energie von einem Körper auf einen anderen oder auch von einem Körper auf seine Umgebung. Aus diesem Grund wird sie als eine Prozessgröße bezeichnet. Wenn ein Körper Wärme an die Umgebung bzw. einen anderen Körper abgibt, verringert sich seine thermische Energie E<sub>therm</sub>. Die Formen der Wärmeübertragung werden in Abschnitt 3.3 beschrieben.

Wärme Q:

Einheit: J

Prozessgröße

$$Q = \Delta E_{therm}$$

Die Einheit wird nach dem englischen Physiker James Prescott JOULE (J) benannt.

Früher wurde als Einheit für die Wärme auch Kalorie (1 cal) verwendet.

Umrechnung:

1 cal = 4,19 J

Die Änderung der Wärmemenge eines Stoffes kann, sofern sich sein Aggregatzustand nicht ändert, nach folgender Formel bestimmt werden.

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Dabei bedeutet:

ΔQ: Änderung der Wärmemenge in J

m: Masse des Stoffes in kg

c: spezifische Wärmekapazität in J / (kg · K)

ΔT: Temperaturänderung in K

# 3.1.2 Temperatur

Der thermische Zustand eines Körpers bzw. eines Systems wird durch die Temperatur beschrieben. Die empfundene Temperatur muss nicht der physikalischen Temperatur entsprechen. Die empfundene Temperatur hängt von der Luftgeschwindigkeit, der Luftfeuchtigkeit, der Bekleidung, der Tätigkeit und der Tatsache ob die Sonne scheint ab. Details werden im Abschnitt 2 angeführt.





Abbildung 5: Temperaturempfinden versus physikalischer Temperatur; links: Lufttemperatur: - 10 °C und Sonnenschein vor der Schihütte, rechts: + 10 °C in einer nicht beheizten Wohnung im Winter Bildquellen: links: <a href="https://presse.tirol.at">https://presse.tirol.at</a>; rechts: <a href="https://www.energieleben.at">https://www.energieleben.at</a> (30.07.2020)



Bei uns werden als Einheit Grad Celsius (°C) oder Kelvin (K) verwendet.

Tabelle 1: Formelzeichen und Anwendungen

Formelzeichen	Einheit	Anwendung
θ	°C	zur Angabe von absoluten Temperaturen, z.B. Lufttemperatur im Raum $\vartheta_i$ 20 °C;
		Lufttemperatur im Freien $\theta_e$ -5 °C
Т	К	Physikalische Berechnungen zu den Stoffzuständen immer in K Temperaturdifferenzen, z.B. Temperaturdifferenz zwischen innen und außen beträgt 25 K

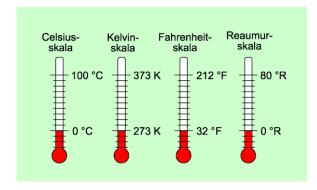


Abbildung 6: Verschiedene Temperaturskalen und deren Umrechnung

Alle Stoffe bestehen aus Teilchen, die sich in Abhängigkeit der Temperatur, mehr oder weniger stark bewegen. Je niedriger die Temperatur ist, desto weniger bewegen sich die Teilchen. Beim absoluten Nullpunkt (der tiefst möglichen Temperatur) bewegen sich die Teilchen nicht mehr. Er ist mit 0 K – bzw. - 273,15°C definiert.

# Umrechnung: $\theta = T + 273,15$

# 3.1.3 Temperaturmessung

Zur Messung der Temperatur werden Thermometer eingesetzt, wobei heute Flüssigkeitsthermometer und elektronische Thermometer am häufigsten verbreitet sind. Bei Flüssigkeitsthermometern wird die temperaturabhängige Volumenänderung der eingesetzten Flüssigkeiten (Alkohol oder Quecksilber) als Messprinzip genutzt. Sie bestehen aus einem Flüssigkeitsgefäß, einem dünnen Rohr und einer Skala. Bei elektronischen Thermometern wird die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von speziellen Halbleitermaterialien genutzt. Werden sogenannte Heißleiter verwendet, so verringert sich der elektrische Widerstand mit Erhöhung der Temperatur. Bei konstanter Spannung, erhöht sich aufgrund der Verringerung des Widerstandes die Stromstärke. Diese Änderung kann auf einem Display angezeigt werden. Die Messfühler können sehr klein ausgeführt werden.

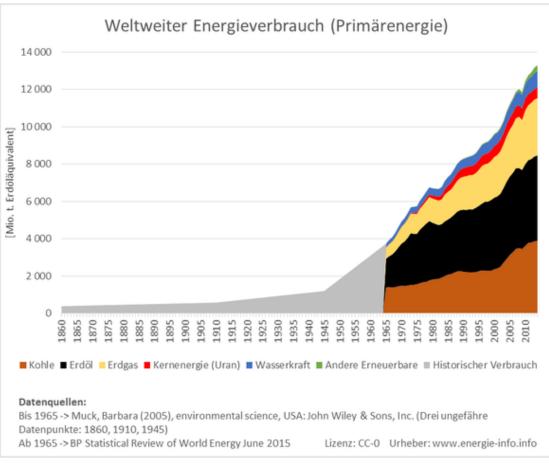


#### 3.1.4 Warum werden bei Gebäuden Wärmeschutzmaßnahmen umgesetzt?

Unsere Aufenthaltsgebäude sind aus unterschiedlichen Gründen zu dämmen:

- geringerer Energieverbrauch für Heizung & Kühlung
  - ökologische Gründe (Klimaschutz)
  - ökonomische Gründe (Kostenersparnis)
- Vermeidung von Feuchteschäden und Schimmelpilzwachstum
- Behaglichkeit

In den letzten Jahrzehnten hat der Energieverbrauch stark zugenommen. Mit der Zunahme des Energieverbrauches stiegen auch die Temperaturen und der CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Atmosphäre. Ökologische Dämmmaßnahmen bei Bestandsgebäuden und energieeffiziente Neubauten in Niedrigst- und Plusenergiebauweise stellen somit eine wichtige Klimaschutzmaßnahme dar.





weiterführende

Literatur:

Abbildung 7: Weltenergieverbrauch

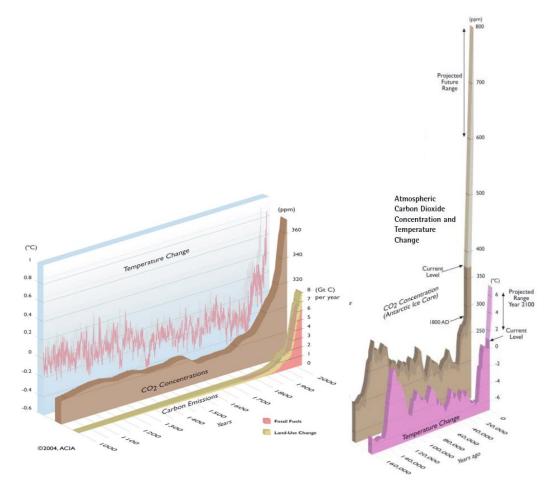


Abbildung 8: Änderung der Temperatur, der CO<sub>2</sub>-Konzentration und der Kohlenstoffemissionen während der letzten 1000 Jahre (links) & Änderung der Änderung der Temperatur und der CO<sub>2</sub>-Konzentration während der letzten 160.000 Jahre (rechts); Quelle: Arctic Climate Impact Assessment, 2004 online: <a href="https://www.acia.uaf.edu">www.acia.uaf.edu</a> (30.07.2020)

Zusätzlich werden aufgrund der Dämmungen der Gebäude die Bauteile vor Durchfeuchtungen geschützt und es können an der inneren Oberfläche aufgrund der höheren Temperaturen Kondensat und Schimmelbefall vermieden werden.

Ein weiterer Vorteil gutgedämmter Außenbauteile liegt in der höheren Behaglichkeit. Aufgrund der höheren Oberflächentemperaturen im Winter, kommt es zu einem geringeren Strahlungswärmeverlust bei den Bewohnern und Kälteabfälle können verhindert werden. Abbildung 9 zeigt die Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Fenstergröße und des U-Wertes. Für die Behaglichkeit wird eine maximale Strömungsgeschwindigkeit von 0,2 m/s angesetzt.

#### Wärmeschutz:

Klimaschutz

Bauteilschutz

Behaglichkeit

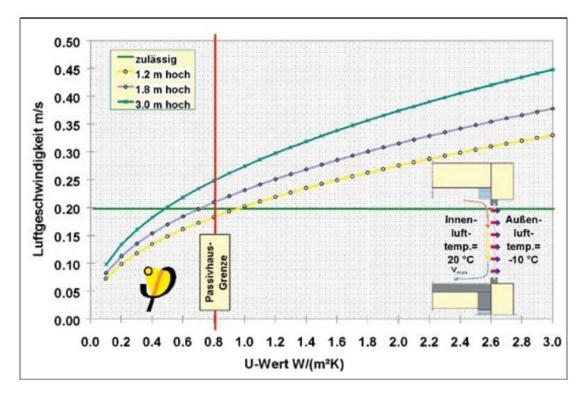


Abbildung 9: Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Fenstergröße und des U-Wertes der Fenster bei  $\vartheta_e =$  - 10 °C und  $\vartheta_i =$  20 °C; Quelle: Borsch-Laaks, Robert (2019): Beides zugleich. Baukosten und Energie sparen. In: Condetti & Co. 4 – Details in Holzhausbau und Bestand

## 3.2 Wärmetransport

Wärme wird immer von Körpern höherer Temperatur zu Körpern geringerer Temperatur transportiert. Aus diesem Grund gibt es für den Bauphysiker ausschließlich "Wärmebrücken" und keine "Kältebrücken". Hinsichtlich des Transportes kann in Wärmeleitung, Wärmeströmung (bzw. Konvektion) und Wärmestrahlung unterschieden werden.

Wärmebrücke: Übertragung von höherer zu niedriger Temperatur

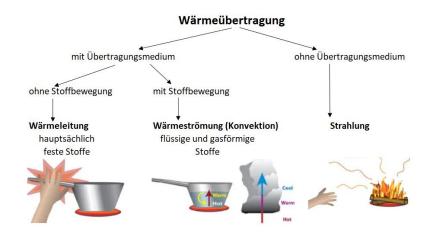
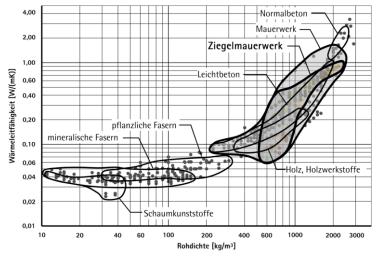


Abbildung 10: Möglichkeiten der Wärmeübertragung



## 3.2.1 Wärmeleitung

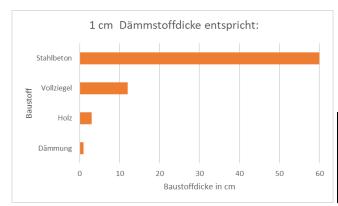
Die Wärmeleitung findet hauptsächlich in festen Stoffen infolge der Übertragung der Schwingungsenergie von einem Teilchen zum nächsten Teilchen bei unterschiedlichen Temperaturen statt. Es gibt Stoffe, die Wärme sehr gut leiten können, wie z.B. Metalle und Stoffe, die Wärme schlechter leiten können wie z.B. Holz oder Luft. Die Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) in W/mK definiert, wie gut ein Baustoff Wärme leiten kann. Sie hängt von der Rohdichte, der Struktur und der Feuchtigkeit des Baustoffes ab. Je höher die Rohdichte und die Feuchtigkeit, desto höher ist die Wärmeleitfähigkeit.



#### Bessere Dämmung:

- < Rohdichte
- > Porenanteil
- < Feuchtigkeit

Abbildung 11: Zusammenhang der Rohdichte und der Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen, Quelle: <a href="https://www.ziegel.at">www.ziegel.at</a>; (30.07.2020)



Baustoff	λ in W/mK	1 cm Dämmstoffdicke entspricht Baustoffdicke in cm
Dämmung	0,04	1
Holz	0,12	3
Vollziegel	0,58 ≅ 0,6	12
Stahlbeton	2,4	60

Abbildung 12: Äquivalente Dämmstoffdicke unterschiedlicher Baustoffe

Die durch Wärmeleitung durch einen Baustoff übertragene Wärmemenge kann mit folgender Formel ermittelt werden:

$$Q = \lambda \cdot \frac{A \cdot t \cdot \Delta \vartheta}{d}$$

Dabei sind:

Q: Wärmemenge in J

λ: Wärmeleitfähigkeit in W/mK

A: Querschnittsfläche in m²

d: Dicke des Baustoffes in m

t: Zeitraum in s

 $\Delta 9$ : Temperaturunterschied in K



## 3.2.2 Wärmeströmung (Konvektion)

Bei der Konvektion erfolgt die Wärmeübertragung durch strömende Flüssigkeiten oder Gase. Die Übertragungsmenge ist von dem Stoff, welcher die Wärme transportiert, der Strömungsgeschwindigkeit, der durchströmten Fläche, dem Temperaturunterschied und der Zeit abhängig. Man kann zwischen freier (natürlicher) und erzwungener Konvektion unterscheiden. Freie Konvektion tritt aufgrund von Dichteunterschieden (z.B. durch Temperaturunterschiede) auf. Von einer erzwungenen Konvektion spricht man, wenn äußere Einwirkungen (z.B. Pumpen) zu einer Strömung führen.

Unterscheide:

Freie und erzwungene Konvektion

Beispiele für Wärmeströmung sind:

- Warmwasserheizung: Wasser transportiert die Wärme durch die Leitungen
- Luftströmungen: Wärmeverluste durch undichte Bauteile und Bauteilanschlüsse (siehe hierzu auch Abschnitt 5)

## 3.2.3 Wärmestrahlung

Bei der Wärmestrahlung handelt es sich um elektromagnetische Strahlung, die ein Körper aufgrund seiner Temperatur an die Umgebung (niedrigere Temperatur) abgibt. Im Gegensatz zu Wärmeströmung und Wärmeleitung findet Wärmestrahlung auch im Vakuum statt. Es ist kein Träger erforderlich. Man kann zwischen der kurzwelligen Sonnenstrahlung und der langwelligen Abstrahlung von Personen und Gegenständen unterscheiden. Die Intensität der Strahlung ist von der Temperatur abhängig. Je höher die Temperatur, desto höher ist die Intensität und desto kürzer sind die Wellenlänge, siehe Abbildung 14. Das Maximum der Intensität der Wärmestrahlung der Sonne (orange befindet sich im sichtbaren Lichtbereich Linie). ienes Umgebungstemperatur auf der Erde (rote Linie) im Infrarotbereich mit Wellenlängen von ca. 10 μm.

Wellenlänge	Wellenart
1000 km 100 km 10 km	Tonfrequente Wechselströme
1 km 100 m 10 m 1 m	Rundfunkwellen
10 cm 1 cm 1 mm	Mikrowellen
100 μm 10 μm 1 μm	Infrarotstrahlung
100 nm	sichtbares Licht
10 nm	Ultraviolettstrahlung
1 nm 0,1 nm 0,01 nm 0,001 nm	Röntgenstrahlung
0,000 1 nm 0,000 01 nm	Gammastrahlung

Abbildung 13: elektromagnetisches Spektrum

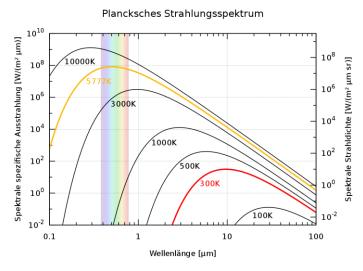


Abbildung 14: Intensität der Schwarzkörperstrahlung in Abhängigkeit von der Wellenlänge bei unterschiedlichen Temperaturen, Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmestrahlung, (01.08.2020)

Wärmestrahlung, die auf Oberflächen auftrifft, wird teilweise reflektiert und teilweise absorbiert. Dunkle und raue Oberflächen können mehr Wärmestrahlung aufnehmen.

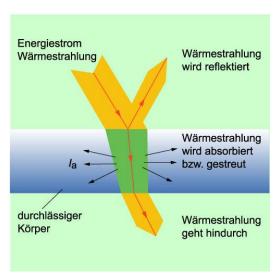


Abbildung 15: Wärmestrahlung, die auf Körper trifft, Quelle: <a href="https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/">https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/</a> <a href="physik/artikel/waermestrahlung">physik/artikel/waermestrahlung</a>, (01.08.2020)

Der Emissionsgrad  $\varepsilon$  charakterisiert die Oberflächenbeschaffenheit und gibt an, um wie viel ein Körper weniger Strahlung aussendet, als ein idealer schwarzer Strahler.

$$q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

#### Dabei sind:

Q: Wärmemenge in J

ε: Emissionsgrad (dimensionslos)

σ: Stefan-Boltzmann-Konstante 5,67\*10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>)

T: Temperatur in K



#### 3.3 U-Wert von Bauteilen

Die Berechnung des U-Wertes erfolgt nach ÖNORM EN ISO 6946.

## 3.3.1 homogene Bauteile

$$U = \frac{1}{R_T}$$

$$R_T = R_{si} + R + R_{se}$$

Dabei sind:

U: Wärmedurchgangskoeffizient in W/(m²K)

R<sub>T</sub>: Wärmedurchgangswiderstand in m<sup>2</sup>K/W

Rsi: Wärmeübergangswiderstand innen in m²K/W

R<sub>se</sub>: Wärmeübergangswiderstand außen in m<sup>2</sup>K/W

R: Wärmedurchlasswiderstand in m<sup>2</sup>K/W

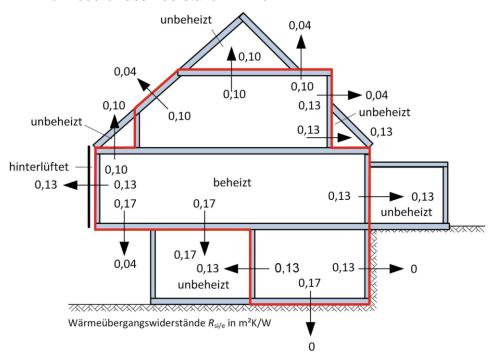


Abbildung 16: Wärmeübergangswiderstände nach ÖNORM EN ISO 6949

$$R = \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{\lambda_i}$$

Dabei sind:

R: Wärmedurchlasswiderstand in m<sup>2</sup>K/W

di: Bauteildicke der einzelnen Baustoffe in m

λ<sub>i</sub>: Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Baustoffe W/mK



#### Berechnungsbeispiel:

Berechne den U-Wert für folgende Außenwand in Brettsperrholzbauweise mit einer hinterlüfteten Fassade:

#### Berechnungsablauf:

- 1. Dicke der Baustoffschichten in Meter festlegen
- 2. Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  der Baustoffschichten aus Bautabellen, der Normung oder Prüfberichten entnehmen
- 3. Wärmeübergangswiderstände nach Abbildung 16 auswählen
- 4. Berechnung von R,  $R_T$  und U

Baustoff	Dicke in m	l in W/mK	R in m <sup>2</sup> /mK	Bemerkung
GKF	0,015	0,21	0,071	
BSP	0,1	0,12	0,833	
Weichfaser	0,2	0,04	5,000	
Windpapier				geringer Wert
Hinterlüftung	0,05			ab Hinterlüftung
Holzschalung	0,019			nicht rechnen
W	/ärmedurchlas	swiderstand R	5,905	m²K/W
Wärmeüb	ergangswiders	tand innen R <sub>si</sub>	0,13	m²K/W
Wärmeübe	rgangswiderst	and außen R <sub>se</sub>	0,13	m²K/W
Wär	medurchgangs	widerstand R <sub>T</sub>	6,165	m²K/W
Wär	medurchgang	skoeffizient U	0,16	W/m²K

Der U-Wert beträgt 0,16 W/m<sup>2</sup>K.

## 3.3.2 Inhomogene Bauteile

Bei inhomogenen Bauteilen (Bauteil mit mehreren Schichten in einer Ebene) ist der Mittelwert aus dem oberen und den unteren Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstand zu bilden.

#### 3.3.2.1 Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes R<sub>T</sub>':

Beim oberen Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_T$  ist die Annahme, dass der Wärmestrom senkrecht von innen (warm) nach außen (kalt) erfolgt. Der Bauteil wird in gleiche Abschnitte unterteilt. Für jeden Abschnitt wird  $R'_{T,i}$  (selbes Prinzip, wie für homogene Bauteile) berechnet und anschließend erfolgt entsprechend der Flächenanteile der einzelnen Abschnitte eine Wichtung.

$$\frac{1}{R_T'} = \sum_{i=1}^n \frac{f_i}{R'_{T,i}}$$

Dabei sind:

R'<sub>T</sub>: oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes in (m<sup>2</sup>K)/W

fi: Flächenanteile der einzelnen Abschnitte

R'<sub>T,i</sub>: Wärmedurchgangswiderstand der einzelnen Abschnitte in (m<sup>2</sup>K)/W



#### 3.3.2.2 Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes R<sub>T</sub>":

Beim unteren Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes  $R_T$ " gilt die Annahme, dass alle Schichten parallel zur Bauteiloberfläche dieselbe Temperatur (isotherm) aufweisen. Es erfolgt eine Wichtung der Wärmedurchlasswiderstände der einzelnen Baustoffe in den inhomogenen Schichten entsprechend der jeweiligen Flächenanteile in dieser Ebene und anschließend werden die Wärmedurchlasswiderstande aller Schichten addiert.

$$\frac{1}{R_{TE}} = \frac{f_H}{R_H} + \frac{f_D}{R_D}$$

Dabei gilt:

R<sub>TE</sub>: Durchlasswiderstand in der inhomogenen Tragebene (z.B. Holz und Dämmung)

f<sub>H</sub>: Flächenanteil Holz in der Tragebene

f<sub>D</sub>: Flächenanteil Dämmung in der Tragebene

R<sub>H</sub>: Durchlasswiderstand Holz in der Tragebene ( $R_H = \frac{d_{Holz}}{\lambda_{Holz}}$ )

R<sub>D</sub>: Durchlasswiderstand Dämmung in der Tragebene ( $R_D = \frac{d_{D\ddot{a}mmung}}{\lambda_{D\ddot{a}mmung}}$ )

#### 3.3.2.3 Wärmedurchgangswiderstandes R<sub>T</sub>:

$$R_T = \frac{R_T^{'} + R_T^{''}}{2}$$

$$U = \frac{1}{R_T}$$

#### Aufgabe:

Berechne für folgende inhomogene Außenwand in Holzrahmenbauweise den U-Wert

Baustoff	Dicke in m	λin W/mK	Anteile	Bemerkung
GKF	0,0125	0,21		
Dampfbremse				
OSB	0,015	0,13		
Holzsteher	0,16	0,12	6 von 62,6	inhomogener
Gefachdämmung	0,16	0,04	56,5 von 62,5	Bereich
Gipsfaserplatte	0,015	0,21		
Weichfaserplatte	0,06	0,055		
Putz	0,007	1		

#### Berechnungsablauf:

- Dicke der Baustoffschichten in Meter festlegen
- 2. Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  der Baustoffschichten aus Bautabellen, der Normung bzw. Prüfberichten entnehmen
- 3. Wärmeübergangswiderstände nach Abbildung 16 auswählen
- 4. Berechnung R<sub>T</sub>
- Berechnung R<sub>T</sub>"
- 6. Berechnung R<sub>T</sub>
- 7. Berechnung des U-Wertes



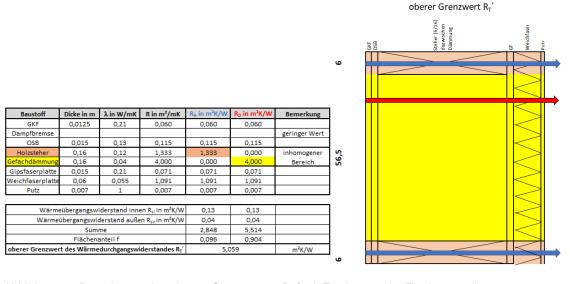


Abbildung 17: Berechnung des oberen Grenzwertes R⊤ mit Festlegung der Flächenanteile

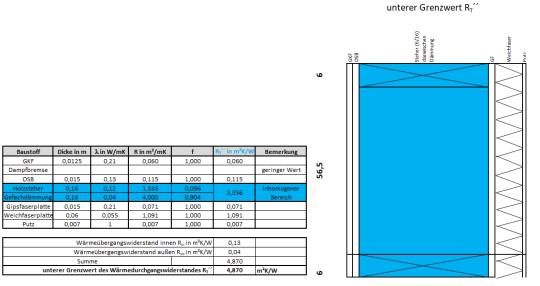


Abbildung 18: Berechnung des unteren Grenzwertes RT"

Wärmedurchgangswiderstand R <sub>T</sub>	4,965 m <sup>2</sup> K/W
U-Wert:	0,20 W/m²K

# 3.4 U-Wert Berechnung Fenster Uw

# 3.4.1 Fenster mit Isolierverglasung

Der U-Wert eines Fensters (U<sub>W</sub>) hängt von den wärmetechnischen Eigenschaften und der Flächen von Rahmen und Verglasung sowie der Länge und der Größe der Wärmebrücke des Glasrandverbundes ab. Je kleiner ein Fenster ist, desto größer ist der prozentmäßige Rahmenanteil, der i.d.R. die schlechteren Dämmeigenschaften aufweist. Heute stellen Dreischeibenisolierverglasungen den Stand der Technik dar.



Die Berechnung erfolgt nach folgender Formel:

$$U_W = \frac{U_f \cdot A_f + U_g \cdot A_g + \Psi \cdot l}{A_w}$$

Dabei gilt:

U<sub>w</sub>: U-Wert des Fensters in W/m<sup>2</sup>K

 $A_w$ : Fensterfläche (Architekturlichte) in  $m^2$   $U_f$ : U-Wert des Rahmenanteils in W/ $m^2$ K

A<sub>f</sub>: Fläche des Rahmenanteils in m² (größere der beiden auf Fensterebene

projizierten Rahmenflächen von innen und von außen gesehen)

U<sub>g</sub>: U-Wert der Verglasung in W/m<sup>2</sup>K

A<sub>g</sub>: Fläche der Verglasung in m² (Glasflächen durch die Tageslicht dringt)
 Ψ: längenbezogener Wärmebrückenleitwert für Glasrandverbund in W/mK

I: Länge des Glasrandverbundes in m

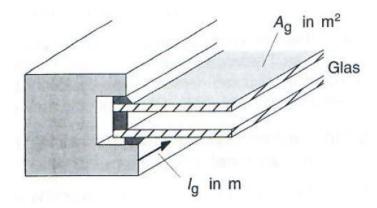


Abbildung 19: schematische Skizze zur Bestimmung von  $A_g$  und  $I_g$ 

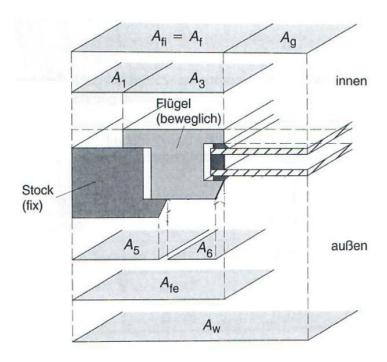


Abbildung 20: schematische Skizze zur Bestimmung von Af, Ag und Aw



#### 3.4.2 Kastenfenster

Bei Kastenfenstern berechnet sich Uw folgendermaßen:

$$U_W = \frac{1}{\frac{1}{U_{W_1}} - R_{si} + R_S - R_{se} + \frac{1}{U_{W_2}}}$$

Dabei gilt:

U<sub>w</sub>: U-Wert des Fensters in W/m<sup>2</sup>K

 $U_{w1}, U_{W2}$ : U-Werte des inneren und des äußeren Fensters in W/m²K (berechnet

nach Formel in Abschnitt 3.4.1)

 $R_{si}$ : innerer Wärmeübergangswiderstand des äußeren Fensters in  $m^2K/W$   $R_{se}$ : äußerer Wärmeübergangswiderstand des inneren Fensters in  $m^2K/W$   $R_s$ : Wärmedurchlasswiderstand der Luftschicht zwischen den Gläsern der beiden Fenster in  $m^2K/W$ 

Flügel Stock (beweglich)

Glas (einfach, zweifach, dreifach)  $R_{si}$   $\frac{1}{U_{w}}$ 

Abbildung 21: Kastenfenster mit den Bezeichnungen für die Berechnung von Uw

#### 3.4.3 Kennwerte

Tabelle 2: Wärmedurchlasswiderstand ruhender Luftschichten, Quelle: ÖNORM EN ISO 6946

Dicke der Luftschicht	Wärmedurchlasswiderstand m <sup>2</sup> ·K/W Richtung des Wärmestroms			
mm	aufwärts	horizontal	abwärts	
0	0,00	0,00	0,00	
5	0,11	0,11	0,11	
7	0,13	0,13	0,13	
10	0,15	0,15	0,15	
15	0,16	0,17	0,17	
25	0,16	0,18	0,19	
50	0,16	0,18	0,21	
100	0,16	0,18	0,22	
300	0,16	0,18	0,23	



		Glasqualität (U <sub>G</sub> -Werte)											
U <sub>w</sub> -Werte von Fenstern		1-fach- Glas		2-fach- soglas 1970-90 WS		2-fach- /S-Glas 1990		2-fach- WS-Glas 2000		3-fach- WS-Glas 1995			
		5,2	3,2	2,8	1,5	1,3	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	
	4,0	5,2	4,0 (alu)	3,7 (alu)	2,9 (alu)	2,7 (alu)	2,6 (alu) 2,3 (ss)	2,4 (alu) 2,2 (ss)	2,3 (alu) 2,0 (ss)	2,2 (alu) 2,0 (ss)	2,2 (alu) 1,9 (ss)	2,1 (alu) 1,8 (ss)	
Rahmenqualität (U <sub>F</sub> -Werte)	3,5	5,1	3,8 (alu)	3,5 (alu)	2,7 (alu)	2,6 (alu)	2,4 (alu) 2,2 (ss)	2,3 (alu) 2,1 (ss)	2,2 (alu) 1,9 (ss)	2,1 (alu) 1,8 (ss)	2,0 (alu) 1,8 (ss)	1,9 (alu) 1,7 (ss)	
	3,0	5,0	3,6 (alu)	3,4 (alu)	2,5 (alu)	2,4 (alu)	2,3 (alu) 2,0 (ss)	2,1 (alu) 1,9 (ss)	2,0 (alu) 1,7 (ss)	1,9 (alu) 1,7 (ss)	1,9 (alu) 1,6 (ss)	1,8 (alu) 1,5 (ss)	
	2,5	4,9	3,5 (alu)	3,2 (alu)	2,3 (alu)	2,2 (alu)	2,1 (alu) 1,9 (ss)	2,0 (alu) 1,8 (ss)	1,9 (alu) 1,6 (ss)	1,8 (alu) 1,6 (ss)	1,8 (alu) 1,5 (ss)	1,7 (alu 1,4 (33)	
	2,0	4,8	3,3 (alu)	3,0 (alu)	2,2 (alu)	2,0 (alu)	2,0 (alu) 1,8 (ss)	1,8 (alu) 1,6 (ss)	1,7 (alu) 1,5 (ss)	1,7 (alu) 1,4 (ss)	1,6 (alu) 1,3 (ss)	1,5 (alu 1,3 (ss)	
	1,8	4,7	3,2 (alu)	3,0 (alu)	2,1 (alu)	2,0 (alu)	1,9 (alu) 1,7 (ss)	1,8 (alu) 1,6 (ss)	1,7 (alu) 1,4 (ss)	1,6 (alu) 1,3 (ss)	1,5 (alu) 1,3 (ss)	1,5 (alu 1,2 (ss)	
	1,6	4,6	3,2 (alu)	2,9 (alu)	2,0 (alu)	1,9 (alu)	1,8 (alu) 1,6 (ss)	1,7 (alu) 1,5 (ss)	1,6 (alu) 1,3 (ss)	1,5 (alu) 1,3 (ss)	1,5 (alu) 1,2 (ss)	1,4 (alu 1,1 (ss)	
	1,4	4,5	3,1 (alu)	2,8 (alu)	2,0 (alu)	1,8 (alu)	1,8 (alu) 1,5 (ss)	1,6 (alu) 1,4 (ss)	1,5 (alu) 1,3 (ss)	1,5 (alu) 1,2 (ss)	1,4 (alu) 1,1 (ss)	1,3 (alu 1,1 (ss)	
	1,2	****	2,9 (alu)	2,7 (alu)	1,9 (alu)	1,8 (alu)	1,7 (alu) 1,5 (ss)	1,6 (alu) 1,3 (ss)	1,5 (alu) 1,2 (ss)	1,4 (alu) 1,1 (ss)	1,3 (alu) 1,1 (ss)	1,3 (alu 1,0 (ss)	
	1,0		2,9 (alu)	2,4 (alu)	1,8 (alu)	1,7 (alu)	1,6 (alu) 1,4 (ss)	1,5 (alu) 1,3 (ss)	1,4 (alu) 1,1 (ss)	1,3 (alu) 1,1 (ss)	1,3 (alu) 1,0 (ss)	1,2 (alu 0,9 (ss)	
	0,8	****	****	1000	1005	****	1,5 (alu) 1,3 (ss)	1,4 (alu) 1,2 (ss)	1,3 (alu) 1,0 (ss)	1,2 (alu) 1,0 (ss)	1,2 (alu) 0,9 (ss)	1,1 (alu 0,9 (ss)	
	0,6		****				1,4 (alu) 1,2 (ss)	1,3 (alu) 1,1 (33)	1,2 (alu) 1,0 (ss)	1,1 (alu) 0,9 (ss)	1,1 (alu) 0,8 (ss)	1,0 (alu) 0,8 (ss)	

3-fach WS-Glas: Stand der Technik Ug < 0,8 W/m²K

(alu) / (es) = Aluminium- oder Edelstahl-Abstandshalter zwischen den Glasscheiben

@ NEI 2008

Abbildung 22: Übersicht der Glasqualitäten und deren Entwicklung in den letzten Jahrzenten; Quelle: <a href="https://nei-dt.de/fachinformationen/altbau-sanierung/fenster/">https://nei-dt.de/fachinformationen/altbau-sanierung/fenster/</a>, (07.08.2020)

#### **Zusatzinfo:**

Die thermische Qualität der Verglasungen hat einen wesentlichen Einfluss auf die Behaglichkeit eines Raumes, siehe auch Abbildung 9. Je geringer der U-Wert, desto geringer ist die Energie, die von Personen im Winter abgestrahlt wird und desto geringer ist der Kaltluftabfall an der Fensterscheibe. Heizkörper müssen nicht mehr vor den Fenstern platziert werden!

Behaglichkeit

Position der

Heizung

### **VERSUCH:**

U<sub>W</sub>: Bestimmung und Interpretation des U-Wertes eines Fensters



# 4 Wärmebrücken und Infrarotthermografie

#### 4.1 Definition und Arten von Wärmebrücken

Wärmebrücken stellen örtlich begrenzte Stellen in der Gebäudehülle mit höherer Wärmestromdichte q als in den benachbarten Bauteilbereichen dar. Je größer q, desto mehr Wärme wird durch das Bauteil transportiert und umso größer ist der Wärmeverlust. Im Winter sind Wärmebrücken gekennzeichnet durch niedrigere innere Oberflächentemperaturen und höhere Temperaturen an der Außenseite. Im Bereich von Wärmebrücken kann es an der Innenseite der Bauteile zu Schimmel und Kondensat kommen, siehe auch Abschnitt 6.3. Hinsichtlich der Form unterscheidet man zwischen linienförmigen ( $\psi$ ) und punktförmigen ( $\chi$ ) Wärmebrücken. Beispiele für linienförmige sind z.B. Außenecken, Fenstereinbauten. Punktförmige liegen vor bei Stützenauflager im Freien von auskragenden Decken und bei Dübel von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS).

#### Man unterscheidet:

- Geometrische Wärmebrücken (Außenoberfläche größer als Innenoberfläche, z.B. Ecken)
- Stoffliche Wärmebrücken (Baustoffe mit >  $\lambda$  in einer Ebene, z.B. Stahlbetonoder Stahlstützen)
- Konstruktive Wärmebrücken (z.B. auskragende Balkonplatte)
- Konvektive Wärmebrücken (Undichtheiten in der luftdichten Ebene)

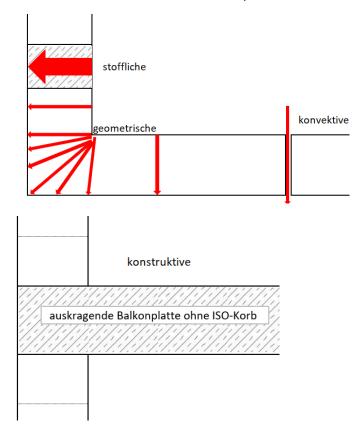


Abbildung 23: Arten von Wärmebrücken

Wärmebrücken vermeiden:

Energieverlust Feuchte Schimmel



#### 4.2 Nachweis von Wärmebrücken

Die Korrekturfaktoren der Wärmebrücken können in Wärmebrückenkatalogen nachgeschlagen werden oder mittels Wärmebrückenberechnungsprogrammen ermittelt werden.

## 4.3 Infrarotthermografie

Die Thermografie ist ein bildgebendes Verfahren zur Anzeige der Oberflächentemperatur von Objekten. Dabei wird die Intensität der Infrarotstrahlung, die von einem Punkt ausgeht, als Maß für dessen Temperatur gedeutet. Eine Wärmebildkamera wandelt die für das menschliche Auge unsichtbare Infrarotstrahlung in elektrische Signale um. Daraus erzeugt die Kamera ein Bild in Falschfarben.

Je nach Lage unterscheidet man zwischen Außen- und Innenthermografie. Außenaufnahmen liefern einen besseren Überblick, sind aber bei hinterlüfteten Bauteilen unbrauchbar und von den Witterungsbedingungen abhängig. Innenaufnahmen können in Kombination mit Blower Door Messungen (siehe auch Abschnitt 0) zur Visualisierung der Leckagen verwendet werden und liefern Informationen zu Wärmebrücken bei hinterlüfteten Bauteilen.

Bei der Durchführung von Thermografieaufnahmen sind folgende Punkte zu beachten:

- $\Delta T > 20 \text{ K}$  (daher in der kalten Jahreszeit)
- Vermeidung von Sonnenstrahlung (daher vor Sonnenaufgang)
- Nachtabsenkung des Gebäudes ausschalten (3-5 Tage vorheizen)
- Fenster geschlossen halten
- keine Thermografie bei Nebel, Regen, Schnee (Verrauschen d. Thermogramms)
- möglichst geringer Messabstand (Einfluss der Atmosphäre)
- klaren Nachthimmel wegen Abkühlung aufgrund der Abstrahlung ins Weltall (-80°C bis -90°C) berücksichtigen
- Achtung bei Verglasungen und Fliesen kann es zu Spiegelungen kommen (Infrarotstrahlung geht nicht durch Verglasungen)

#### 4.4 Weiterführende Literatur:

Fouad, N.; Richter, T. (2008): Infrarot-Thermografie zur Schadensdiagnostik im Bauwesen. In: Der Bausachverständige 2 2008, S. 10-18. Online: <a href="https://docplayer.org/68609192-Infrarot-thermografie-zur-schadensdiagnostik-im-bauwesen.html">https://docplayer.org/68609192-Infrarot-thermografie-zur-schadensdiagnostik-im-bauwesen.html</a> (08.08.2020)

#### **VERSUCH:**

Gebäudethermografie: Orten und Interpretieren von Wärmebrücken

zur Interpretation immer Temperaturskala beachten!



## 5 Luft- und Winddichtheit der Gebäudehülle

#### 5.1 Definition

Luftdichtheit bezeichnet Fähigkeit einer Schichte (innenseitige Luftdichtheitsebene) eine Durchströmung der Gebäudehülle zu verhindern. Aufgrund von Fehlstellen in der luftdichten Ebene (sogenannte Leckagen) kann es zu Luftströmungen (Konvektion) durch die Gebäudehülle kommen. Diese stellen unkontrollierte Lüftungswärmeverluste dar, verschlechtern den Schallschutz, können zu Feuchteschäden in der Konstruktion führen und negative Einflüsse auf den Brandschutz und die Hygiene darstellen.

Winddichtheit bezeichnet die Fähigkeit einer außenseitigen Schichte eine schädliche Luftdurchströmung des Wärmedämmstoffes (Reduktion des Wärmedämmwertes) aufgrund einer Durch- oder Unterströmung der Wärmedämmung durch Wind zu verhindern. Im Zuge der Detailplanung und der Ausführung ist auf durchgängige windbzw. luftdichte Ebenen zu achten, siehe Abbildung 24.

- Energieeinsparung
- Behaglichkeit
- Feuchteschutz
- Schallschutz

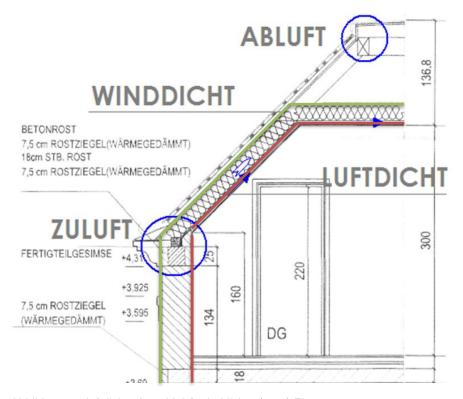


Abbildung 24: luftdichte (rote Linie) winddichte (grün) Ebene

Die luftdichte Ebene stellen in der mineralischen Bauweise der Innenputz und in der Holzbauweise die Dampfbremse, die OSB mit verklebten Stößen oder Brettsperrholzplatten mit abgedichteten Elementstößen dar. Eine verspachtelte Gipskartonplatte ist grundsätzlich auch luftdicht. Aufgrund der Durchdringungen durch Elektroinstallationen (vgl. Innenputz bei Hohllochziegel) werden im Holzbau häufig gedämmte Installationsebenen ausgeführt. Die winddichte Ebene ist bei hinterlüfteten Bauteilen das diffusionsoffene Windpapier bzw. die Vordeckung bei Steildächern und der Außenputz bei WDVS.

Luft- und
winddichte
Ebenen
konsequent
planen!



## 5.2 Anforderungen

Die Luftdichtheit der Gebäudehülle stellt seit Jahrzehnten ein wesentliches Qualitätsmerkmal der Niedrigenergiebauweise dar. Seit den 1990-er Jahren führten umfassende Untersuchungen zu den Auswirkungen von Leckagen in der luftdichten Ebene auf Energieverlust und Dauerhaftigkeit zur Entwicklung bautechnischer Lösungen.

Die Anforderungen an den Wärmeschutz sowie die Luft- und Winddichtheit der Gebäudehülle werden durch die OIB-Richtlinie 6, welche in allen österreichischen Bundesländern verbindlich eingeführt wurde, geregelt. Es wird gefordert, dass beim Neubau eine dauerhafte Luft- und Winddichtheit sicherzustellen ist. Diese Formulierung wird häufig als eine 100 % Anforderung missverstanden. Während hinsichtlich der Luftdichtheit, Grenzwerte an den n<sub>50</sub> angeführt sind, gibt es für die Winddichtheit keinerlei.

wohnungsweise
Anforderung;
Achtung bei
Schächten und
Installationen

Tabelle 3: Anforderungen an die Luftdichtheit (Achtung in Österreich wohnungsweise)

Gebäude	Luftwechsel bei Druck- differenz von 50 Pa n <sub>50</sub> in 1/h	Bemerkungen
Fensterlüftung	≤ 3,0	Anforderungen It.
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	≤ 1,5	OIB RL 6
Passivhaus	≤ 0,6	Empfehlung

#### Baupraktischer Hinweis:

Achtung bei Wohnungen ohne Lüftungsanlage kann es bei zu dichten Gebäudehüllen (i.d.R. liegen n<sub>50</sub> Werte < 1,0 h<sup>-1</sup> vor) zu Problemen kommen, wenn keine bzw. falsch dimensionierte Nachströmöffnungen bei Naßraumlüfter vorhanden sind. Es können Unterdrücke von bis zu 50 Pa entstehen, dadurch kann es zu einem Ansaugen von Luft aus Installationsschächten, Nachbarwohnungen etc., bzw. zu Lärmentstehung (Pfeifen im Türfalz) und Problemen beim Öffnen der Eingangstüren kommen.

# 5.3 Prüfung der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle (Blower Door Test)

# 5.3.1 Grundlagen

Die Prüfung der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle erfolgt mit dem sogenannten Blower Door Test nach ÖNORM EN ISO 9972. Dabei wird in die Eingangstür oder in ein Fenster ein Ventilator eingebaut, welcher einen Unter- bzw. Überdruck im Gebäude erzeugt. Bei einer konstanten Druckdifferenz von beispielsweise 50 Pa wird der Volumenstrom der Luftströmung am Ventilator gemessen. Die durch den Ventilator geförderte Luftmenge strömt durch Leckagen in der Gebäudehülle nach, siehe Abbildung 25



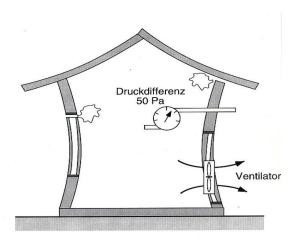


Abbildung 25: schematische Darstellung der Unterdruckmessung beim Blower Door Test

In ÖNORM EN ISO 9972 werden drei Verfahren zur Prüfung der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle definiert:

• Verfahren 1:

Messung im Nutzungszustand

Verfahren 2:

Messung während der Bauphase zur Qualitätssicherung

Verfahren 3:

Sondermessungen

Eine Messung muss immer folgende drei Bereiche beinhalten:

- Unterdruckmessung (mehrere Druckstufen, z.B. 10, 20, 30, 40, 50 Pa)
- Leckageortung (bei z.B. 50 Pa Unterdruck)
- Überdruckmessung (mehrere Druckstufen, z.B. 10, 20, 30, 40, 50 Pa)

$$n_{50} = \frac{\dot{V}}{V}$$

Dabei gilt:

n<sub>50</sub>: Luftwechsel bei 50 Pa Differenzdruck in h<sup>-1</sup>

∀: Volumenstrom(Mittelwert aus Über- und Unterdruck) in m³/h

V: Luftvolumen in m³



BlowerDoor-Messung Seite 1

	Unterdruck	Überdruck	Mittelwerte	
Messergebnisse bei 50 Pascal:				
V50: m³/h Leckagestrom	138 (+/- 1.1 %)	136 (+/- 3.6 %)	137	
n50: 1/h (Luftwechselrate)	0.37	0.36	0.37	

Abbildung 26: beispielhafter Auszug aus einem Messprotokoll; Volumenstrom und n₅₀ bei Unterdruck, Überdruck und Mittelwert



## 5.3.2 Beurteilung von Leckagen

Bei einer Beurteilung der Leckagen sind folgende Parameter zu berücksichtigen:

- Konstruktion (Aufbau, Robustheit im Umgang mit konvektivem Feuchteeintrag durch hohe Trocknungsreserven)
- Lage im Gebäude (z.B. Obergeschoß unter dem Dach im Bereich der Überdruckzone oder im Erdgeschoß; vgl. Abbildung 27)
- Größe der Leckagefläche
- Strömungsgeschwindigkeit bei z.B. 50 Pa Differenzdruck
- Art der Raumnutzung und innere Feuchtelast

Aufgrund der Thermik (warme Luft steigt auf) kommt es im Winter in den Gebäuden im oberen Bereich zu einem Überdruck und im unteren Bereich zu einem Unterdruck, siehe Abbildung 27. Die Höhe des Druckes hängt von Temperaturunterschied zwischen innen und außen und der Höhe der zusammenhängenden Luftschicht ab. Bei zweigeschoßigen Gebäuden kann sich eine Druckdifferenz von 5 Pa ergeben.

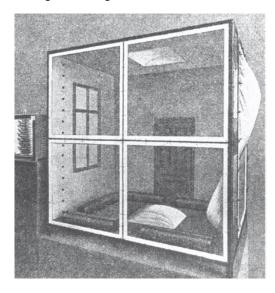


Abbildung 27: Druckverhältnisse in einem Gebäude aufgrund der Thermik, Quelle: Borsch-Laaks, Robert (2006): Risiko Dampfkonvektion. Wann gibt s wirklich Schäden? In: Holzbau - die neue quadriga (3), S. 17–22.

Mit folgender Formel kann der Druckunterschied aufgrund der Temperaturunterschiede in Abhängigkeit der Höhe der zusammenhängenden Luftschicht ermittelt werden:

 $\Delta p = \frac{h}{2} \cdot 3456 \cdot (\frac{1}{T_e} - \frac{1}{T_i})$ 

Dabei gilt:

Δp: Differenzdruck über die Konstruktion in Pa:h: Höhe des zusammenhängenden Luftraums in m

T<sub>e</sub>: Außenlufttemperatur in K T<sub>i</sub>: Innenlufttemperatur in K keine
quantitative
Bewertung mit
Anemometer
von Leckagen
möglich



Zur qualitativen Darstellung von Leckagen können Rauchstäbchen, Nebelmaschinen, Strömungsgeschwindigkeitsmessgeräte (Anemometer) und Aufnahmen mit Infrarotkameras verwendet werden.

#### 5.4 Weiterführende Literatur:

#### Bewertung von Leckagen generell:

Hrsg. Fachverband für Luftdichtheit im Bauwesen e.V.: Bewertung von Fehlstellen in Luftdichtheitsebenen – Handlungsempfehlung für Baupraktiker. Berlin 2016. Online: <a href="https://www.flib.de/publikationen/forschungsbericht/FLiB\_Forschungsbericht\_2016.pdf">www.flib.de/publikationen/forschungsbericht/FLiB\_Forschungsbericht\_2016.pdf</a> (08.08.2020)

#### Luftdichtheit im Holzbau:

Borsch-Laaks, Robert (2006): Risiko Dampfkonvektion. Wann gibt s wirklich Schäden? In: Holzbau - die neue guadriga (3), S. 17–22.

Teibinger, Martin: Luftdichtheit - wohin geht´s? Luftdichtheit - Luftdurchlässigkeit und Leckagebewertung. In: Holzbau die neue quadriga, 03/2019, S. 15–18. Online: <a href="https://derteibinger.at/wordpress/wp-content/uploads/2020/04/Teibinger\_Luftdichtheit-wohin-geht%C2%B4s\_dnq3\_2019-S15-18.pdf">https://derteibinger.at/wordpress/wp-content/uploads/2020/04/Teibinger\_Luftdichtheit-wohin-geht%C2%B4s\_dnq3\_2019-S15-18.pdf</a> (08.08.2020)

#### **VERSUCH:**

Blower Door Test: Prüfung der Luftdurchlässigkeit eines Klassenzimmers, Leckageortung und Interpretation der Ergebnisse



# 6 Grundlagen zum Feuchteschutz

# 6.1 Luftfeuchtigkeit

Luft setzt sich als Gasgemisch aus folgenden Bestandteilen zusammen:

Stickstoff: ca. 78 %Sauerstoff: ca. 21 %Edelgase: ca. 1%

Kohlendioxid: ca. 0,03 %

Wasser (gasförmig)

Der Luftdruck setzt sich aus den Teildrücken (Partialdrücken) der einzelnen Gase zusammen. Unter Wasserdampf-Partialdruck p versteht man somit den Teildruck des Wasserdampfes am gesamten vorhandenen Luftdruck.

Damit Wasser gasförmig auftreten kann, muss die Bewegungsenergie der Moleküle größer sein als ihre Anziehungskraft untereinander. Ist dies nicht der Fall, ziehen sie sich gegenseitig an und Wasser kann nicht verdunsten bzw. verdampfen. Mit steigender Temperatur erhöhen sich die Bewegungsenergie der Moleküle und somit auch die Anzahl von Wassermolekülen im Raum - sofern genügend flüssiges Wasser vorhanden ist von dem sie entweichen - können. Entweichen nun genau so viele Wassermoleküle von der Wasseroberfläche wie aus dem Gasraum auf diese Oberfläche auftreffen und dort wieder "festgehalten" werden, so ist ein Gleichgewicht erreicht. Der Gasraum ist dann "wasserdampfgesättigt" und kann nicht mehr Feuchtigkeit aufnehmen. In diesem Zustand wird der Druck, den die Wassermoleküle erzeugen, Wasserdampf-Sättigungsdruck oder Sättigungsdampfdruck ps (bzw. psat) bezeichnet. Im Außenbereich liegt der Sättigungsdampfdruck ps nur bei Regen oder Nebel vor. Bei "normalen" Bedingungen ist der tatsächlich vorhandene Partialdruck des Wasserdampfes kleiner als der Sättigungsdampfdruck.

Der Wassergehalt wird als absolute oder relative Luftfeuchtigkeit angegeben:

- absolute Luftfeuchtigkeit u: vorhandene Menge an gasförmigen Wasser in kg pro Volumeneinheit Einheit: kg/m³
- relative Luftfeuchtigkeit φ: Die relative Luftfeuchte (r.Lf.) gibt das Verhältnis der vorhandenen absoluten Luftfeuchtigkeit zur maximal möglichen Luftfeuchtigkeit bei der vorhandenen Lufttemperatur bzw. den vorhandenen Wasserdampf-Partialdruck zum Sättigungsdampfdruck an. Einheit: %

 $\varphi = \frac{u}{u_s} \cdot 100 = \frac{p}{p_s} \cdot 100$ 

Dabei gilt:

φ: relative Luftfeuchtigkeit in %
 u: absolute Luftfeuchtigkeit in kg/m³

u<sub>s</sub>: absolute Luftfeuchtigkeit bei Sättigung (maximale Menge an gasförmigen Wasser) bei der vorherrschenden Temperatur in kg/m³

p: Wasserdampf-Partialdruck in Pa

ps: Sättigungsdampfdruck bei der vorherrschenden Lufttemperatur in Pa

φ kann nie größer als 100 % sein



 $\label{eq:tabelle 4: Sattigungsdampfdruck ps bei unterschiedlichen Temperaturen} Tabelle 4: Sättigungsdampfdruck ps bei unterschiedlichen Temperaturen$ 

9	Wasserdampfsättigungsdruck p₅ in Pa nach ÖNORM EN 13788									
<u> </u>	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
30	4241	4265	4289	4314	4339	4364	4389	4414	4439	4464
29	4003	4026	4050	4073	4097	4120	4144	4168	4192	4216
28	3778	3800	3822	3844	3867	3889	3912	3934	3957	3980
27	3563	3584	3605	3626	3648	3669	3691	3712	3734	3756
26	3359	3379	3399	3419	3440	3460	3480	3501	3522	3542
25	3166	3185	3204	3223	3242	3261	3281	3300	3320	3340
24	2982	3000	3018	3036	3055	3073	3091	3110	3128	3147
23	2808	2825	2842	2859	2876	2894	2911	2929	2947	2964
22	2642	2659	2675	2691	2708	2724	2741	2757	2774	2791
21	2486	2501	2516	2532	2547	2563	2579	2594	2610	2626
20	2337	2351	2366	2381	2395	2410	2425	2440	2455	2470
19	2196	2210	2224	2238	2252	2266	2280	2294	2308	2323
18	2063	2076	2089	2102	2115	2129	2142	2155	2169	2182
17	1937	1949	1961	1974	1986	1999	2012	2024	2037	2050
16	1817	1829	1841	1852	1864	1876	1888	1900	1912	1924
15	1704	1715	1726	1738	1749	1760	1771	1783	1794	1806
14	1598	1608	1619	1629	1640	1650	1661	1672	1683	1693
13	1497	1507	1517	1527	1537	1547	1557	1567	1577	1587
12	1402	1411	1420	1430	1439	1449	1458	1468	1477	1487
11	1312	1321	1330	1338	1347	1356	1365	1374	1383	1393
10	1227	1236	1244	1252	1261	1269	1278	1286	1295	1303
9	1147	1155	1163	1171	1179	1187	1195	1203	1211	1219
8	1072	1080	1087	1094	1102	1109	1117	1124	1132	1140
7	1001	1008	1015	1022	1029	1036	1043	1050	1058	1065
6	935	941	948	954	961	967	974	981	988	994
5	872	878	884	890	897	903	909	915	922	928
4	813	819	824	830	836	842	848	854	860	866
3	757	763	768	774	779	785	790	796	801	807
2	705	710	715	721	726	731	736	741	747	752
1	656	661	666	671	676	680	685	690	695	700
0	611	615	619	624	629	633	638	642	647	652
-0	611	605	601	596	591	586	581	576	571	567
-1	562	557	553	548	544	539	535	530	526	521
-2	517	513	509	504	500	496	492	488	484	479
ვ	475	471	468	464	460	456	452	448	444	441
-4	437	433	430	426	422	419	415	412	408	405
-5	401	398	394	391	388	384	381	378	375	371
-6	368	365	362	359	356	353	350	347	344	341
-7	338	335	332	329	326	323	320	318	315	312
-8	309	307	304	301	299	296	294	291	288	286
-9	283	281	278	276	274	271	269	266	264	262
-10	259	257	255	252	250	248	246	244	241	239
-11	237	235	233	231	229	227	225	223	221	219
-12	217	215	213	211	209	207	205	203	202	200
-13	198	196	194	193	191	189	187	186	184	182
-14	181	179	177	176	174	173	171	169	168	166
-15	165	163	162	160	159	157	156	154	153	152



Zwischen dem Wasserdampf-Partialdruck p und der absoluten Luftfeuchtigkeit besteht folgender Zusammenhang:

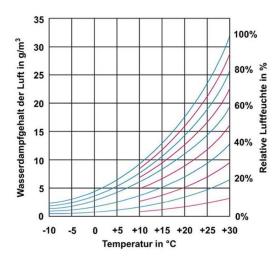
$$p = u \cdot R_{H20} \cdot T$$

Dabei gilt:

p: Wasserdampf-Partialdruck in Pa
 u: absolute Luftfeuchtigkeit in kg/m³
 R<sub>H20</sub>: Gaskonstante für Wasser 462 J/kgK¹

T: Lufttemperatur in K

Je höher die Temperatur ist, desto mehr Feuchtigkeit kann die Luft aufgrund der erhöhten Bewegungsenergie der Moleküle aufnehmen.



Luft mit höherer Temperatur kann mehr Feuchtigkeit aufnehmen

Abbildung 28: Zusammenhang zwischen der absoluten (horizontale Linien) sowie der relativen (rote bzw. blaue Kurven) Luftfeuchtigkeit und der Lufttemperatur (vertikale Linien)

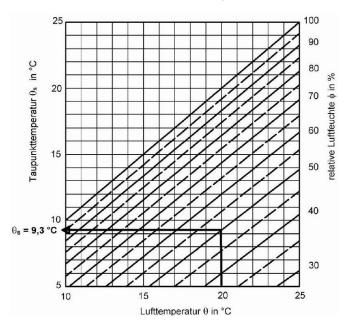


Abbildung 29: Bestimmung der Taupunkttemperatur in Abhängigkeit der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte, Quelle: Willems et al.(2010): Formeln und Tabellen Bauphysik. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag

-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Die Gaskonstante ist der Unterschied der Wärmekapazität eines idealen Gases zwischen isobarer (gleicher Druck) und isochorer (gleiches Volumen) Zustandsänderung.



## 6.2 Berechnung der absoluten Luftfeuchtigkeit im Raum

Die absolute Luftfeuchtigkeit im Raum setzt sich aus der absoluten Luftfeuchtigkeit außen und der Feuchteproduktion (Feuchteabgabe der Bewohner, Pflanzen, Kochen etc.) zusammen. Durch die Lüftung kann die absolute Luftfeuchtigkeit wieder reduziert werden, siehe Abbildung 30.

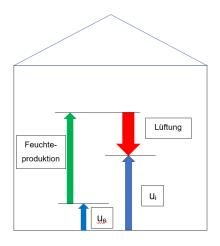


Abbildung 30: Zusammenhang absolute Luftfeuchtigkeit, Feuchteproduktionsrate und Lüftung

 $u_i = u_e + \frac{FP}{n \cdot V}$ 

Dabei gilt:

u<sub>i</sub>: absolute Luftfeuchtigkeit innen in kg/m³
 u<sub>e</sub>: absolute Luftfeuchtigkeit außen in kg/m³

FP: Feuchteproduktionsrate in kg/h

n: Luftwechsel in 1/h V: Raumvolumen in m³

Tabelle 5 und Abbildung 31 geben Werte für die Feuchteabgabe in Räumen wieder.

Tabelle 5: Zusammenstellung der Feuchteabgabe durch Aktivitäten der Raumnutzer oder durch Einrichtungsgegenstände in Räumen bei einer Raumtemperatur von 20 °C; Quelle: Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus (2019): Leitfaden zur Vorbeugung,

Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus (2019): Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden. Online: <a href="https://www.bv-schimmel.at/wp-content/uploads/2019/02/BVS\_Schimmel-LF\_web.pdf">https://www.bv-schimmel.at/wp-content/uploads/2019/02/BVS\_Schimmel-LF\_web.pdf</a>, (25.08.2020)

Feuchtequelle	Feuchteabgabe pro Stunde oder Tag bzw. pro m² und Stunde
Mensch, leichte Aktivität	30-40 g/h
trocknende Wäsche (4,5 kg Trommel):     geschleudert     tropfnass	50–200 g/h 100–500 g/h
Kochen/Duschen pro Person	270 g/d
Zimmerpflanzen	1–5 g/h *
Wasseroberfläche:  offenes Aquarium  abgedecktes Aquarium	ca. 40 g/m²/h ** ca. 2 g/m²/h

<sup>\*</sup> Kann nach Anzahl und Art der Zimmerpflanzen auch deutlich darüber liegen

Lüften senkt die Luftfeuchtigkeit im Raum während der kalten Jahreszeit

<sup>\*\*</sup> Gramm pro Quadratmeter und Stunde, je nach Umgebungsbedingungen



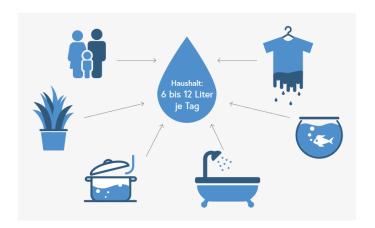


Abbildung 31: Feuchtequellen in Wohnungen, Quelle: Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus (2019): Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden. Online: <a href="https://www.bv-schimmel.at/wp-content/uploads/2019/02/BVS\_Schimmel-LF\_web.pdf">https://www.bv-schimmel.at/wp-content/uploads/2019/02/BVS\_Schimmel-LF\_web.pdf</a>, (25.08.2020)

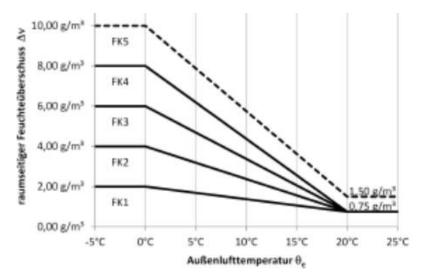


Abbildung 32: Definition der Luftfeuchteklassen in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur und des raumseitigen Feuchteüberschusses, Quelle: ÖNORM B 8110-2



#### TIPPS zum richtigen Lüften

Die folgenden Tipps beziehen sich auf Gebäude, die über Fenster belüftet werden und über keine technischen Lüftungseinrichtungen verfügen.

In Räumen mit hoher Feuchtefreisetzung, insbesondere im Schlafzimmer, Bad und in der Küche, die mit Feuchte angereicherte Luft so rasch wie möglich nach der Nutzung durch Lüften ins Freie transportieren. Eintrag der feuchten Luft in andere Räume verhindern, d.h. mit komplett geöffnetem Fenster (oder mehreren Fenstern) bei geschlossener Tür lüften.

Auch Räume lüften, die nur kurz oder fast nicht genutzt werden, wie Flure, Gästezimmer oder Abstellräume. Unweigerlich gelangt Feuchte aus den genutzten Räumen auch in diese Räume; diese muss auch dort abgelüftet werden, bevor es zu einer kritischen Feuchteanreicherung kommt.

Beim Trocknen von Wäsche oder feuchten Handtüchern in geschlossenen Räumen auf ausreichendes, zeitnahes Lüften achten.
Alternativ kann der Einsatz von Wäschetrocknern sinnvoll sein, bei dem die feuchte Abluft direkt ins Freie transportiert (Ablufttrockner) bzw. das Kondenswasser in das Abwassersystem geleitet oder in einem Behälter gesammelt wird (Kondenstrockner).

Wassertropfen auf Wandfliesen und Duschwänden nach dem Baden oder Duschen mit einem Wischer abziehen. Innenliegende Bäder sollen durch ventilatorbetriebene Abluftanlagen entlüftet werden. Bei fehlender Lüftungsmöglichkeit über das Fenster ist eine nachträgliche Installation einer über den Lichtschalter oder besser durch eine Feuchtesensor gesteuerte Entlüftung (Hygrostat) mittels Abluftventilator dringend zu empfehlen. Auf eine entsprechende Zuluftöffnung muss geachtet werden.

Abluftschächte (mit oder ohne Ventilator) regelmäßig auf einwandfreie Funktion kontrollieren. Auf einfache Weise testet man dies, indem man ein Stück Toilettenpapier an das Lüftungsgitter hält. Wird das Papier nicht angesaugt und bleibt nicht am Gitter hängen, ist die Lüftung sehr wahrscheinlich unzureichend oder es muss der Filter vor dem Ventilator gereinigt oder ausgetauscht werden. Wenn dies nicht hilft, muss der Abluftventilator von Fachleuten inspiziert werden. Auf keinen Fall dürfen der Auslass verschlossen oder der Ventilator außer Betrieb genommen werden.

Zur Reduzierung der Feuchtelast in Küchen haben sich Dunstabzugshauben mit Abführung der Abluft ins Freie bewährt. Viele Abzugshauben sind jedoch als Umluftanlagen ausgeführt, die nur Gerüche reduzieren, nicht aber die beim Kochen freigesetzte Feuchte entfernen. Küchen ohne Entlüftungsanlagen müssen während und nach der Nutzung durch ausreichende Fensterlüftung unbedingt "entfeuchtet" werden.

Abbildung 33: Tipps zum richtigen Lüften; Quelle: Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus (2019): Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden. Online: <a href="https://www.bv-schimmel.at/wp-content/uploads/2019/02/BVS\_Schimmel-LF\_web.pdf">https://www.bv-schimmel.at/wp-content/uploads/2019/02/BVS\_Schimmel-LF\_web.pdf</a>, (25.08.2020)

## 6.3 Baustoffe und Feuchtigkeit

Je höher die Feuchtigkeit eines Baustoffes ist, desto höher ist auch die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$ . Zusätzlich sinkt die Wasserdampfwiderstandszahl  $\mu$  mit steigendem Feuchtegehalt.

## 6.3.1 Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ

Der  $\mu$ -Wert bezeichnet die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl. Dieser Wert ist eine Kenngröße zur Beurteilung des Widerstandes eines Stoffs gegen die Wasserdampfdiffusion durch ein Bauteil. Der  $\mu$ -Wert wird als einheitsloser

feuchte Baustoffe dämmen schlechter



Verhältniswert gegenüber der Eigenschaft von Luft für einen Baustoff angegeben. In den Normen zum Wärme- und Feuchteschutz sind im Regelfall zwei  $\mu$ -Werte für Baustoffe aufgeführt: einer für den feuchten und einer für den trockenen Zustand des Baustoffes. Der höhere  $\mu$ -Wert steht für den trockenen Zustand und bildet damit den größeren Wasserdampfdiffusionswiderstand. Der kleinere  $\mu$ -Wert bildet den feuchten Zustand ab, der somit für einen geringeren Widerstand steht.

Tabelle 6: beispielhafte Auflistung von μ-Werten für Baustoffe

Deadulte	Diffusionswider-
Produkte	standszahl μ
Bitumenpapier	2100
Wachspapier	4000
Bitumenpappe gem. ÖNORM B 3635	2500
Bituminöse Dach- und Abdichtungsbahnen gem. ÖNORM B 3635, Dicke 3.0 mm	40500
Glasvlies-Bitumendachbahn, Stärke 5, fein besandet oder talkumiert, Dicke 2,2 m	70000
Bitumendachbahn mit Metallfolieneinlage, flächenbezogene Masse der Folie	
125 g/m <sup>2</sup> , Dicke 2,2 mm	dampfdicht1
Polyvinylchloridfolie	50000
Polyethylen - Folie	100000
Aluminium - Folie, flächenbezogene Masse 125 g/m <sup>2</sup>	dampfdicht1
OSB-Platten	200 - 350
Spanplatten	50 - 100
MDF	8

### 6.3.2 Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s<sub>d</sub>-Wert

Der  $s_d$ -Wert steht für die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke und ist das Produkt aus der Dicke des Bauteils in [m] und der Stoffeigenschaft  $\mu$ . Die Einheit des  $s_d$ -Wertes ist m. Der Wert beschreibt den Wasserdampfdiffusionswiderstand eines Baustoffes im Vergleich zu Luft.

$$s_d = \mu \cdot d$$

Dabei gilt:

s<sub>d</sub>: diffusionsäguivalente Luftschichtdicke in m

μ: Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl des Baustoffes (dimensionslos)

d: Dicke des Baustoffes in m

Bei mehrschichtigen Bauteilen, wird der s<sub>d</sub>-Wert für das Bauteil schichtenweise ermittelt und addiert.

Tabelle 7: Einteilung der sd-Werte nach ÖNORM B 8110-2 und beispielhafte Baustoffe

s <sub>d</sub> -Wert in m Bezeichnung		beispielhafte Baustoffe		
≤ 0,5	diffusionsoffen	Windpapier, MDF		
$0.5 < s_d \le 10$	diffusionsbremsend	OSB		
$10 < s_d \le 100$	diffusionshemmend	PE-Folie als Dampfbremse		
$100 < s_d \le 1500$	diffusionssperrend	Bitumenbahn, Dachfolie		
≥ 1500	diffusionsdicht	Aluminium		

s<sub>d</sub>= 1 m bedeutet, der Baustoff hat den Wasserdampfwiderstand, wie 1 m Luftdicke



### 6.4 Vermeidung von Oberflächenkondensat

Um ein schädliches Kondensat bzw. einen Schimmelbefall an der inneren Oberfläche der Außenbauteile zu vermeiden, muss im Winter die Oberflächentemperatur stets über der Taupunkttemperatur (Kondensatvermeidung) der Innenluft bzw. der Temperatur, welche bei der vorherrschenden Innenluft eine Luftfeuchtigkeit von 80% an der Innenoberfläche ergibt, liegen.

Für die Bemessung nach ÖNORM B 8110-2 gilt:

$$f_{Rsi} \ge f_{Rsi,min}$$
 
$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$
 
$$f_{Rsi,min} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

wachstum kann bei Raumtemperatur bei 80% rel. Lf beginnen

Schimmelpilz-

Dabei gilt:

f<sub>Rsi</sub>: Temperaturfaktor für raumseitige Oberfläche

f<sub>Rsi, min</sub>: Bemessungstemperaturfaktor für raumseitige Oberfläche

θ<sub>si</sub>: Temperatur der raumseitigen Oberfläche in °C

θ<sub>i</sub>: raumseitige operative Temperatur in °C<sup>2</sup>

 $\theta_e$ : Außenlufttemperatur in °C

θ<sub>si, min</sub>: tiefste zulässige Temperatur an der raumseitigen Oberfläche in °C

Um auf der sicheren Seite zu sein kann f<sub>Rsi,min</sub> mit 0,7 festgelegt werden.

Für die Bemessung sind die Randbedingungen nach ÖNORM B 8110-2 zu wählen. Beim Nachweis der Vermeidung von Kondensat an der raumseitigen Bauteiloberfläche kann als Außenlufttemperatur – 16°C angesetzt werden. Die operative Temperatur wird mit 22°C angesetzt.

Für den Nachweis zur Vermeidung eines Schimmelpilzwachstums sind die Außenbzw. Innenrandbedingungen gemäß Tabelle 5 und Tabelle 8 anzuwenden.

Als Wärmeübergangswiderstände wird angesetzt:

 $R_{si}$ : 0,25  $m^2K/W$ ;  $R_{se}$ : 0,04  $m^2K/W$ 

\_

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Näherungsweise kann die Lufttemperatur verwendet werden.



Tabelle 8: Außenrandbedingungen für Luftfeuchteklasse 3, Quelle: ÖNORM B 8110-2

Monat	$\theta_{\rm e,m}$	p <sub>e,m,s</sub>	ν <sub>e,m,s</sub>	$arphi_{ m e,m}$	ν <sub>e,m</sub>	$\Delta \nu_{ m m}$
	°C	Pa	g/m <sup>3</sup>	%	g/m <sup>3</sup>	g/m <sup>3</sup>
Jänner	-2,63	491	3,93	87	3,42	6,00
Februar	0,17	618	4,90	79	3,87	5,96
März	4,89	865	6,74	72	4,85	4,72
April	9,74	1206	9,24	71	6,56	3,44
Mai	14,14	1612	12,16	70	8,51	2,29
Juni	17,89	2049	15,26	69	10,53	1,30
Juli	19,80	2308	17,07	74	12,63	0,80
August	18,98	2193	16,27	72	11,71	1,02
September	15,36	1744	13,10	80	10,48	1,97
Oktober	9,72	1204	9,22	86	7,93	3,45
November	3,43	781	6,12	87	5,32	5,10
Dezember	-1,38	545	4,35	90	3,92	6,00

Tabelle 9: Innenrandbedingungen für den Nachweis der Vermeidung der Schimmelpilzbildung für die Luftfeuchteklasse 3, Quelle: ÖNORM B 8110-2

Monat	$\theta_{\mathrm{i,m}}$	$p_{\mathrm{i,m,s}}$	$\nu_{i,m,s}$	$\nu_{\mathrm{i,m}}$	$arphi_{ ext{i,m}}$	$f_{ m Rsi}$
	°C	Pa	g/m³	g/m³	%	
Jänner	22,00	2642	19,40	9,42	49	0,68
Februar	22,00	2642	19,40	9,83	51	0,67
März	22,00	2642	19,40	9,57	49	0,54
April	22,00	2642	19,40	10,00	52	0,44
Mai	24,07	2995	21,83	10,80	49	0,20
Juni	25,95	3350	24,27	11,83	49	0,00
Juli	26,90	3542	25,58	13,43	53	0,04
August	26,49	3458	25,01	12,73	51	0,01
September	24,68	3106	22,60	12,45	12,45 55	0,34
Oktober	22,00	2642	19,40	11,38	59	0,60
November	22,00	2642	19,40	10,42	54	0,66
Dezember	22,00	2642	19,40	9,92	51	0,69

# 6.5 Feuchtespeicher und Feuchtetransportmechanismen

## 6.5.1 Feuchtespeicherung

Man kann Baustoffe in hygroskopische und nicht hygroskopische Baustoffe einteilen. Hygroskopisch bedeutet, dass der Baustoff, wenn er trocken ist, aus der Luft Wasserdampf aufnehmen kann. Dies geschieht solange bis er die sogenannte Ausgleichsfeuchtigkeit erreicht hat. Ist der Baustoff feuchter als die Ausgleichsfeuchtigkeit wäre, kann er die Feuchtigkeit an die Luft abgeben. Die Wasserdampfaufnahme (Absorption) und -abgabe (Desorption) hängt hautsächlich von der relativen Luftfeuchtigkeit und kaum von der Temperatur ab. Die Feuchtespeicherung kann von sogenannten stoffspezifischen Sorptionskurven dargestellt werden.

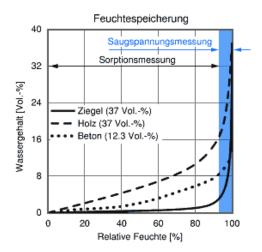


Abbildung 34: typische Feuchtespeicherfunktionen für schwach (Ziegel), mäßig (Beton) und stark (Holz) hygroskopische Baustoffe. Die Werte in der Klammer geben die freie Wassersättigung der einzelnen Materialien im sorptionsabhängigen überhygroskopischen Bereich an. Quelle: Fraunhoferinstitut: Grundlagen Feuchtetransport in Bauteilen – rechnerische Simulation mit Hilfe des Modells WUFI. Online: <a href="https://www.wufi-forum.com/viewtopic.php?t=1618">https://www.wufi-forum.com/viewtopic.php?t=1618</a>, (25.08.2020)

Zu nicht hygroskopischen Baustoffen zählen Metalle und Glas.

### 6.5.2 Feuchtetransport

Man kann zwischen folgende Feuchtetransportmechanismen in bzw. durch Bauteile unterscheiden:

- Dampfdiffusion
- Oberflächendiffusion
- Kapillarleitung
- Wasserdampfkonvektion

In den Kapillaren von porösen Baustoffen können die ersten drei Transportmechanismen auftreten, siehe Abbildung 35.

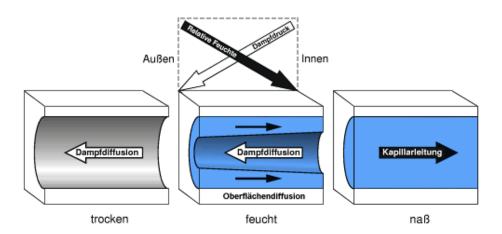


Abbildung 35: Feuchtetransportphänomene in den Baustoffporen einer massiven Außenwand im Winter bei unterschiedlichem Wassergehalt, Quelle: Fraunhoferinstitut: Grundlagen Feuchtetransport in Bauteilen – rechnerische Simulation mit Hilfe des Modells WUFI. Online: <a href="https://www.wufi-forum.com/viewtopic.php?t=1618">https://www.wufi-forum.com/viewtopic.php?t=1618</a>, (25.08.2020)



Im Winter herrscht im inneren ein höherer Wasserdampfpartialdruck vor. Dieser stellt den "Antrieb" für die Dampfdiffusion dar. D.h. es kommt zu einem Ausgleich aufgrund des Konzentrationsunterschiedes – ein höherer Dampfdruck bedeutet eine höhere absolute Luftfeuchtigkeit und somit mehr Wasserdampfmoleküle. Bei der sogenannten Oberflächendiffusion, welche ab ca. 60% relativer Luftfeuchtigkeit auftreten kann, handelt es sich um einen Flüssigwassertransport entlang der Porenwand. Treibende Kraft ist die relative Luftfeuchtigkeit und nicht der Dampfdruck. In unserem Fall ist die Richtung somit entgegen der Diffusion. Die Oberflächendiffusion wird durch Verwendung des im Feuchtbereich (wet-cup) ermittelten μ-Wertes bei der Nachweisführung berücksichtigt.

Treibende Kraft des kapillaren Feuchtetransportes ist der kapillare Unterdruck, der sich aufgrund der Oberflächenspannung des Wassers bildet. Ausgangspunkt für die gefüllten Poren stellt eine überhygroskopischer Feuchte im Material, z.B. bei Schlagregen oder Mauerwerksfeuchte aus dem Grund dar.

Adhā-sion Kohäsion

Abbildung 36: Kapillarkraft in Abhängigkeit des Durchmesser, online: <a href="https://www.experimente-in-der-schule.de/wassertropfen.html">https://www.experimente-in-der-schule.de/wassertropfen.html</a>; (25.08.2020)

Wasserdampfkonvektion entsteht durch Luftdruckunterschiede aufgrund von Temperaturunterschieden oder Windströmungen. Durch Konvektion (Strömung) kann ein vielfaches an Feuchtigkeit in bzw. durch einen Bauteil gelangen. Dies zeigt auch die Bedeutung der luftdichten Ebene, siehe auch Abschnitt 5. Da eine 100 % dichte Ausführung der luftdichten Ebene praktisch nie möglich ist, sind robuste fehlertolerante Außenbauteile einzusetzen. Diese sind nach außen hin diffusionsoffen und verhindern damit einen Feuchteschaden aufgrund von Feuchtigkeit infolge von geringfügigen Fehlstellen in der luftdichten Ebene.

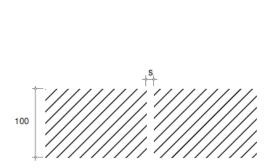
Wasserdampfkonvektion aufgrund von Luftdruckunterschieden

Wasserdampfdiffusion

aufgrund von

Partialdampf-

druckgefälle



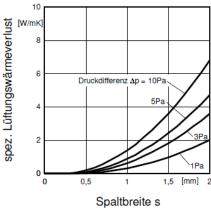


Abbildung 37: spezifischer Wasserdampfstrom in g/m·h in Abhängigkeit der Spalthöhe, Quelle: Hauser, G.; Maas, A. (1992): Auswirkungen von Fugen und Fehlstellen in Dampfsperren und Wärmedämmschichten. In: Deutsche Bauzeitschrift, Jg. 24, H. 1, S. 91–100.



### 6.6 Vermeidung von schädlichem Kondensat im Bauteil

### 6.6.1 Allgemeines

Der Nachweis zur Vermeidung von schädlichem Kondensat im Bauteil erfolgt nach ÖNORM B 8110-2. In der Norm werden nachweisfreie Konstruktionen, ein Nachweis mittels hygrothermischer Simulation und ein vereinfachter Nachweis angeführt. Hygrothermische Simulationen ermöglichen unter Berücksichtigung der genauen Randbedingungen (Stundenwerte der Klimata, Materialkennwerte) eine sehr genaue Berechnung der Feuchtigkeit und können auch zum Nachweis von Bauschäden herangezogen werden. Das Programm WUFI (Wärme- und Feuchte Instationär) des Fraunhofer Instituts stellt ein anwendungsfreundliches in Bauphysikbüros weitverbreitetes Tool dar. An Universitäten werden Tools, wie beispielsweise DELPHIN oder HAM3D\_VIE eingesetzt. Der vereinfachte Nachweis der Norm stellt eine Kombination aus dem Glaserverfahren mit einem Feuchteeintrag aus Konvektion unter Berücksichtigung der Strahlung der Außenbauteile dar.

Zum besseren Verständnis und aufgrund der Zeitressourcen wird im Bauphysiklabor das Glaserverfahren anhand des sogenannten Blockklimas nach DIN 4108-3 erläutert.

Das Glaser-Verfahren stellt ein stark vereinfachtes Verfahren zum Nachweis, ob schädliches Kondensat in einer Konstruktion bei stationären Verhältnissen (zeitlich konstanter Wasserdampfdiffusionsstrom) und festgelegten Klimarandbedingungen auftritt, dar.

## 6.6.2 Klimarandbedingungen

Als erster Schritt werden die Klimarandbedingungen gewählt, siehe Tabelle 10.

Tabelle 10: Klimarandbedingungen für Wohn- und Bürogebäude nach DIN 4108-3, Quelle: Willems et al.(2010): Formeln und Tabellen Bauphysik. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag

	1	2	3	4	5
1	Bauteil	Zeit	Klima	Temperatur $\theta_{l}$ bzw. $\theta_{e}$ in °C	relative Luftfeuchte $\phi_i$ bzw. $\phi_\theta$ in %
		Tauperiode	Innen	+20	50
		$t_T = 1440 \text{ h}$	Außen	-10	80
2	2 Wände	Verdunstungs- periode	Innen	+12	70
			Tauwasserebene	+12	100
		$t_V = 2160 \text{ h}$	Außen	+12	70
		Tauperiode	Innen	+20	50
		$t_T = 1440 \text{ h}$	Außen	-10	80
3	3 Dächer	Verdunstungs-	Innen	+12	70
		periode	Dachoberfläche	+20	-
		$t_V = 2160 \text{ h}$	Außen	+12	70



Tabelle 11: Klimatische Randbedingungen für die Berechnung, Quelle: ÖNORM B 8110-2-Beiblatt 1

Tabelle 1 - Temperatur- und Wasserdampfdiffusions-Berechnung

Bauvorhaben:			Bauteil:					
Seehöhe:			Außentemperatur $\theta_{\rm e}$ =	Außentemperatur $\theta_{\rm e}$ =				
Bereich	Temperatur $\theta$ in °C	Wärmeüb. in m²⋅K/W	Rel. Luftfeuchte $\phi$ in %	WSättigungsdruck $p_{sat}$ in Pa	WTeildruck <i>p</i> in Pa			
innen	$\theta_{i}$ =	$R_{si}$	$\varphi_{i} =$	p <sub>sat,i</sub> =	$p_i = p_{\text{sat,i}} \cdot \varphi_i / 100 =$			
außen	θ <sub>e</sub> =	R <sub>se</sub>	$\varphi_{e}$ =	p <sub>sat,e</sub> =	$p_{\rm e} = p_{\rm sat,e} \cdot \varphi_{\rm e}/100 =$			
Differenz	$\Delta\theta = \theta_{\rm i} - \theta_{\rm e} =$				$\Delta p = p_{\rm i} - p_{\rm e} =$			

Achtung:	
$R_{si} = 0.25$	
$R_{se} = 0.04$	

# 6.6.3 Berechnung der Wasserdampfsättigungsdrücke

Zu Beginn wird eine Diffusionsberechnung unter den winterlichen Bedingungen (Tauperiode) durchgeführt.

Tabelle 12: Tabellenblatt zum Glaserverfahren Quelle: ÖNORM B 8110-2-Beiblatt 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		$d_j$	$\lambda_{n,j}$	$R_{t,j}$	$(\Delta \theta)_j$	$\theta_{j,j+1}$	<i>P</i> sat <i>j j</i> +1	$\mu_j$	$s_{d,j}$	$(\Delta p)_j$	<i>Pj.j</i> +1	p>p <sub>sat</sub>
	Schichte					$\theta_{i} - \sum_{1}^{m} (\Delta \theta)_{i}$			$\mu_j \cdot d_j$	$\frac{\Delta p}{\sum s_{d,j}} \cdot s_{d,j}$	$p_{i} - \sum_{1}^{m} \Delta p_{j}$	
		m	W/(m ⋅ K)	m². K/W	K	°C	Pa	-	m	Pa	Pa	
i	Innenluft	_	-	-	_			_	_	-		
0	Wärmeüber- gangswider- stand innen	-	-					-	-	-		
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7								Н				
-								H				
8												
9												
10												
11												
12												
13	Wärmeüber- gangswider- stand außen	-	-					-	-	-		
е	Außenluft	-	-	-	-			-	-	-		
	$\sum d_j =$					j + R <sub>si</sub> + R <sub>se</sub> = 1/	U			$= \sum s_{d,j}$		
					$= \sum R_{t_i}$ $= U \text{ in }$	$j = R_t$ W/(m <sup>2</sup> · K)		We	eitere Rech	nung erforderlie	ch: ja	nein

p kann nie größer als ps sein, daher Kondensat in diesem Bereich

der:TEIBINGER holzbau im detail

### Erläuterungen zur Tabelle:

#### Spalte 2:

Hier werden die Baustoffschichten eingetragen, wobei dämmende Schichten in mehrere Schichten unterteilt werden, damit der Temperaturabfall zwischen den Baustoffschichten nicht zu groß wird. Der Wärmedurchlasswiderstand Rti (Spalte 5) sollte ≤ 0,25 m2K/W sein.

Spalte 3:

Dicke der Schicht in m

Spalte 4:

Wärmeleitfähigkeit der Schicht in W/mK

Spalte 5:

Berechnen des Wärmedurchlasswiderstand R<sub>t,j</sub> für die Schicht bzw. als Summe für den ganzen Bauteil

Spalte 6:

Berechnen des Temperaturunterschiedes aufgrund des Wärmedurchlasswiderstandes

versetzte Zellen<sup>3</sup> (Berechnung der Temperatur und des Sättigungsdampfdruckes zwischen den einzelnen Schichten)

Spalte 7:

Berechnen der Temperatur zwischen 2 Schichten

Spalte 8:

Berechnen des Sättigungsdampfdruckes zwischen 2 Schichten (Tabelle)

Spalte 9:

Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ des Baustoffes eingeben

Spalte 10:

Berechnen der diffusionsäguivalenten Luftschichtdicke s<sub>d</sub> in m

Spalte 11:

Berechnen des Unterschiedes des Partialdampfdruck aufgrund der Baustoffschicht

versetzte Zellen (Berechnung der Partialdampfdruckes und Vergleich des Partialdampfdruckes mit dem Sättigungsdampfdruckes zwischen den einzelnen

Schichten)

Spalte 12:

Berechnen Berechnung der Partialdampfdruckes p zwischen 2 Schichten

Spalte 13:

Vergleich Partialdampfdruck p mit Sättigungsdampfdruck ps

HINWEIS: Wenn  $p > p_s$  ist, muss es Kondensat an dieser Schicht geben.

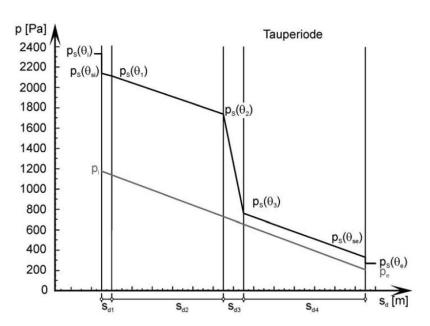
<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Versetzte Zellen stehen immer für die Bedingungen zwischen Baustoffschichten



### 6.6.4 Grafische Darstellung von p und ps

Wenn auf der x-Achse die s<sub>d</sub>-Werte der einzelnen Baustoffe aufgetragen werden, verläuft der Partialdampfdruck durch Bauteil Gerade. den als Vergleiche: Temperaturverlauf durch einen Bauteil wenn der Wärmedurchgangswiderstand R<sub>T</sub> auf der x-Achse aufgetragen ist.

Abbildung 38 zeigt einen Bauteil ohne Kondensatbereich, da p immer kleiner p<sub>s</sub> ist.



x-Achse: s<sub>d</sub>-Werte Verlauf von p als Gerade

Abbildung 38: Darstellung des Sättigungsdampfdruckes p₅ und des Partialdampfdruckes p durch den Bauteil in Abhängigkeit der s₀-Werte der Baustoffe (**kein Tauwasserausfall**) Quelle: Willems et al.(2010): Formeln und Tabellen Bauphysik. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag

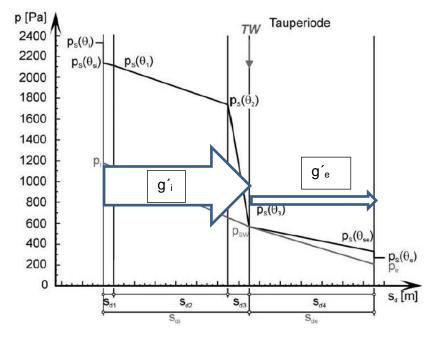


Abbildung 39: Diffusionsdiagramm mit **Tauwasserausfall in einer Ebene** (Bereich p<sub>sw</sub>), Quelle: Willems et al.(2010): Formeln und Tabellen Bauphysik. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag (Grafik nachbearbeitet)

Es können auch an mehreren Bereichen Kondensat im Bauteil auftreten.



### 6.6.5 Berechnung der Tauwassermenge

Die Massenstromdichte g' (diffundierende Wasserdampfmenge) kann folgender Maßen berechnet werden.

$$g' = \frac{\Delta p}{1.5 \cdot 10^6 \cdot \sum \mu \cdot d}$$

Wenn in einer Ebene Kondensat auftritt, siehe Abbildung 39, wird die Tauwassermenge  $m_{w,T}$  folgendermaßen berechnet.

$$m_{w,T} = t_T \cdot (g_i^{'} - g_e^{'})$$

$$g_i^{'} = \frac{p_i - p_{s,w}}{1,5 \cdot 10^6 \cdot s_{di}}$$

$$g_e^{'} = \frac{p_{s,w} - p_e}{1,5 \cdot 10^6 \cdot s_{de}}$$

Regel 1:

 $m_{w,T} \le 0.5 \text{ kg/m}^2$ 

### Dabei gilt:

m<sub>w,T</sub>: Tauwassermenge in kg/m<sup>2</sup>

t<sub>T</sub>: Dauer der Tauperiode in h (1.440 h)

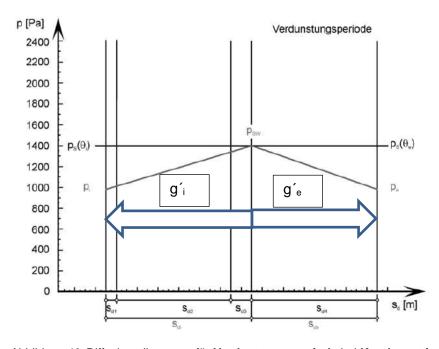
g´<sub>i</sub>: Wasserdampfdiffusionsstrom von innen bis Kondensatebene in kg/m²h g´<sub>e</sub>: Wasserdampfdiffusionsstrom von Kondensatebene nach außen in kg/m²h

p<sub>i</sub>: Partialdampfdruck innen in Pa

p<sub>s,w</sub>: Wasserdampfsättigungsdruck in der Tauebene in Pa

p<sub>e</sub>: Partialdampfdruck außen in Pa

# 6.6.6 Berechnung der Verdunstungsmenge



Regel 2:

 $m_{w,T} \le m_{w,V}$ 

Abbildung 40: Diffusionsdiagramm für **Verdunstungsperiode** bei **Kondensat in einer Ebene**, Quelle: Willems et al.(2010): Formeln und Tabellen Bauphysik. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag (Grafik nachbearbeitet)



Wenn in einer Ebene Kondensat auftritt, wird die Verdunstungsmenge m<sub>w,V</sub> folgendermaßen berechnet, siehe auch Abbildung 40.

$$\begin{split} m_{w,V} &= t_V \cdot (g_i^{'} + g_e^{'}) \\ g_i^{'} &= \frac{p_{s,w} - p_i}{1,5 \cdot 10^6 \cdot s_{di}} \\ g_e^{'} &= \frac{p_{s,w} - p_e}{1,5 \cdot 10^6 \cdot s_{de}} \end{split}$$

### Dabei gilt:

m<sub>w,V</sub>: Verdunstungsmenge in kg/m<sup>2</sup>

t<sub>√</sub>: Dauer der Verdunstungsperiode in h (2.160 h)

g´<sub>i</sub>: Wasserdampfdiffusionsstrom von innen bis Kondensatebene in kg/m²h g´<sub>e</sub>: Wasserdampfdiffusionsstrom von Kondensatebene nach außen in kg/m²h

p<sub>i</sub>: Partialdampfdruck innen in Pa

p<sub>s,w</sub>: Wasserdampfsättigungsdruck in der Tauebene

p<sub>e</sub>: Partialdampfdruck außen in Pa

#### Zusatzinfo:

Als zusätzliche Sicherheit bei Holzkonstruktionen wurde in Deutschland ein Trocknungspotential von 0,5 kg/m² eingeführt. Damit soll sichergestellt werden, dass Feuchtigkeit, die durch Konvektion auftritt auch abtrocknen kann.

### Baupraktischer Hinweis:

Bauteile von innen nach außen diffusionsoffener planen und ausführen. Vorsicht bei Holzkonstruktionen mit außenseitig hohen  $s_d$ -Werten, z.B. flachgeneigte Warmdächer bei diesen sind feuchtevariable Dampfbremsen und hygrothermische Simulationen als Nachweis erforderlich.

### 6.7 Weiterführende Literatur:

Willems et al.(2010): Formeln und Tabellen Bauphysik. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag

Bednar, Thomas; Teibinger, Martin; Nusser, Bernd: Euro-Glaser unter Beachtung solarer Strahlungs-/ Absportionsbedingungen sowie druckinduzierter Feuchteeinträge im Vergleich zu dynamischen Simulationen online: <a href="https://www.academia.edu/22871550/Euro-Glaser\_unter\_Beachtung\_solarer\_Strahlungs\_Absportionsbedingung-en\_sowie\_druckinduzierter\_Feuchteeintr%C3%A4ge\_im\_Vergleich\_zu\_dynamischen\_Simulationen;">https://www.academia.edu/22871550/Euro-Glaser\_unter\_Beachtung\_solarer\_Strahlungs\_Absportionsbedingung-en\_sowie\_druckinduzierter\_Feuchteeintr%C3%A4ge\_im\_Vergleich\_zu\_dynamischen\_Simulationen;</a> (26.08.2020)

### **VERSUCH:**

Berechnung des Glaserverfahrens bei einem Außenbauteil

#### Zusatzregel 3:

 $m_{w,T} + 0.5 \le m_{w,V}$ 



## 7 Energieausweis

## 7.1 Grundlagen

### 7.1.1 Energieausweis-Vorlage-Gesetz (EAVG)

Das Energieausweis-Vorlage-Gesetz (online: <a href="https://www.ris.bka.gv.at/Geltende">https://www.ris.bka.gv.at/Geltende</a> Fassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007799, abgerufen am 30.08.2020) regelt die Pflicht von Verkäufern und Vermietern den Käufern bzw. Mietern einen Energieausweis, welcher höchstens 10 Jahre alt ist, vorzulegen. Bei Anzeigen von Objekten in Druckwerken und elektronischen Medien sind der Heizwärmebedarf HWB und der Gesamtenergieeffizienzfaktor fgee anzuführen. Bei öffentlichen Gebäuden ist im Eingangsbereich sichtbar die erste Seite des Energieausweises auszuhängen. Somit ist für alle Gebäude, mit Ausnahme von Gebäuden, die nur frostfrei gehalten werden, freistehende Gebäude mit einer Gesamtnutzfläche < 50 m², Kirchen und Gebetshäusern, provisorischen Gebäuden mit einer Nutzungsdauer < 2 Jahre sowie Industrieanlagen, Werkstätten und landwirtschaftlichen Gebäuden, wo der überwiegende Anteil der Energie durch Abwärme aufgebracht wird, zu erstellen.

Energieausweis-Vorlage-Gesetz:

Energieausweis verpflichtend

## 7.1.2 Begriffsbestimmungen

Im Folgenden werden wesentliche Begriffe entsprechend der OIB-Richtlinie angeführt. Details siehe auch online: <a href="https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019/oib-richtlinien-begriffsbestimmungen">https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019/oib-richtlinien-begriffsbestimmungen</a>, (30.08.2020):

### • Brutto-Grundfläche (BGF), konditioniert:

Fläche entsprechend der Definition gemäß ÖNORM B 8110-6-1. Fläche, die vom konditionierten Brutto-Volumen umschlossen wird

### • Gebäude, konditioniert:

Gebäude, deren *Innenraumklima* unter Einsatz von Energie *beheizt*, *gekühlt*, be- und entlüftet oder befeuchtet wird; als konditionierte Gebäude können Gebäude als Ganzes oder *Teile eines Gebäudes*, die als eigene Nutzungseinheiten konzipiert oder umgebaut wurden, bezeichnet werden.

#### • Größere Renovierung:

Renovierung, bei der mehr als 25 % der Oberfläche der Gebäudehülle einer Renovierung unterzogen werden, es sei denn, die Gesamtkosten der Renovierung der Gebäudehülle und der gebäudetechnischen Systeme betragen weniger als 25 % des Gebäudewertes, wobei der Wert des Grundstücks, auf dem das Gebäude errichtet wurde, nicht mitgerechnet wird.

#### Länge, charakteristische (l<sub>c</sub>):

Maß für die Kompaktheit eines Gebäudes, dargestellt in Form des Verhältnisses des konditionierten Volumens V zur umschließenden Oberfläche A dieses Volumens.



$$l_c = \frac{V}{A}$$

### Endenergiebedarf (EEB):

Der Endenergiebedarf umfasst zusätzlich zum Heizwärmebedarf den Haushaltsstrom bzw. den jeweils allfälligen Betriebsstrombedarf, Kühlenergiebedarf und Beleuchtungsenergiebedarf, abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich eines dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss (*Lieferenergiemenge*)

#### Gesamtenergieeffizienz Faktor (fgee):

Der Gesamtenergieeffizienzfaktor ist der Quotient aus einerseits dem Endenergiebedarf abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich des dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs und andererseits einem Referenz-Endenergiebedarf (Anforderung 2007).

### Haushaltsstrombedarf (HHSB):

Der Haushaltsstrombedarf ist als flächenbezogener Defaultwert festgelegt. Er entspricht in etwa dem durchschnittlichen flächenbezogenen Stromverbrauch eines österreichischen Haushalts.

### Heizenergiebedarf (HEB):

Beim Heizenergiebedarf werden zusätzlich zum Heiz- und Warmwasserwärmebedarf die Verluste des gebäudetechnischen Systems berücksichtigt, dazu zählen insbesondere die Verluste der Wärmebereitstellung, der Wärmeverteilung, der Wärmespeicherung und der Wärmeabgabe sowie allfälliger Hilfsenergie.

#### • Heizwärmebedarf (HWB):

Wärmemenge, die den konditionierten Räumen zugeführt werden muss, um deren vorgegebene Solltemperatur einzuhalten.

### Kohlendioxidemissionen äquivalent (CO₂eq):

Gesamte dem Endenergiebedarf zuzurechnenden äquivalenten Kohlendioxidemissionen (Treibhausgase), einschließlich der Vorketten.

### • Kühlenergiebedarf (KEB):

Beim Kühlenergiebedarf werden zusätzlich zum Kühlbedarf die Verluste des Kühlsystems und der Kältebereitstellung berücksichtigt. *Anmerkung:* Wohngebäude müssen ohne Kühlgeräte sommertauglich sein.

### • Primärenergiebedarf (PEB):

Der Primärenergiebedarf ist der Energiebedarf einschließlich der Verluste in allen Vorketten. Der Primärenergiebedarf weist einen erneuerbaren (PEB<sub>ern.</sub>) und einen nicht erneuerbaren (PEB<sub>n.ern.</sub>) Anteil auf.

#### • Referenz-Heizwärmebedarf (HWB<sub>Ref</sub>):

Der Referenz-Heizwärmebedarf ist jene Wärmemenge, die in den Räumen bereitgestellt werden muss, um diese auf einer normativ geforderten Raumtemperatur, ohne Berücksichtigung allfälliger Erträge aus Wärmerückgewinnung zu halten.



#### Referenzklima (RK):

Das Referenzklima ist ein virtuelles Klima. Es dient zur Ermittlung der Energiekennzahlen.

### • Standortklima (SK):

Das Standortklima ist das reale Klima am Gebäudestandort.

### • Warmwasserwärmebedarf (WWWB):

Der Warmwasserwärmebedarf ist in Abhängigkeit der Gebäudekategorie als flächenbezogener Defaultwert festgelegt.

### 7.1.3 Anforderungen

Die Anforderungen an Gebäude sind im nationalen Plan (online: <a href="https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019/oib-richtlinie-6-nationaler-plan">https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019/oib-richtlinie-6-nationaler-plan</a>, (30.08.2020) festgelegt. Tabelle 16 und Tabelle 17 zeigen die Anforderungen für Wohngebäude (Wohnbau und größere Renovierung).<sup>4</sup> Die Anforderungen werden in Abhängigkeit der Kompaktheit der Gebäude (entsprechend der charakteristischen Länge I<sub>c</sub>) gestellt.

Tabelle 13: Beispielhafte Berechnungen der charakteristischen Länge I<sub>c</sub> und des A/V-Verhältnisses, Objektabmessungen entsprechend der Validierungsbeispiele der ÖNORM B 8110-6-2

Objekt	L in m	B in m	H in m	A in m <sup>2</sup>	V in m³	l <sub>c</sub> in m	A/V in m <sup>-1</sup>
EH	12	8	6	432	576,00	1,33	0,75
MFH	91,39	10,74	9,35	3872,89	9177,29	2,37	0,42

Tabelle 14: Einfluss der Kompaktheit auf die Dämmstärke bei einer Schwankungsbreite des A/V-Verhältnisses von 0,1 m<sup>-1</sup>

	A/V in m <sup>-1</sup>	Δ A/V in m <sup>-1</sup>	lc in m	∆ lc in m	Δ Dämmstärke in cm
Schwankungsbreite	0,7	0.1	1,43	0.10	2 000
innerhalb Haustypen	0,8	0,1	1,25	0,18	3 cm

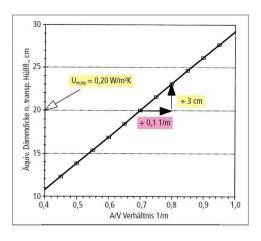


Abbildung 41: Einfluss der Kompaktheit auf die erforderliche Dämmung der nichttransparenten Außenbauteile, Quelle: Borsch-Laaks, Robert (2019): Beides zugleich. Baukosten und Energie sparen. In: Condetti & Co. 4 – Details in Holzhausbau und Bestand.

kompakte Gebäude sparen Energie & Kosten

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> In der OIB Richtlinie 6 sind auch U-Wert Anforderungen für wärmeübertragende Bauteile beim Neubau angeführt. Es wird hingewiesen, dass bei einem Gebäude mit ausschließlich Bauteilen, die diese Anforderungen gerade erfüllen, die Anforderungen an den HWB<sub>Ref</sub> nicht erfüllt werden.



Tabelle 14 und Abbildung 41 verdeutlichen den Einfluss einer kompakten Bauweise auf die erforderliche Dämmstoffdicke. Kompakte Bauformen senken aufgrund der geringeren wärmeabgebenden Flächen den Heizenergiebedarf und in weiterer Folge die Baukosten<sup>5</sup>.

Tabelle 15: Einfluss von Anbauten bei gleicher BGF an die Kompaktheit, Quelle der Abbildungen: Borsch-Laaks, Robert (2019): Beides zugleich. Baukosten und Energie sparen. In: Condetti & Co. 4 - Details in Holzhausbau und Bestand.

Variante	Geometrie	BGF in m <sup>2</sup>	Umfang in m	∆ Umfang in %	l <sub>c</sub> in m	A/V in m <sup>-1</sup>	Darstellung
Ausgangslage	10x10x5m	200	40	100%	1,25	0,8	
Variante 1	mittige Einschnitte (gelb) 2 Anbauten (rosa)	200	56	140%	1,04	0,96	
Variante 2	Einschnitte an Gebäudeecken (gelb) mit einem Anbau (rosa)	200	44	110%	1,19	0,84	

Tabelle 16: Anforderungen an Wohngebäude (Neubau), Quelle: online: https://www.oib.or.at/de/oibrichtlinien/richtlinien/2019/oib-richtlinie-6-nationaler-plan, (30.08.2020)

	HWB <sub>Ref,zul</sub>	EEBzul	f <sub>GEE,zul</sub>	PEB <sub>HEB,zul,n.em.<sup>(1)</sup></sub>
	[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[-]	[kWh/m²a]
÷	$14 \times (1 + 3.0 / \ell_c)$	mittels HTEB <sub>Ref</sub>		
derzeit gültig		oder		
	16 × (1 + 3,0 / \(\ell_c\)		0,85	
ab Inkrafttreten der OIB-RL6:2019 <sup>(2)</sup>	12 × (1 + 3,0 / l <sub>c</sub> )	mittels HTEB <sub>Ref</sub>		
		oder		41
	16 × (1 + 3,0 / \(\exi_c\)		0,80	
	10 × (1 + 3,0 / \(\exicon{\epsilon}{c}\)	mittels HTEB <sub>Ref</sub>		
		oder		
	16 × (1 + 3,0 / l <sub>c</sub> )		0,75	

Anforderungen in Abhängigkeit von Ic

<sup>(1) ...</sup> im Sinne der RL 2010/31/EU (EPBD) ohne Haushaltstrombedarf und für hocheffiziente alternative Energiesysteme, wobei auch Erträge, die zur Reduktion des Haushaltstrombedarfs erwirtschaftet werden, begrenzt anrechenbar sind

<sup>(2) ...</sup> ab der jeweiligen landesgesetzlichen Umsetzung

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Hinweis: 1 m Seitenlänge der Außenwand bedeutet ca. 5 m² Fläche bei einem 2-geschoßigem Gebäude.



Tabelle 17: Anforderungen an Wohngebäude (größere Renovierung), Quelle: online: <a href="https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019/oib-richtlinie-6-nationaler-plan">https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019/oib-richtlinie-6-nationaler-plan</a>, (30.08.2020)

	HWB <sub>Ref,zul</sub> [kWh/m²a]	EEB <sub>zul</sub> [kWh/m²a]	f <sub>GEE,zul</sub> [-]	PEB <sub>HEB,zul,n.em.</sub> <sup>(1)</sup> [kWh/m²a]
	21 × (1 + 2,5 / l <sub>c</sub> )	mittels HTEB <sub>Ref</sub>	./	
derzeit gültig		oder		
	25 × (1 + 2,5 / \(\ell_c\)		1,05	
ab Inkrafttreten der OIB-RL6:2019 <sup>(2)</sup>	19 × (1 + 2,7 / l <sub>c</sub> )	mittels HTEB <sub>Ref</sub>		
		oder		44
	25 × (1 + 2,5 / l <sub>c</sub> )		1,00	
	17 × (1 + 2,9 / <sub>c</sub> )	mittels HTEB <sub>Ref</sub>		
		oder		
	25 × (1 + 2,5 / l <sub>c</sub> )		0,95	

<sup>(1) ...</sup> im Sinne der RL 2010/31/EU (EPBD) ohne Haushaltstrombedarf und für hocheffiziente alternative Energiesysteme, wobei auch Erträge, die zur Reduktion des Haushaltstrombedarfs erwirtschaftet werden, begrenzt anrechenbar sind

<sup>(2) ...</sup> ab der jeweiligen landesgesetzlichen Umsetzung

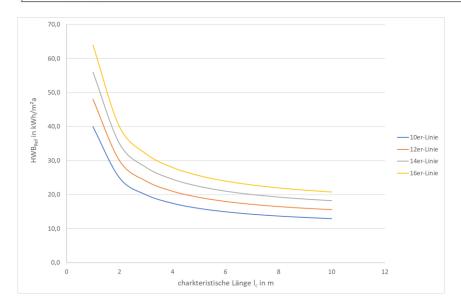


Abbildung 42: Verlauf des Heizwärmebedarfs HWB<sub>Ref</sub> in Abhängigkeit der charakteristischen Länge I<sub>c</sub>

	HWB <sub>Ref, SK</sub>	PEB <sub>SK</sub>	CO <sup>ned-2K</sup>	f <sub>GEE</sub> , SK
A++				
A+				
A	A		(Beispiel)	
В	(Beispiel)	В	(beispie)	C
С		(Beispiel)		(Beispiel
D				
E				
F				

Abbildung 43: Muster der Kennwerte der ersten Seite des Energieausweises; Bedeutung der Kennwerte, siehe 7.1.2; Quelle: OIB-Richtlinie 6



Tabelle 18: Energieeffizienzklassen für die Klassengrenzen Kennwerte der ersten Seite des Energieausweises, Quelle: OIB-Richtlinie 6

Klasse	HWB <sub>Ref,SK</sub> [kWh/m²a]	PEBsĸ [kWh/m²a]	CO <sub>2eq</sub> ,sĸ [kg/m²a]	fgee,sk
A++	10	60	8	0,55
A+	15	70	10	0,70
Α	25	80	15	0,85
В	50	160	30	1,00
С	100	220	40	1,75
D	150	280	50	2,50
E	200	340	60	3,25
F	250	400	70	4,00
G	> 250	> 400	> 70	> 4,00

#### Hinweis:

Sämtliche Energiekennzahlen werden in kWh/m²a angegeben. Aufgrund höherer Flächen pro Person in den letzten Jahren, haben sich die Einsparungen pro Kopf nicht so groß ausgewirkt, siehe Abbildung 44.

anstelle von kWh/m² CO<sub>2</sub>/Person (Konsum, Mobilität, Ernährung, Wohnen)

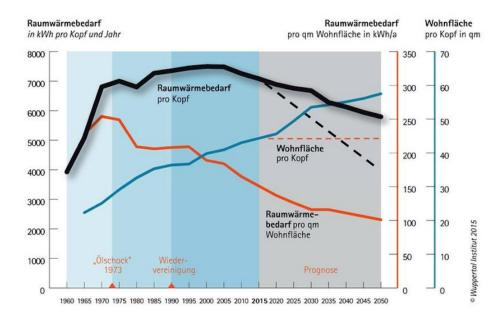


Abbildung 44: Raumwärmebedarf in KWh pro Kopf und Jahr: Seit Jahren nimmt die Wohnfläche pro Kopf in Deutschland zu (blaue Linie)<sup>6</sup>. Dies erschwert das Einsparen von Wärme trotz bspw. Wärmedämmung. Würde die Pro-Kopf-Wohnfläche begrenzt (rot gestrichelte Linie) könnten hingegen enorme Einsparungen erzielt werden (rote Linie); Quelle: https://wupperinst.org/a/wi/a/s/ad/3448/, (31.08.2020)

Dipl.-Ing. Dr. techn. Martin Teibinger

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> In Österreich sieht die Entwicklung ähnlich aus.



### 7.2 Erstellen von Energieausweisen

### 7.2.1 Ersteller von Energieausweisen

Berechtigt für die Erstellung von Energieausweisen sind neben ZiviltechnikerInnen mit einschlägiger Befugnis Gewerbetreibende, wie BaumeisterInnen, ElektrotechnikerInnen, GebäudetechnikerInnen, Ingenieurbüros (Fachgebiete: Bauphysik, Elektrotechnik, Gebäudetechnik, Innenarchitektur, Maschinenbau, Technische Physik, Umwelttechnik, Verfahrenstechnik), RauchfangkehrerInnen (für bestehende Wohngebäude) und HafnerInnen (Ein- und Zweifamilienhäuser). Im Internet befinden sich unter www.energieausweise.net, bzw. www.wko.at Datenbanken der Ersteller.

### 7.2.2 Ermittlung der Daten

### 7.2.2.1 Objektdaten

Folgende Unterlagen des Objekts sind für die Erstellung eines Energieausweises erforderlich:

- Einreichplan / Bestandspläne
- Bauteilaufbauten / Bauphysik
- Detailpläne (z.B. Strangschema, Heizungsplan)
- Prüfberichte (z.B. Lüftungsgeräte bei Abweichungen zu Defaultwerten)
- Allgemeine Angaben (Kontaktdaten von Planer, Ausführenden…)
- Allgemeine Angaben zum Objekt (Standort, Alter, Gebäudenutzung,...)
- Angaben zur Gebäudetechnik (Energieträger, Dämmung und Lage der Leitungen,...)

Es wird empfohlen bei Bestandsgebäuden eine Fotodokumentation zu erstellen:

- Adresse: Bing-Maps oder Google-Maps
- Fotos vom Gebäude
  - Abweichungen Einreichplan, Um- und Zubauten
  - Fassadenansichten
  - Verschattungen
  - Zustand
- Fotos vom Heizraum
  - Typenschild von Kessel
  - Wärmepumpe
  - Übergabestation Fernwärme
  - Speicher, Dämmung des Speichers und der Armaturen
  - Dämmung der Leitungen
- Fotos der Haustechnik
  - Lüftungsanlage
  - Klimaanlage
  - Photovoltaik
  - Solaranlage
- Fotos innerhalb des Gebäudes
  - Wärmeabgabesystem mit Regelung

vollständige & detaillierte **Dokumentation**der Objektdaten



- Dezentraler Warmwasserspeicher
- Beleuchtung

### 7.2.2.2 Nutzungsprofile und Zonierung

Die standardisierten Nutzungsprofile sind gemäß ÖNORM B 8110-5 einzusetzen. Die Einteilung der Nutzungen ist in OIB-Richtlinie 6 definiert. Dabei sind folgende Nutzungsprofile vorhanden:

- Wohnnutzung
  - Einfamilienhaus (bis 400 m² Brutto-Grundfläche)
  - Mehrfamilienhaus
- Nicht-Wohngebäude
  - Bürogebäude
  - Kindergarten und Pflichtschulen
  - Höhere Schulen und Hochschulen
  - Krankenhäuser
  - Pflegeheime
  - Pensionen
  - Hotels
  - Gaststätten
  - Veranstaltungsstätten
  - Sportstätten
  - Verkaufsstätten
  - Hallenbäder

Bei mehrfacher Nutzung kann die 250 m² Regel herangezogen werden. Dies bedeutet, dass wenn eine Nebennutzung eine Netto-Grundfläche < 250 m² aufweist, wird nur die Hauptnutzung herangezogen.<sup>7</sup>

Bei dem in Abbildung 45 dargestellten Objekt mit drei Nutzungen sind zwei Energieausweise zu erstellen:

- Nutzung Verkaufsstätte als Hauptnutzung (Büro kann entsprechend der 250 m² Regelung hier zugeordnet werden)
- Nutzung Veranstaltungsstätten

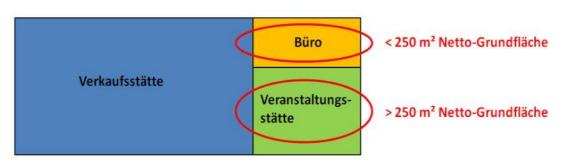


Abbildung 45: Beispiel einer Mehrfachnutzung und Zonierungsregeln, Quelle: <a href="https://www.technik.steiermark.at/cms/">https://www.technik.steiermark.at/cms/</a> dokumente/11413602\_82233481/5ba3ec45/2018-09-05%20Brosch%C3%BCre% 20mit%20Deckblatt.pdf; (31.08.2020)

**250 m² Regel** zur Zonierung

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Details zur Zonierung, siehe OIB Richtlinie 6 – Leitfaden und FAQ auf www.oib.or.at.



#### 7.2.2.3 Klimadaten

Österreich ist in sieben Klimaregionen eingeteilt. Die Zuordnung zu den jeweiligen Klimazonen und die Klimadaten sind in ÖNORM B 8110-5 angeführt.

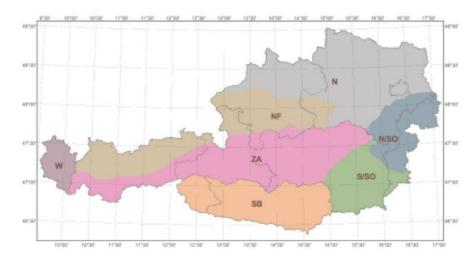


Abbildung 46: Überblick der sieben Klimaregionen, Quelle: ÖNORM B 8110-5

Sowohl die Klimadaten als auch die Nutzungsprofile sind in den Energieausweisberechnungsprogrammen hinterlegt.

#### 7.2.2.4 Flächenermittlung

Zum konditionierten Bruttovolumen werden sämtliche Bereiche gezählt, welche ständig auf 20°C bzw. 22°C (je nach Nutzung) beheizt bzw. bei Nichtwohngebäuden auch jene, die auf 26°C gekühlt werden. Die Systemgrenze wird anhand der Dämmebene gelegt. Alle Räume innerhalb der Dämmebene sollten der Nutzungsanforderung entsprechen. Nicht beheizte Keller- und Dachböden sind außerhalb der Systemgrenze einzuplanen. Zur Einteilung von unbeheizten Räumen gilt die sogenannte 4K-Regel. Nicht beheizte Räume mit einem geringeren Temperaturunterschied werden zum konditionierten Bruttovolumen gezählt.

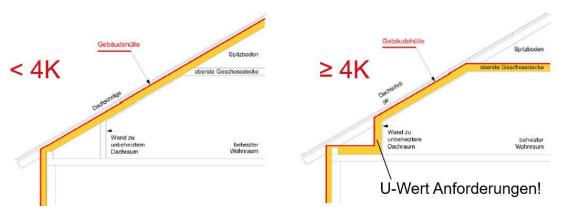


Abbildung 47: Erläuterung der 4-K Regel, links: unbeheizter Dachraum und Spitzboden werden zu Bruttovolumen gezählt) Quelle: Energie Agentur Steiermark GmbH (Hrsg) (2018): Energieausweis erstellen – Anleitungen, Hinweise, Empfehlungen. Online: <a href="https://www.technik.steiermark.at/cms/">https://www.technik.steiermark.at/cms/</a> dokumente/11413602\_82233481/5ba3ec45/2018-09-05%20Brosch%C3%BCre% 20mit%20Deckblatt.pdf (31.08.2020)

### 4K-Regel:

ΔT < 4K nicht beheizter Raum zählt zu konditioniertem Bereich



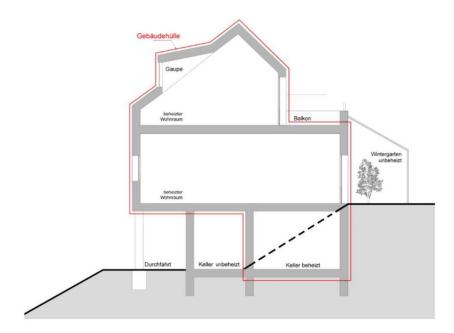


Abbildung 48: Verlauf der Gebäudehüllfläche, Quelle: Energie Agentur Steiermark GmbH (Hrsg) (2018): Energieausweis erstellen – Anleitungen, Hinweise, Empfehlungen. Online: <a href="https://www.technik.steiermark.at/cms/">https://www.technik.steiermark.at/cms/</a> dokumente/11413602 82233481/5ba3ec45/2018-09-05%20Brosch%C3%BCre% 20mit%20Deckblatt.pdf (31.08.2020)

Bei Flachdächern und erdanliegenden Böden werden die Kies- oder Erdschüttung bzw. die Rollierung nicht mitgerechnet, siehe Abbildung 49.

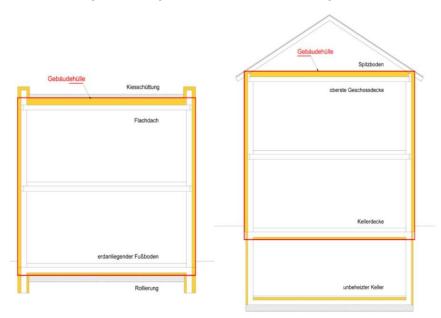


Abbildung 49: Gebäudehüllfläche bei erdanliegendem Boden und unbeheiztem Keller sowie Flachdach und unbeheiztem Dachgeschoß, Quelle: Energie Agentur Steiermark GmbH (Hrsg) (2018): Energieausweis erstellen – Anleitungen, Hinweise, Empfehlungen. Online: <a href="https://www.technik.steiermark.at/cms/">https://www.technik.steiermark.at/cms/</a> dokumente/11413602 82233481/5ba3ec45/2018-09-05%20Brosch%C3%BCre% 20mit%20Deckblatt.pdf (31.08.2020)

Bei hinterlüfteten Außenbauteilen stellt die Dämmschicht bzw. die letzte durchgängige Verkleidung bzw. Schicht (i.d.R. winddichte Ebene) vor der Hinterlüftungsebene die Gebäudehüllfläche dar, vgl. U-Wert Berechnung.



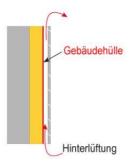


Abbildung 50: Gebäudehüllfläche bei Hinterlüftung, Quelle: Energie Agentur Steiermark GmbH (Hrsg) (2018): Energieausweis erstellen – Anleitungen, Hinweise, Empfehlungen. Online: <a href="https://www.technik.steiermark.at/cms/">https://www.technik.steiermark.at/cms/</a> dokumente/11413602 82233481/5ba3ec45/2018-09-05%20Brosch%C3%BCre% 20mit%20Deckblatt.pdf (31.08.2020)

Fenster- und Türöffnungen werden mit der Architekturlichte (von außen sichtbare Fenstergröße) berücksichtigt.

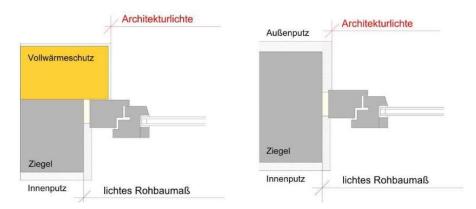


Abbildung 51: Fenstergröße nach Architekturlichte eingeben, Quelle: Energie Agentur Steiermark GmbH (Hrsg) (2018): Energieausweis erstellen – Anleitungen, Hinweise, Empfehlungen. Online: <a href="https://www.technik.steiermark.at/cms/">https://www.technik.steiermark.at/cms/</a> dokumente/11413602 82233481/5ba3ec45/2018-09-05%20Brosch%C3%BCre% 20mit%20Deckblatt.pdf (31.08.2020)

Bei ausgebauten Dachgeschoßen wird die Bruttogrundfläche nur bis zu einer lichten Raumhöhe von 1,5 m zuzüglich einer fiktiven Wandstärke von 0,4 m gerechnet.

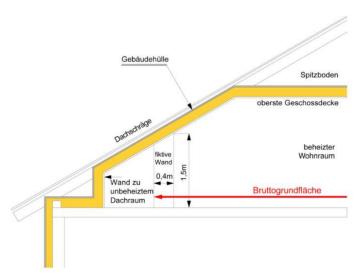


Abbildung 52: Konditionierte Bruttogrundfläche bei Dachgeschoßen, Quelle: Energie Agentur Steiermark GmbH (Hrsg) (2018): Energieausweis erstellen – Anleitungen, Hinweise, Empfehlungen. Online: <a href="https://www.technik.steiermark.at/cms/">https://www.technik.steiermark.at/cms/</a> dokumente/11413602\_82233481/5ba3ec45/2018-09-05%20Brosch%C3%BCre% 20mit%20Deckblatt.pdf (31.08.2020)



#### 7.2.2.5 Bauweise

Für die vereinfachte Ermittlung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit C durch Auswahl eines Faktors für die Bauweise, ist die Zuordnung der Bauweise erforderlich. Das Gebäude ist hierzu als Gesamtheit zu betrachten.

#### leichte Bauweise:

Holzrahmenbauweise ohne massive Innenbauteile

#### mittelschwere Bauweise:

Holzmassivbauweise, Gebäude in Mischbauweise, Gebäude in Massivbauweise mit abgehängten Decken und überwiegend leichten Trennwänden

#### schwere Bauweise:

Gebäude mit großteils massiven Außen- und Innenbauteilen, schwimmenden Estrichen und ohne abgehängter Decken

#### • sehr schwere Bauweise:

Gebäude mit sehr massiven Außen- und Innenbauteilen (Altbaubestand)

#### 7.2.2.6 Weiterführende Literatur:

Energie Agentur Steiermark GmbH (Hrsg) (2018): Energieausweis erstellen – Anleitungen, Hinweise, Empfehlungen. Online: <a href="https://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/11413602\_82233481/5ba3ec45/2018-09-05%20Brosch%C3%BCre%20mit%20Deckblatt.pdf">https://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/11413602\_82233481/5ba3ec45/2018-09-05%20Brosch%C3%BCre%20mit%20Deckblatt.pdf</a>; (31.08.2020)

### 7.2.3 Berechnung des Energieausweises

Im Rahmen der Laborübungen wird der Energieausweis mit der Berechnungssoftware GEQ online: <a href="https://www.geq.at/">https://www.geq.at/</a> durchgeführt. Schüler und Studierende können kostenlos eine zwei Jahre gültige Studentenversion herunterladen. Weiterführende Details zur Benutzung des Programmes können dem Benutzerhandbuch (online: <a href="https://www.geq.at/pdf/handbuch.pdf">https://www.geq.at/pdf/handbuch.pdf</a> ) entnommen werden.

### **VERSUCH:**

Erstellen eines Energieausweises eines individuellen Gebäudes (Wohneinheit)

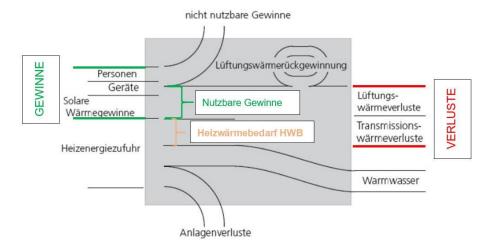
## 7.3 Vereinfachte Berechnung des Heizwärmebedarfs

Im Rahmen des Laborunterrichtes werden zum besseren Verständnis auch Berechnungen des Heizwärmebedarfs ohne Nutzung von Softwareprogrammen durchgeführt.

Der Heizwärmebedarf stellt eine Bilanzierung aus Verlusten (Transmissions- und Lüftungswärmeverluste) und nutzbaren Gewinnen (solare und interne Gewinne) dar, siehe Abbildung 53. Dabei fließen die in Tabelle 19 angeführten Faktoren ein.

Tabelle 19: einfließende und nicht einfließende Faktoren bei der Berechnung vom HWB

Einfließende Faktoren	Nicht einfließende Faktoren
Geometrie, Kompaktheit	Verluste der Heizung
U-Werte der Bauteile	Warmwasserverbrauch
Wärmebrücken	Nutzerverhalten
Klimadaten	Wartung
Luftwechsel	Bauausführung



HWB:

Bilanzierung
aus Verlusten
& nutzbaren
Gewinnen

Abbildung 53: Energiefluss Heizung und Warmwasser, sowie Darstellung des Heizwärmebedarfs; Abbildung: Riccabona, Christof; Bednar Thomas: Baukonstruktionslehre. Wien: Manz Verlag (ergänzt)

## 7.3.1 Ermittlung der Transmissionswärmeverluste Q<sub>T</sub>

Transmissionswärmeverluste stellen die Energieabgabe durch Wärmeleitung vom warmen Innenraum über die Gebäudehülle an die Außenluft ( $L_e$  sowie  $L_{\psi}+L_{\chi}$ ) bzw. in nicht beheizte Räume ( $L_u$ ) und das Erdreich ( $L_g$ ) dar.

$$Q_T = L_T \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t = L_T \cdot HGT \cdot 24$$

Dabei gilt:

Q<sub>T</sub>: Transmissionswärmeverluste in Wh/a

L<sub>T</sub>: Leitwert für Transmissionswärmeverluste in W/K

9: Innen- und Außentemperatur in °C

t: Zeitdauer in h

HGT: Heizgradtage gemäß Klimadaten in K d

Zur Ermittlung des Transmissionswärmeverlustes wird der Transmissionsleitwert L<sub>T</sub> berechnet.

$$L_T = L_e + L_u + L_a + L_w + L_{\gamma}$$

Dabei gilt:

Leitwert für Transmissionswärmeverluste in W/K Le: Leitwert für außenluftberührte Bauteile in W/K

Lu: Leitwert für Bauteile zu unkonditionierten Räumen in W/K

Lg: Leitwert für erdberührte Bauteile in W/K

 $L_{\psi}+L_{\chi}$ : Leitwert für zwei- und dreidimensionale Wärmebrücken in W/K



#### 7.3.1.1 Leitwert für außenluftberührte Bauteile Le

Der Leitwert für außenluftberührte Bauteile (Außenwand, Fenster, Türen, Dach,..) berechnet sich aus den Summen der Produkte der U-Werte der einzelnen Bauteile mit den dazugehörigen Flächen.

$$L_e = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i$$

Dabei gilt:

Le: Leitwert für außenluftberührte Bauteile in W/K

U<sub>i</sub>: U-Wert der einzelnen Bauteile in W/m<sup>2</sup>K, Berechnung siehe Abschnitt 3.3

A<sub>i</sub>: Fläche der einzelnen Bauteile in m<sup>2</sup>

#### 7.3.1.2 Leitwert für Bauteile zu unkonditionierten Räumen Lu

Der Leitwert für Bauteile zu unkonditionierten Räumen kann vereinfacht mit Hilfe der Temperaturkorrekturfaktoren  $f_h$  ermittelt werden.

$$L_u = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i \cdot f_h$$

Dabei gilt:

Lu: Leitwert für Bauteile zu unkonditionierten Räumen in W/K

U<sub>i</sub>: U-Wert der einzelnen Bauteile in W/m<sup>2</sup>K, Berechnung siehe Abschnitt 3.3

A<sub>i</sub>: Fläche der einzelnen Bauteile in m<sup>2</sup>

fh: Temperaturkorrekturfaktor<sup>8</sup> entsprechend Tabelle 20

Tabelle 20: Temperaturkorrekturfaktoren für Bauteile zu unkonditionierten Räumen

gemäß ÖNORM B 8110-6

Bauteil		fc
Wand/Decke zu unkonditionierten geschlossenen Dachraum		0
Wande/Decke zu geschlossener Tiefgarage	0,8	0,8
Wand zu unkond. Wintergarten U>2,5 W/m²K		0
Wand zu unkond. Wintergarten U≤2,5 W/m²K		0
Wand zu unkond. Wintergarten U≤1,6 W/m²K		0
Wand/Decke zu unkonditionierten ungedämmten Keller (U>0,35 W/m²K)	0,7	0,7
Wand/Decke zu unkonditionierten gedämmten Keller		0,5
Wand zu unkonditioniertem außenluftexponiertem Stiegenhaus		0,7
Wand zu Innenhof mit Glasüberdachung (Atrium)		0
Wand/Decke zu Pufferraum		0,7
außenluftberührten Bauteile	1,0	1,0

f<sub>h</sub>: 0,5 zu gedämmten Keller nur wenn Kellerwand und -boden

U ≤ 0,35 W/m²K

### 7.3.1.3 Leitwert für erdberührte Bauteile L<sub>g</sub>

Der Leitwert für erdberührte Bauteile kann ebenfalls vereinfacht mit Hilfe der Temperaturkorrekturfaktoren f<sub>n</sub> ermittelt werden.

$$L_g = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i \cdot f_h$$

 $<sup>^8</sup>$  Hinweis: h: heating; c: cooling; Da es sich um einen Abminderungsfaktor handelt, sind  $f_h$  bzw.  $f_c$  bei außenluftberührten Bauteilen 1,0.



Dabei gilt:

Lg: Leitwert für erdberührte Bauteile in W/K

U<sub>i</sub>: U-Wert der einzelnen Bauteile in W/m<sup>2</sup>K, Berechnung siehe Abschnitt 3.3

A<sub>i</sub>: Fläche der einzelnen Bauteile in m<sup>2</sup>

f<sub>h</sub>: Temperaturkorrekturfaktor entsprechend Tabelle 21

Tabelle 21: Temperaturkorrekturfaktoren für erdberührte Bauteile gemäß ÖNORM B 8110-6

Bauteil	f <sub>h</sub>	fc
erdanliegende Wand (≤ 1,5 m unter Erdreich)	0,8	0,8
erdanliegende Decke (≤ 1,5 m unter Erdreich)	0,7	0,7
erdanliegende Wand (> 1,5 m unter Erdreich)	0,6	0,6
erdanliegende Decke (> 1,5 m unter Erdreich)	0,5	0,5

### 7.3.1.4 Leitwert für zwei- und dreidimensionale Wärmebrücken $L_{\psi}+L_{\chi}$

Die Berechnung des Einflusses der Wärmebrücken, siehe auch Abschnitt 4 kann detailliert erfolgen<sup>9</sup>. Bei detaillierten Berechnungen sind die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\psi$  und die punktförmigen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\chi$  entsprechend Wärmebrückenkatalogen nachzuschlagen oder nach ÖNORM ISO 10211 zu berechnen.

$$L_{\psi} = \sum_{i=1}^{n} l_i \cdot \psi_i$$

$$L_{\chi} = \sum_{i=1}^{n} \chi_i$$

Dabei gilt:

L<sub>Ψ</sub>: Leitwert für linienförmige Wärmebrücken in W/K

l<sub>i</sub>: Kantenlänge in m

ψ<sub>i</sub>: längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten (z.B. Kanten,

Balkonplatten, Fensteranschlüsse) in W/mK

 $L_{\chi}$ : Leitwert für punktförmige Wärmebrücken (z.B. Stützen, Dübel) in W/K

χ: punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient in W/K

Beim vereinfachten Nachweis der Wärmebrücken entsprechend nachfolgender Formel, ist der größere Wert der beiden Seiten heranzuziehen.

$$L_{\psi} + L_{\chi} = 0.2 \cdot \left[ 0.75 - \frac{\sum_{i=1}^{n} U_{i} \cdot A_{i} \cdot f_{h}}{\sum_{i=1}^{n} A_{i}} \right] \cdot \sum_{i=1}^{n} U_{i} \cdot A_{i} \cdot f_{h} \ge 0.1 \cdot L_{e}$$

Dabei gilt:

 $L_{\psi}$ +  $L_{\gamma}$ : Leitwert der Wärmebrücken in W/K

U<sub>i</sub>: U-Wert der einzelnen Bauteile in W/m<sup>2</sup>K, Berechnung siehe Abschnitt 3.3

A<sub>i</sub>: Fläche der einzelnen Bauteile in m<sup>2</sup>

f<sub>h</sub>: Temperaturkorrekturfaktor entsprechend Tabelle 20 und Tabelle 21 Leitwert für außenluftberührte Bauteile in W/K, gemäß Abschnitt 7.3.1.1

58

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Bei Niedrigstenergiegebäuden sollten die Wärmebrücken detailliert ermittelt werden.



### 7.3.2 Ermittlung der Lüftungswärmeverluste Q<sub>V</sub>

Die Lüftungswärmeverluste Q<sub>v</sub> setzen sich aus kontrollierten (Sicherstellung des hygienischen Luftwechsels) und unkontrollierten (durch Leckagen in der luftdichten Ebene, siehe auch Abschnitt 5) Lüftungswärmeverlusten zusammen.

$$Q_V = L_V \cdot (\vartheta_i - \vartheta_e) \cdot t = L_V \cdot HGT \cdot 24$$

Dabei gilt:

Q<sub>V</sub>: Lüftungswärmeverluste in Wh/a

L<sub>V</sub>: Leitwert für Lüftungswärmeverluste in W/K

9: Innen- und Außentemperatur in °C

t: Zeitdauer in h

HGT: Heizgradtage gemäß Klimadaten in K·d

#### 7.3.2.1 Fensterlüftung

Im Falle einer Fensterlüftung werden die Monatsmittelwerte für die Luftwechselzahl herangezogen. Die Luftwechsel über Leckagen werden in diesem Fall nicht gesondert berücksichtigt.

$$L_v = 0.34 \cdot n_{FL} \cdot V_V$$

$$V_V = BGF \cdot 0.8 \cdot h$$

Dabei gilt:

L<sub>V</sub>: Leitwert für Lüftungswärmeverluste in W/K

n<sub>FL</sub>: Luftwechselzahl für hygienischen Luftwechsel in h<sup>-1</sup>, siehe Tabelle 22

V<sub>V</sub>: fiktives Lüftungsvolumen in m<sup>3</sup>

0,34: Näherung für Rohdichte · spezifische Wärmekapazität der Luft ( $\rho_a \cdot c_a$ )

BGF: Bruttogrundfläche in m²

h: Raumhöhe in m

0,8: Faktor zur Umrechnung der Bruttogrundfläche auf eine Nettofläche

Tabelle 22: Luftwechselzahl in Abhängigkeit der Nutzung gemäß ÖNORM B 8110

Nutzung	n <sub>Fl</sub>
Wohnung (30 m²/Person)	0,4
Büro ohne Nachtlüftung	0,45
Büro mit Nachtlüftung	0,8

#### 7.3.2.2 Mechanische Lüftungsanlage

In diesem Fall sind der Luftwechsel der Anlage und der Infiltrationsluftwechsel über Leckagen gesondert zu berücksichtigen.

$$L_v = 0.34 \cdot \left[ n_x + n_{mech} \cdot \left( 1 - \eta_{WRG} \right) \right] \cdot V_V$$

Dabei gilt:

L<sub>V</sub>: Leitwert für Lüftungswärmeverluste in W/K

n<sub>x</sub>: Infiltrationsluftwechsel in h<sup>-1</sup> Ermittlung gemäß Tabelle 23

n<sub>mech</sub>: Luftwechsel der Anlage nach hygienischer Erfordernis in h<sup>-1</sup> (Tabelle 24) effektiver Wärmebereitstellungsgrad des Wärmetausches (Tabelle 25)

V<sub>V</sub>: fiktives Lüftungsvolumen in m<sup>3</sup>

geprüfte Produkte unter: https://www.prod uktdatenbank-

get.at

Umrechnung des n<sub>50</sub> (siehe auch Abschnitt 5.3) in einen Infiltrationsluftwechsel n<sub>x</sub> als Tabelle 23: Monatsmittelwert

n <sub>50</sub>	n <sub>x</sub>
>1,5	0,11
$0.6 \le n_{50} \le 1.5$	0,07*n <sub>50</sub>
<0,6	0,04

Tabelle 24: Richtwerte für den Luftwechsel nmech

Nutzung	n <sub>mech</sub>
Wohnung	0,4
Büro	0,9

Tabelle 25: Richtwerte für den effektiven Wärmebereitstellungsgrad des Wärmetauschers

Wärmetauscher	η <sub>WRG</sub>
Kreuzstrom-Wärmetauscher	0,5
Gegenstrom-Wärmetauscher	0.75

#### 7.3.3 Ermittlung der interne Gewinne Qi

Zu den internen Gewinnen zählen die Wärmeabgabe der Personen und der elektrischen Geräte.

$$Q_i = q_i \cdot BGF \cdot 0.8 \cdot t$$
$$t = HT \cdot 24$$

Dabei gilt:

Q<sub>i</sub>: interne Gewinne in Wh/a

mittlere Leistung in W/m2: für Wohn- und Bürogebäude, Kindergarten und q<sub>i</sub>: Pflichtschulen, Pflegeheimen, Pensionen und Verkaufsstätten: 3,75 W/m²; für höhere Schulen und Hochschulen, Krankenhäuser, Hotels, Gast-, Veranstaltungs- und Sportstätten: 7,5 W/m²

BGF: Bruttogrundfläche in m²

Zeitdauer in h t:

Faktor zur Umrechnung der Bruttogrundfläche auf eine Nettofläche 0,8:

HT: Heiztage entsprechend Klimadaten in d

#### Ermittlung der solaren Gewinne Qs 7.3.4

Die solaren Gewinne werden ausschließlich durch transparente Bauteile berücksichtigt. Sie sind von Orientierung, Standort, Seehöhe, Jahres- bzw. Tageszeit, Bewölkung, Nachbarbebauung, auskragender Bauteile und Fenstereinbau abhängig. Für die Berechnung sind entsprechend der Orientierungen die wirksamen Kollektorflächen Atrans zu berechnen und anschließend die Produkte aus diesen mit den jeweiligen Werten der Gesamtenergie der Globalstrahlung auf zu addieren.

Gebäude mit HWB < 15 kWh/m²a detailliert berechnen!



$$Q_{s} = \sum_{i} \left( I_{S,j} \cdot \sum_{m} A_{trans,m,j} \right)$$

#### Berechnung für Wohngebäude

$$A_{trans} = A \cdot (1 - F_F) \cdot F_S \cdot g_w$$
$$g_w = 0.9 \cdot 0.98 \cdot g$$

Dabei gilt:

Q<sub>s</sub>: solare Gewinne in kWh/a

I<sub>s,j</sub>: Gesamtenergie der Globalstrahlung auf einer Flächeneinheit mit der

Orientierung i in kWh/m<sup>2</sup>

A<sub>trans,m,j</sub>: wirksame Kollektorfläche der Verglasung in m² der Orientierung j

A: Fensterfläche (Architekturlichte) in m² F<sub>F</sub>: Rahmenanteil (vereinfachte Annahme: 0,3)

Les Maintenanten (Verennachte Annante, 0,5)

F<sub>S</sub>: Verschattungsfaktor; 0,75: für alle verglasten Elemente; 0,85: für Ein-Zweifamilien-Reihenhaus; 1: für den Sommer

g<sub>w</sub>: effektiver Gesamtenergiedurchlassgrad

0,9: Abminderung für nicht senkrechten Strahlungseinfall
 0,98: Abminderung für Verschmutzung der Verglasung
 g: Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung<sup>10</sup>

### 7.3.5 Vereinfachte Ermittlung der Wärmespeicherfähigkeit C

$$C = f_{BW} \cdot V$$

Dabei gilt:

C: Wärmespeicherfähigkeit eines Gebäudes in Wh/K f<sub>BW</sub>: spezifische Kapazität einer Bauweise in Wh/Km³

V: konditioniertes Volumen in m³Qs:solare Gewinne in Wh/a

Tabelle 26: Einteilung der Bauweisen für vereinfachte Berechnung nach ÖNORM B 8110-6

Bauweise	Zuordnung	f <sub>BW</sub> in Wh/Km <sup>3</sup>
leichte	Holzrahmenbauweise ohne massive Innenbauteile	10
mittelschwere	Holzmassivbauweise, Gebäude in Mischbauweise, Gebäude in Massivbauweise mit abgehängten Decken und überwiegend leichten Trennwänden	20
schwere	Gebäude mit großteils massiven Außen- und Innenbauteilen, schwimmenden Estrichen und ohne abgehängter Decken	30
sehr schwere	Gebäude mit sehr massiven Außen- und Innenbauteilen (Altbaubestand)	60

\_\_\_

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> Anteil der als kurzwellige Strahlung durchgelassenen auf der äußeren Scheibe auftreffenden Sonnenstrahlung; Richtwerte: 0,6 (2-fach Verglasungen); 0,55 (3-fach Verglasungen); 0,27 (Sonnenschutzverglasungen)



## 7.3.6 Bilanzierung

$$\begin{aligned} Q_h &= (Q_T + Q_V) - \eta \cdot (Q_S + Q_I)^{11} \\ HWB &= \frac{Q_h}{BGF} \\ \gamma &= \frac{Q_S + Q_I}{Q_T + Q_V} \\ \tau &= \frac{C}{L_T + L_V} \end{aligned}$$

Dabei gilt:

Q<sub>h</sub>: Wärmebedarf in kWh/a

Q<sub>T</sub>: Transmissionswärmeverluste in kWh/a Q<sub>V</sub>: Lüftungswärmeverluste in kWh/a

η: Ausnutzungsgrad

Q<sub>I</sub>: interne Gewinne in kWh/a Q<sub>S</sub>: solare Gewinne in kWh/a HWB: Heizwärmebedarf in kWh/m²a

BGF: Bruttogrundfläche in  $m^2$   $\gamma$ : Gewinn-Verlustverhältnis  $\tau$ : Zeitkonstante in  $h^{12}$ 

C: Wärmespeicherfähigkeit eines Gebäudes in Wh/K  $L_T$ : Leitwert der Transmissionswärmeverluste in W/K  $L_V$ : Leitwert der Lüftungswärmeverluste in W/K

Der Ausnutzungsgrad  $\eta$  bildet ab, dass ein Gebäude im Winter bzw. in der Übergangszeit untertags überwärmen kann und durch eine erhöhte Lüftung eine weitere Erwärmung verhindert wird. Er hängt vom Gewinn-/Verlustverhältnis  $\gamma$ und der Zeitkonstante  $\tau$  ab.

$$a = 1 + \frac{\tau}{16}$$

$$f\ddot{u}r \ \gamma \neq 1: \eta = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}}$$

für 
$$\gamma = 1$$
:  $\eta = \frac{a}{a+1}$ 

Dabei gilt:

η: Ausnutzungsgrad

γ: Gewinn-Verlustverhältnis

a: Parameter

τ: Zeitkonstante in h

 $<sup>^{11}</sup>$  Achtung:  $Q_T,\,Q_V$  und  $Q_I$  von Wh/a auf kWh/a umrechnen!

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> Zeitkonstante beschreibt, wie schnell ein Gebäude auskühlt, wenn keine Gewinne vorhanden sind, bzw. wie schnell es aufgewärmt werden kann, wenn Gewinne vorhanden sind.



# 7.3.7 Exemplarische Klimadaten

Tabelle 27: exemplarische Klimadaten

Klimadaten	Wert		Cimbois
	Referenzklim	Wien	Einheit
I <sub>S,S</sub>	404	356	kWh*m²/a
I <sub>s,w</sub> ; I <sub>s,o</sub>	247	210	kWh*m²/a
I <sub>S,N</sub>	149	150	kWh*m²/a
I <sub>S,horizontal</sub>	396	368	kWh*m²/a
HGT <sub>12/20</sub>	3400	3235	Kd/a
HT <sub>12</sub>	208	208	d



### 8 Sommerlicher Wärmeschutz

### 8.1 Grundlagen

Neben dem winterlichen Wärmeschutz kommt der Sommertauglichkeit der Gebäude eine große Bedeutung zu. Zur Erfüllung der Sommertauglichkeit von Räumen bzw. Gebäuden müssen der Energieeintrag, die Lüftung und die speicherwirksame Masse der Bauweise aufeinander abgestimmt werden.

#### Energieeintrag

Der Energieeintrag setzt sich aus dem solaren Eintrag, welcher von den Größen, der Orientierung und den thermischen Kennwerten der Fenster, deren Verglasungen sowie der Art und Lage der Beschattung abhängt und den internen Lasten zusammen. Grundsätzlich sind Beschattungen außenseitig anzubringen.

Luftwechsel

Der Luftwechsel durch natürliche Fensterlüftung ist von der Größe der Fensteröffnung, der Temperaturdifferenz, der Lage der Fenster und der Windströmung abhängig. Bei einer Temperaturdifferenz von 4 K können sich bei einer Querlüftung über zwei Geschoße Luftwechselraten von 4,6 h<sup>-1</sup> ergeben.

Zur Erzielung einer effizienten Lüftung spielen die Nutzer eine wesentliche Rolle. So zeigten Untersuchungen an Bürogebäuden, dass bei hohen operativen Temperaturen in den Räumen, aber auch bei hohen Außentemperaturen die Fenster geöffnet werden. Neben diesem "bauphysikalischen Fehlverhalten" spielen sicherheitstechnische und lärmschutztechnische Aspekte eine Rolle. So ist im Planungsstadium zu klären, ob eine nächtliche Dauerlüftung unter Beachtung der Sicherheitserfordernisse bzw. - bedürfnisse und des Schallschutzes möglich bzw. zumutbar ist.

Lüftungsanlagen sind in der Regel für den hygienisch erforderlichen Luftwechsel von 0,3 - 0,5 h<sup>-1</sup> im Winter ausgelegt. Mit diesen Luftwechselraten kann die Fensterlüftung unterstützt werden. Eine alleinige sommerliche Lüftung über eine Lüftungsanlage ist auch mit Erdregistern bei wirtschaftlicher Nutzung nicht möglich. Darüber hinaus würde es bei einer derartigen Erhöhung des Luftwechsels zu erheblichen Schallemissionen kommen.

Speicherwirksame Masse

Den dritten Parameter stellt die speicherwirksame Masse dar. Hierbei gilt generell in Bezug auf das Zusammenspiel der drei Faktoren:

Je höher die Speicherfähigkeit der Bauweise desto länger dauert die Nachtabkühlung. Je geringer die speicherwirksame Masse desto größer muss das Augenmerk auf die Verringerung des Energieeintrages liegen.

Energieeintrag minimieren nächtlichen Luftwechsel sicherstellen

Lüftungsanlagen reichen nicht für ausreichenden Luftwechsel zur Sommertauglichkeit



### 8.2 Nachweis für Wohngebäude

Wohngebäude müssen ohne Kühlgeräte den sommerlichen Wärmeschutz erfüllen. Der Nachweis gilt als erfüllt, wenn die operative Temperatur unter 27°C liegt und in Schlafund Ruheräume das Minimum des Tagesganges der operativen Temperatur im Nachtzeitraum höchstens 25°C beträgt. Der Nachweis wird gemäß ÖNORM B 8110-3 geführt.

Für den Nachweis sind die als kritisch einzustufenden Einzelräume auszuwählen. Die Berechnung kann mit dem Exelfile "Berechnung operative Temperatur.xls" DVD-zu Mezera, K.; Bednar, T.; Riccabona, C. Baukonstruktion Band 4, Verlag: Manz sowie Energieausweisberechnungsprogrammen durchgeführt werden.

Für Klimarandbedingungen (NAT13<sup>13</sup>. die Berechnung sind **Tagesverlauf** innerstädtisch oder Umland), Bauteilaufbauten, Abmessungen raumumschließenden Bauteile, Flächen, Orientierung und Kennwerte (U-Wert, g-Wert) der öffenbaren und der nicht öffenbaren Fenster, die Kennwerte einer allfälligen Beschattung (innen oder außenliegend), der Luftwechsel am Tag und in der Nacht (Offnen bzw. Kippen der Fenster) zu ermitteln. Mittels des Berechnungstools kann anschließend die operative Temperatur des Raumes ermittelt werden.

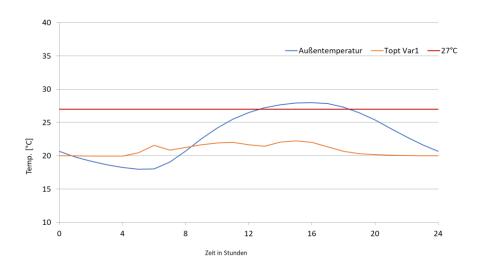


Abbildung 54: Beispielhafter Verlauf der operativen Temperatur Topt im Vergleich zur Außentemperatur

\_

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> NAT 13: Außentemperatur mit einer durchschnittlichen Überschreitungshäufigkeit von 13 Tagen, standortmäßig ermittelbar Tool online: <a href="https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/">https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/</a> richtlinien/2019/oib-richtlinie-6-nat-t13-excel, (31.08.2020)



### 9 Schallschutz

### 9.1 Allgemeines

#### 9.1.1 Wellenarten

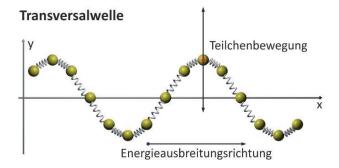
Schall ist definiert als mechanische Schwingungen, die sich in elastischen Medien durch Schwingung der Masseteilchen um ihre Ruhelage ausbreiten, wodurch Verdichtungen und Verdünnungen im Medium entstehen. Während sich Schallwellen in Luft nur als sogenannte Longitudinalwellen ausbreiten (Verdichtungen in Ausbreitungsrichtung), tritt Schall in festen Körpern in den unterschiedlichsten Wellenformen auf. Dabei sind vor allem die Transversal- bzw. Rayleighwellen, bei welchen Schubspannungen durch Schwingung senkrecht zur Ausbreitungsrichtung entstehen, und die Biegewellen zu erwähnen, die auf Biegebewegungen und die damit verbundene Kompression und Expansion in Ausbreitungsrichtung zurückzuführen sind. Biegewellen haben bauakustisch die größte Bedeutung, da sie eine hohe Luftschallabstrahlung aufweisen.

Die Moleküle schwingen um ihre ortsfeste Lage und die "Störung" (Verdichtungen und Verdünnungen breitet sich aus. Daher ist zwischen der Ausbreitungsgeschwindigkeit (Schallgeschwindigkeit) der Störung und der Schnelle (Schwingung der Teilchen) zu unterscheiden.

- Schallgeschwindigkeit in trockener Luft bei 20 °C 343 m/s, bei 0°C 331 m/s
- Schnelle: Geschwindigkeitsamplitude eines Teilchens beträgt in Luft 50 nm/s

#### Unterscheide:

Schallgeschwindigkeit und Schnelle



#### Longitudinalwelle



Abbildung 55: Unterschied Transversal zu Longitudinalwelle; Quelle: <a href="http://www.physica.ch/docs/Wellen%20GF.pdf">http://www.physica.ch/docs/Wellen%20GF.pdf</a>, (26.08.2020)



### 9.1.2 Frequenz

Frequenz: Anzahl der Schwingungen pro Sekunde in Hertz (Hz), definiert die Tonhöhe

 $c = \lambda \cdot f$ 

Dabei gilt:

c: Schallgeschwindigkeit in m/s

λ: Wellenlänge in m
 f: Frequenz in Hz bzw. s<sup>-1</sup>

Der Hörbereich des Ohres liegt bei jungen gesunden Personen zwischen 16 Hz und 20.000 Hz, wobei mit dem Alter der Bereich der höheren Frequenzen (und somit Töne) abnimmt. Während bei 20-jährigen die obere Grenze der Hörfähigkeit noch bei 18.000 Hz liegt, kann man im Durchschnitt mit einer weiteren Abnahme von ca. 3.000 Hz alle 15 Jahre rechnen. Da die Sprache in einem Bereich zwischen 100 Hz und 8.000 Hz liegt, spielt diese Abnahme für den Informationsaustausch keine wesentliche Rolle, für die Wahrnehmung der Klangfarbenempfindung natürlich, da Partialtöne hoher Oktaven darüberliegen können.

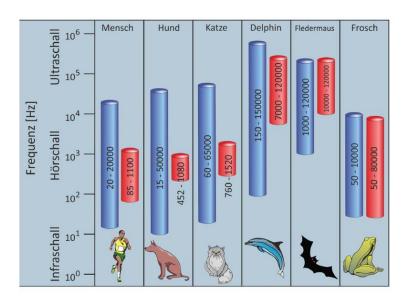


Abbildung 56: Hörbereiche (blau) und Bereiche, die selbst erzeugt werden (rot), Quelle: http://www.physica.ch/docs/Wellen%20GF.pdf, (26.08.2020)

## 9.1.3 Ton, Klang, Geräusch, Lärm

Man unterscheidet zwischen Ton, Klang, Geräusch und Lärm.

Ton: Sinusschwingung einer bestimmten Frequenz

Klang: mehrere Töne in überwiegend harmonischen Frequenzverhältnissen

zusammengesetzt; harmonisch bedeutet, dass die Frequenzen der

Oberwellen ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz sind

Geräusch: mehrere - meist sehr viele - Teiltöne die deren Frequenzen nicht in

einfachen Zahlenverhältnissen zueinander stehen

Lärm: belästigender, gesundheitsschädlicher Schall



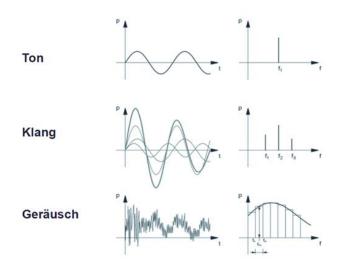


Abbildung 57: Unterschied Ton - Klang - Geräusch

Als Lärm wird störender Schall bezeichnet, der verschiedene Ursachen haben und sogar gesundheitsschädlich sein kann. Die Aufgabe der Bauphysik besteht nun darin durch die Schalldämmung diesen unerwünschten Schall auf ein erträgliches Maß zu reduzieren.

#### 9.1.4 Terz-, Oktavband

Die akustischen Eigenschaften von Bauteilen und Räumen werden nicht für einzelne Frequenzen geprüft und berechnet, sondern für sogenannte Frequenzbänder. Dabei werden benachbarte Frequenzen zusammengefasst. In der Raumakustik (Abschnitt 9.3) in Oktavbändern und in der Bauakustik (Abschnitt 9.2) in Terzbändern. Als Oktave bezeichnet man in der Musik das Intervall zwischen zwei Tönen, welches acht Tonstufen einer diatonischen Tonleiter umspannt. Das Verhältnis der Frequenzen einer Oktave beträgt  $1:2^{14}$ . Drei Terzen bilden eine Oktave, somit beträgt das Verhältnis der Frequenzen einer Terz  $1:\sqrt[3]{2}$ . Die Bänder sind in Abbildung 63 auf Seite 72 dargestellt.

## 9.1.5 Schallleistung P und Schalldruck p

Die Schalleistung P entspricht der Ursache und der Schalldruck p der Wirkung. Man kann dies mit einer elektrischen Heizung und der Temperatur vergleichen, siehe Abbildung 58. Die elektrische Heizung strahlt Wärme ab. In Abhängigkeit der Raumgröße und der Dämm- und Speichereigenschaften der Bauteile stellt sich eine Temperatur (Wirkung) ein.

.

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> Der Kammerton a (eingestriches a) hat eine Frequenz von 440 Hz. Eine Oktave darüber (zweigestrichenes a) hat eine Frequenz von 880 Hz.





Abbildung 58: Vergleich Ursache – Wirkung mit Heizung und Temperatur, Quelle: <a href="http://www.sengpielaudio.com/SchalldruckUndSchallleistung.pdf">http://www.sengpielaudio.com/SchalldruckUndSchallleistung.pdf</a>, (27.08.2020)

Beim Schall ist es ähnlich. In Abbildung 58 verursacht ein Staubsauger einen Schallleistungspegel. Wir hören den Schalldruck, welcher neben dem Schallleistungspegel von der Raumgröße und den Absorptionseigenschaften der Oberflächen und der Einrichtung abhängig ist.

#### 9.1.6 Schallintensität J

Die Schallintensität entspricht dem Verhältnis der auf einer Fläche auftreffenden senkrechten Schallleistung P. Generell gilt:

$$J = \frac{P}{A}$$

Dabei gilt:

J: Schallintensität in W/m²
P: Schalleistung in W
A: Fläche in m²

## 9.1.7 Schalldruck p – Schalldruckpegel L

Die Schallwelle erzeugen durch die Verdichtungen und Verdünnungen Druckschwankungen, welche sich dem Luftdruck (ca. 100.000 Pa) überlagern.

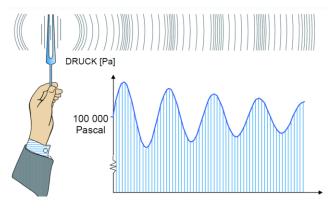


Abbildung 59: Überlagerung der Schallwellen



Der Schalldruck zwischen Hörschwelle und Schmerzgrenze des menschlichen Gehörs reicht von 2\*10<sup>-5</sup> Pa bis 2\*10<sup>2</sup> Pa. Da das menschliche Gehör die Schalldruckänderungen nicht linear wahrnehmen kann und es sich um eine sehr große Bandbreite (10<sup>7</sup>) handelt, wurde die Umrechnung auf den logarithmischen Schalldruckpegel eingeführt. Zusätzlich wird der Pegel in Dezibel angeführt, um eine Skalierung von 1 bis über 100 zu erreichen.

$$L = 10 \cdot log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \cdot log \frac{p}{p_0}$$

Dabei gilt:

L: Schalldruckpegel in dB (daher 10\*)

p: Schalldruck in Pa

p<sub>0</sub>: Bezugsschalldruck in Pa

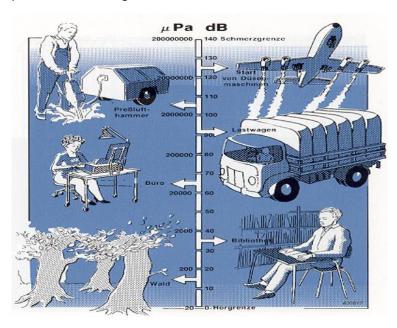


Abbildung 60: Schalldruck versus Schalldruckpegel; Quelle: Bruel & Kjaer

#### Verständnis:

Sieh dir für das bessere Verständnis folgenden Film an:

https://www.youtube.com/watch?v=Ac9cVQNWc6s

### 9.1.8 Rechnen mit Pegeln

Schalldruckpegel können mit folgender Formel addiert werden:

$$L_{ges} = 10 \cdot (log \sum_{i=1}^{n} 10^{\frac{L_i}{10}})$$

Dabei gilt:

 $\begin{array}{ll} L_{\text{ges}} \colon & \text{Summe der Schalldruckpegel in dB} \\ L_{i} \colon & \text{n einzelne Schalldruckpegel in dB} \end{array}$ 

beachte:

40 dB + 40 dB =

43 dB

10 \* 40 dB =

50 dB

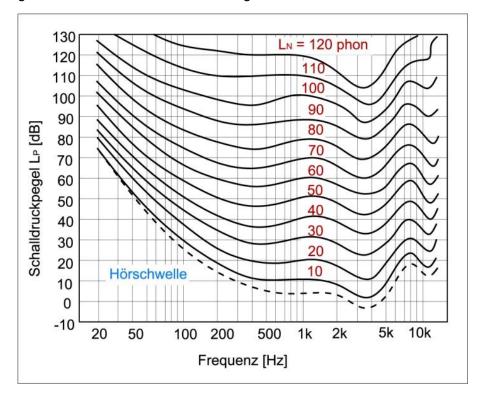


Tabelle 28: Auswirkungen gleicher Schallquellen auf Pegelerhöhung und das Empfinden

Anzahl gleicher Quellen	Pegelerhöhung	Empfinden
2	+ 3 dB	gerade wahrnehmbare
		Änderung der Lautstärke
10	+ 10 dB	Verdoppelung empfundener
		Lautstärke

#### 9.1.9 Lautstärke

Wie laut ein Ton empfunden wird, hängt neben dem Schalldruckpegel L auch von der Tonhöhe (also der Frequenz) ab. Die Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs ist nämlich frequenzabhängig. Die höchste Sensibilität weist das Gehör bei etwa 4.000 Hz auf. Gegen tiefere und höhere Frequenzen nimmt die Empfindlichkeit stark ab, weshalb für das gleiche Lautstärkeempfinden bei sehr tiefen bzw. sehr hohen Frequenzen ein Vielfaches des Schalldruckpegels erforderlich ist. Dies wird sehr gut in den Kurven gleicher Lautstärke, siehe Abbildung 61, ersichtlich. Die Einheit der Lautstärke ist Phon.



tiefe Töne und sehr hohe Töne werden als *leiser* empfunden

Abbildung 61: Kurven gleicher Lautstärke

In der praktischen Akustik, die sich die Aufgabe stellt das Frequenzverhalten des Gehörs nachzubilden, wurden drei Frequenzbewertungskurven, siehe Abbildung 62, eingeführt, die üblicherweise reziprok zu den Kurven gleicher Lautstärke dargestellt werden. Dabei gilt Kurve A (entspricht 40 Phon Linie in Abbildung 61) für niedrige, Kurve B (entspricht 70 Phon Linie in Abbildung 61) für mittlere und Kurve C (entspricht 100 Phon Linie in Abbildung 61) für hohe Pegel. In der Praxis findet hauptsächlich die A-Bewertung Verwendung.

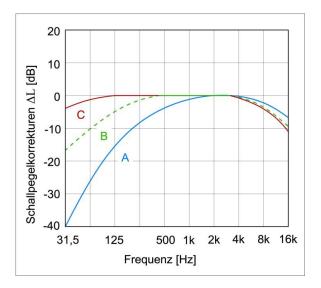


Abbildung 62: Frequenzbewertungskurven

#### 9.2 Bauakustik

Die Bauakustik beschäftigt sich mit dem Schutz in Räumen vor Lärmereignissen von außen bzw. von Nachbarn. Man unterscheidet nach Art der Übertragung Luft- und Trittschall. Der bauakustische Frequenzbereich wurde zwischen den Bandmittenfrequenzen 100 Hz und 3150 Hz festgelegt. Dies entspricht 16 Mittelwerten. Der erweiterte Frequenzbereich reicht von den Bandmittenfrequenzen 50 Hz bis 5000 Hz. Die unteren und oberen Grenzen für die Terzbänder sind in Abbildung 63 dargestellt.

		fu	Terzbänder f <sub>m</sub>	fo	
		28,0	31,5	35,5	
		35,5	40	45,0	
		45,0	50	56,0	
		56,0	63	71,0	
		71,0	80	90,0	
	_	90,0	100	112	
듯	호	112	125	140	
erwelterter Frequenzbereich	bauakustischer Frequenzbereich	140	160	180	
6	8	180	200	224	
유	2	224	250	280	
- E	9	280	315	355	
烹	귳	355	400	450	
ĕ	2	450	500	560	
匠	=	560	630	710	
<u>.</u>	ڃ	710	800	890	
<u></u>	8	890	1000	1120	
#	ᇴ	1120	1250	1410	
Į	로	1410	1600	1800	
<u></u>	<u> </u>	1800	2000	2240	
	ğ	2240	2500	2800	
		2800	3150	3550	
		3550	4000	4500	
		4500	5000	5600	
		5600	6300	7100	
		7100	8000	9000	
		9000	10000 Hz	11200	

Abbildung 63: Frequenzbereich in der Bauakustik



#### 9.2.1 Luftschallschutz

#### 9.2.1.1 Kennwerte

Die luftschallschutztechnischen Eigenschaften eines Bauteiles (Wand, Decke, Fenster;..) werden mit Hilfe des Schalldämm-Maßes R dargestellt. Die Prüfung erfolgt in einem Prüfstand, wobei die Übertragung nur durch den Bauteil erfolgen soll. Dies bedeutet, dass es zu keiner Übertragung durch angrenzende Bauteile (Flanken) kommt. Bei Objekten wird das sogenannte Bauschalldämm-Maß R' bzw. die Standard-Schallpegeldifferenz D<sub>nT</sub> ermittelt. In Österreich liegen für Außenbauteile Anforderungen an R´ und für Trennbauteile zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten Anforderungen an D<sub>nT</sub> vor.

Grundsätzlich handelt es sich bei den Kennwerten des Luftschallschutzes um Dämmwerte, d.h. es wird gemessen wieviel Schall der Bauteil dämmt. Je größer die Werte sind, desto besser sind die Bauteile.

LU FTSCHA	II.	S	T/T <sub>0</sub>	A/A <sub>0</sub>	
Bauteil	R <sub>w</sub>				
Gebäude	R'w				
	$D_{n,w}$				GEBÄUDE
	D <sub>nT,w</sub>				

R'w: bewertetes Bauschalldämm-Maß [dB]

Dn.w: bewertete Norm-Schallpegeldifferenz [dB]

DnT,w: bewertete Standard-Schallpegeldifferenz [dB]

T: Nachhallzeit [s]

To: Bezugsnachhallzeit [s], i.a. 0.5 s

A: äquivalente Schallabsorptionsfläche [m²]

Ao: Bezugsabsorptionsfläche [m²], i.a. 10 m²

Abbildung 64: Kennwerte für den Luftschallschutz, Quelle: Teibinger, Martin; Matzinger, Irmgard (2013): Bauen mit Brettsperrholz im Geschoßbau - Fokus Bauphysik - Planungsbroschüre. Holzforschung Austria, Wien.

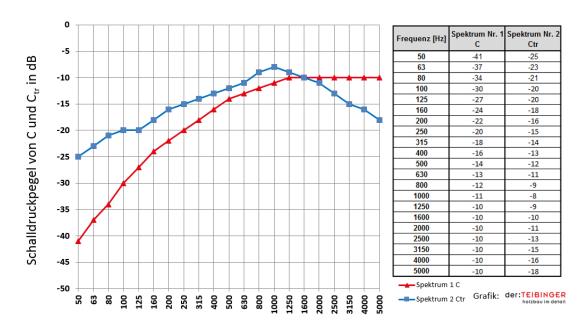
Da der Verlauf der Bezugskurven, die im Wohnbereich bzw. durch Verkehr verursachten Geräuschspektren zu wenig berücksichtigt, wurden Spektrum-Anpassungswerte definiert. Für den Luftschallschutz handelt es sich dabei um C (Spektrum 1) und Ctr (Spektrum 2). Abbildung 65 stellt die Schalldruckpegel der Referenzspektren C und Ctr dar. Auf die Erläuterung der Berechnung der beiden Kennwerte wird an dieser Stelle verzichtet. Wichtig für den Praktiker ist, dass bei Außenbauteilen Ctr und bei Innenbauteilen C berücksichtigt werden sollte. Die Werte werden bei den Prüfberichten in Klammer nach dem bewerteten Kennwert angeführt.

Rw (C; 
$$C_{tr}$$
) =69 (-2; -8) dB

Luftschall:

Je größer der Kennwert, desto besser!

Spektrum-Anpassungswert C (Innenbauteil) Ctr (Außenbauteil)



Frequenzen in Hz

Abbildung 65: Schalldruckpegel der Referenzspektren C und Ctr

Bei Innenbauteilen sollte in der Regel C und bei Außenbauteilen  $C_{tr}$  berücksichtigt werden. Es sei denn, es ergibt sich aufgrund der Nutzung, z.B. Diskothek unter der Trenndecke ein anderes Profil. Die typischen Geräuschquellen für die beiden Spektren sind in Tabelle 29 zusammengefasst.

Tabelle 29: Zuordnung von Geräuschquellen zu den Spektrum-Anpassungswerten C und Ctr

Spektrum 1	Spektrum 2
С	C <sub>tr</sub>
Wohnaktivitäten (Reden, Musik, Radio, TV)	Städtischer Straßenverkehr
Kinderspielen	Propellerflugzeug
Schienenverkehr mit mittleren und hohen	Schienenverkehr mit geringer Geschwindigkeit
Geschwindigkeiten Autoverkehr > 80 km/h	Düsenflugzeuge in großem Abstand
Düsenflugzeuge in kleinem Abstand	Discomusik
Betriebe, die überwiegend mittel- und hochfrequenten Lärm abstrahlen	Betriebe, die überwiegend tief- und mittelfrequenten Lärm abstrahlen

Bei den Spektrums-Anpassungswerten wird auch zwischen den einzelnen Frequenzbereichen unterschieden. Sind im Prüfbericht keine Bereiche angeführt, wird der bauakustische Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 3.150 Hz verstanden. In ÖNORM B 8115-5 für die Komfortklassen A und B die Berücksichtigung von  $C_{50-3150}$  für Trennbauteile und  $C_{tr,100-3150}$  für Außenbauteile gefordert. Für den Praktiker ist es entscheidend bei der Wahl des Bauteiles auf die entsprechenden Indizes zu achten

#### 9.2.1.2 Anforderungen

Die baurechtlichen Anforderungen sind in OIB Richtlinie 5 als Basis für die länderrechtlichen Bestimmungen angeführt. Zusätzlich legt ÖNORM B 8110-5 Klassifizierungen für einen vertraglich festzulegenden verbesserten Schallschutz fest.

wenn keine Indizes gilt Frequenzbereich 100 - 3150 Hz



Die mindesterforderliche Schalldämmung der Außenbauteile hängt vom Außenlärmpegel ab. Je höher der Pegel an einem Standort, desto höher sind die Anforderungen an die opaken (nicht lichtdurchlässigen) Bauteile, die Fenster und an das gesamte zusammengesetzte Außenbauteil. In Abschnitt 9.2.1.6 werden die Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels und die Berechnung angeführt.

Tabelle 30: Anforderungen an Außenbauteile für Wohngebäude, -heime, Hotels, Schulen, Kindergärten, Krankenhäuser, Kurgebäude u.dgl. (Auszug); Quelle: OIB Richtlinie 5

o o	her Außen- jel in dB	Außenbauteile gesamt	Außenbauteile opak	Fenster und	Außentüren		
Tag	Nacht	R´res,w in dB	R <sub>w</sub> in dB	R <sub>w</sub> in dB	R <sub>w</sub> +C <sub>tr</sub> in dB		
≤ 50 dB	≤ 40 dB	33	43	28	23		
51-60 dB	41-50 dB	38	43	33	28		
61-70 dB	51-60 dB	38,5 + 0,5 dB	43,5 + 0,5 dB	33,5 + 0,5 dB	28,5 + 0,5 dB		
		je Erhöhung des maßgeblichen Außenlärmpegels um 1 dB					
71-80 dB	61-70 dB	43 + 1 dB	48 + 1 dB	38 + 1dB	33 + 1dB		
	- •	je Erhöhung o	des maßgeblichen	Außenlärmpege	els um 1 dB		

Tabelle 31 führt die Mindestanforderungen an den Luftschallschutz von Trennbauteilen an. Details können der OIB Richtlinie direkt entnommen werden.

Tabelle 31: Anforderungen an Trennbauteile, Quelle: OIB-Richtlinie 5

	Mindesterforder	iche bewertete Standard-Schallpegeldifferenz I	D <sub>nT,w</sub> in Gebäuden
	zu	aus	D <sub>nT,w</sub> [dB] ohne / mit Verbindung durch Türen, Fenster oder sonstige Öffnungen
1	Aufenthaltsräumen	Aufenthaltsräumen anderer Nutzungseinheiten	55 / 50
		allgemein zugänglichen Bereichen (z.B. Treppenhäuser, Gänge, Kellerräume, Gemeinschaftsräume)	55 / 50
		Nebenräumen anderer Nutzungseinheiten	55 / 50
2	Hotel-, Klassen-, Kranken-	Räumen gleicher Kategorie	55 / 50
	zimmern, Gruppenräumen in Kinder- gärten sowie	allgemein zugänglichen Bereichen (z.B. Treppenhäuser, Gänge, Kellerräume, Gemeinschaftsräume)	55 / 38
	Wohnräumen in Heimen	Nebenräumen	50 / 35
3	Nebenräumen	Aufenthaltsräumen anderer Nutzungseinheiten	50 / 35
		allgemein zugänglichen Bereichen (z.B. Treppenhäuser, Gänge, Kellerräume, Gemeinschaftsräume)	50 / 35
		Nebenräumen anderer Nutzungseinheiten	50 / 35

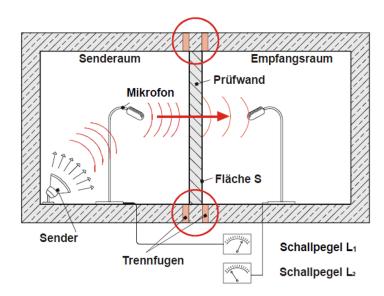
Sofern keine organisatorischen Maßnahmen gemäß Punkt 2.9 zur Anwendung kommen, sind als andere Nutzungseinheit bei Schulen die einzelnen Klassenzimmer, bei Kindergärten einzelne Gruppenräume, bei Krankenhäusern einzelne Krankenzimmer, bei Heimen einzelne Heimzimmer, bei Hotels einzelne Hotelzimmer, bei Verwaltungs- und Bürogebäuden aber die fremdgenutzte Betriebseinheit zu sehen.

Bei Gebäuden mit gemischter Nutzung sind die Anforderungen entsprechend den speziellen Raumnutzungen anzuwenden.



#### 9.2.1.3 Messung

Das zu prüfende Bauteil trennt den Sende- vom Empfangsraum. Im Senderaum wird ein Lautsprecher aufgestellt, der einen hohen Pegel  $L_1$  erzeugt, siehe Abbildung 66. In beiden Räumen werden mit Mikrofonen die beiden Pegel  $L_1$  und  $L_2$  gemessen. Da der Pegel im Empfangsraum ( $L_2$ ) neben den schalldämmenden Eigenschaften des Prüfbauteils auch von den raumakustischen Eigenschaften des Raums selbst abhängt, wird diese durch den rechten Term (Verhältnis der Bauteilfläche S zur Schallabsorptionsfläche A) in der Formel berücksichtigt.



Schalldämm-Maß R: ohne Flanken

Bauschalldämm-Maß R´: mit Flanken

Abbildung 66: Prüfung des Schalldämm-Maßes R im Prüfstand ohne Flankenübertragung

$$R = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \frac{S}{A}$$

Dabei gilt:

R: Schalldämm-Maß des Bauteils in dB L<sub>1</sub>: Schalldruckpegel im Senderaum in dB L<sub>2</sub>: Schalldruckpegel im Empfangsraum in dB

S: Bauteilfläche in m²

A: äquivalente Schallabsorptionsfläche des Empfangsraum in m²

$$A = \sum \alpha_i \cdot S_i$$

Dabei gilt:

α<sub>i</sub>: Schallabsorptionsgrad der Oberflächen, Einrichtungen und Personen<sup>15</sup>

S<sub>i</sub>: Flächen der Oberflächen, Einrichtungen, Personen in m²

#### 9.2.1.4 Bewertung: vom Prüfergebnis zum Einzahlwert

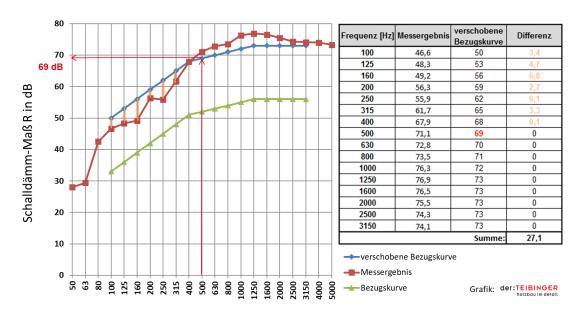
Bei akustischen Messungen im bauakustischen Frequenzbereich werden somit die ermittelten Pegel der 16 Mittenfrequenzen angeführt. Anhand der grafischen Darstellung kann der Akustiker Einbrüche im Bereich von beispielsweise

R<sub>w</sub>: bewertete *Einzahlangab*e

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> Dimensionsloser Wert: kleiner Werte bedeuten eine geringe Schallabsorption (z.B. harte, glatte Oberflächen), große Werte eine hohe Schallabsorption (weiche Oberflächen)



Resonanzfrequenzen oder Hohlraumresonanzen aufgrund des Aufbaus erkennen und gegebenenfalls Verbesserungen am Bauteil vorschlagen. Für Gesetzgeber und Planende sind allerdings Einzahlangaben zur Festlegung eines Anforderungsprofils entscheidend. Aus diesem Grund werden die Messergebnisse mit Hilfe der international genormten Bewertungskurve auf einen Einzahlwert umgerechnet. Der Verlauf dieser Bewertungskurve entspricht den schalltechnischen Eigenschaften eines mineralischen Bauteils.



Terzbandmittenfrequenz in Hz

Abbildung 67: Bestimmung der bewerteten Einzahlwerte (z.B. R<sub>w</sub>) aus der Prüfung des Schalldämm-Maßes R; rote Kurve: Messkurve, grüne Kurve: Bewertungskurve, blaue Kurve: verschobene Bewertungskurve, orange Linien: ungünstige Unterschreitungen der Messkurve zur verschobenen Bewertungskurve

Die Bewertungskurve wird nun in ganzen dB-Schritten solange verschoben, bis die Summe der ungünstigen Abweichungen der Messkurve von der Bezugskurve (im Fall des Luftschallschutzes geringere Werte) bei Terzbändern maximal 32 dB beträgt. Dies entspricht bei den 16 Werten einer mittleren Abweichung von maximal 2 dB. In Abbildung 67 sind die einzelnen ungünstigen Abweichungen als orange Linie dargestellt. Überschreitungen der Messkurve, welche günstigeren Bereichen entsprechen, werden nicht berücksichtigt. Der Wert der verschobenen Bezugskurve bei 500 Hz entspricht der Einzahlangabe - beispielsweise dem bewerteten Schalldämm-Maß  $R_w$ . Dieser Vorgang wird allen Kennwerten bei Luftschallschutzes, wie beispielsweise dem Bauschalldämm-Maß R´ und der Standard-Schallpegeldifferenz D<sub>nT</sub>, zur Bestimmung der bewerteten Einzahlangabe verwendet.

#### 9.2.1.5 Berechnung von R<sub>w</sub>

Bei homogenen Bauteilen kann mittels der Masseformel das bewertete Schalldämm-Maß der Rohbauteile berechnet werden.

Masseformel für homogene mineralische Bauteile:

$$R_w = 32.4 \cdot log(m') - 26$$

gilt nur für  $100 \text{ kg/m}^2 < m' < 700 \text{ kg/m}^2$ 

Masseformel für Massivholzelemente:

$$R_w = 21,65 \cdot \log(m') - 2,3$$

gilt nur für m´≥ 50 kg/m²

Dabei gilt:

Rw: bewertetes Schalldämm-Maß des Rohbauteils in dB

m': Flächengewicht des Rohbauteils in kg/m²

Bei einem WDVS auf mineralischen Bauteilen ist entsprechend ÖNORM B 8115-4 die Resonanzfrequenz des WDVS und in weiterer Folge das Luftschallverbesserungsmaß  $\Delta R_w$  zu berechnen.

$$f_0 = 160 \cdot \sqrt{\frac{s'}{m'}}$$

Dabei gilt:

f<sub>0</sub>: Resonanzfrequenz des WDVS in Hz

s': dynamische Steifigkeit des Dämmstoffes des WDVS in MN/m³

m': Flächengewicht des Putzes in kg/m²

Da die dynamische Steifigkeit s´ bzw. der dynamische E-Modul E<sub>dyn</sub> des Dämmstoffes von den Anbietern kaum angegeben wird, können die in Tabelle 32 angeführten Werte übernommen werden. Neben dem Mittelwerten und deren Standardabweichungen sind auch die Wertebereiche angeführt.

Tabelle 32: dynamischer E-Modul bauüblicher Dämmstoffe für WDVS (statistische Auswertung ca. 200 Prüfstandsmessungen), Quelle: Weber, Lutz; Müller, Simon (2015): Schallschutz bei Wärmedämm-Verbundsystemen. F 2949. IRB Verlag. Stuttgart (Forschungsinitiative

Zukunft Bau).

Material	dyn. Elastizitätsmodul E <sub>dyn</sub> [MN/m²]			
	Mittel- wert	Standard- abweich.	Werte- bereich	
EPS	3,0	1,7	1,2 - 6,0	
elastifiziertes EPS	0,7	0,2	0,5 - 1,0	
Mineralfaser-Putzträgerplatten	0,5	0,1	0,4 - 0,8	
Mineralfaser-Lamellenplatten	6,3	2,9	1,1 - 14,0	

$$s' = \frac{E_{dyn}}{d}$$

Dabei gilt:

s': dynamische Steifigkeit des Dämmstoffes des WDVS in MN/m³

E<sub>dyn</sub>: dynamischer E-Modul der Dämmstoffe in MN/m<sup>2</sup>

d: Dicke des Dämmstoffes in m

Bei Verwendung der Masseformel *Grenzen* für *m* ' berücksichtigen!

Achtung: **EPS**weist eine *hohe*dynamische
Steifigkeit s' auf,
schlecht für den
Schallschutz!



Tabelle 33: Bewertetes Luftschallverbesserungsmaß ΔR<sub>w</sub> durch eine Vorsatzkonstruktion in Abhängigkeit der Resonanzfrequenz f<sub>0</sub>, Quelle: ÖNORM B 8115-4

Resonanzfrequenz $f_0$ der Vorsatzschale in Hz	$\Delta R_{ m w}$ in dB
≤ 80	$35 - R_{\rm W}/2$
100	$32 - R_{\rm W}/2$
125	$30 - R_{\rm w}/2$
160	28 – R <sub>w</sub> /2
200	-1
250	-1 bis -3
315	-3 bis -5
400	-5 bis -7
500	-6 bis -9
630 bis 1600	-6 bis -10
> 1600	-3 bis -5

Anmerkung 1: Der  $\Delta R_{\text{W}}$ -Mindestwert beträgt 0 dB für  $f_0 \leq$  160, in Hz.

Anmerkung 2: Für die Zwischenresonanzfrequenzen können die Werte durch lineare Interpolation aus dem Frequenz-Logarithmus abgeleitet werden.

Anmerkung 3:  $R_w$  bezeichnet das bewertete Schalldämm-Maß der Rohwand oder der Rohdecke, in dB.

9.2.1.6 Berechnung des resultierenden Schalldämm-Maßes von Außenbauteilen

In Abhängigkeit des maßgeblichen Außenlärmpegels werden an die Außenbauteile von Aufenthaltsräumen entsprechend der bautechnischen Landesgesetzgebung Anforderungen gestellt, siehe auch Abschnitt 9.2.1.2. Für die Nachweisführung ist das resultierende Schalldämm-Maß R<sub>res,w</sub> zu berechnen.

$$R_{res,w} = -10 \cdot log\left(\frac{1}{S_g} \cdot \sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{\frac{-R_i}{10}}\right)$$

Dabei gilt:

 $R_{\text{res},w}$ : bewertete resultierende Schalldämm-Maß des zusammengesetzten

Bauteils in dB

S<sub>q</sub>: raumseitige Fläche des zusammengesetzten Bauteils in m²

S<sub>i</sub>: Fläche der einzelnen Bauteile (z.B. opake Wand, Fenster) in m<sup>2</sup>

R<sub>i</sub>: bewertetes Schalldämm-Maß der einzelnen Bauteile in dB

R<sub>res,w</sub>:
auch bei
Einfamilienhäusern
nachweisen



### Berechnungsablauf:

- Bestimmung des Außenlärmpegels
  - Lärmkataster <u>www.laerminfo.at</u>; Nachtwert in 4 m Höhe (höchster Wert von Straßen-, Schienen- oder Fluglärm wählen)
  - Planungsrichtwerte gem. ÖNORM B 8115-2, siehe Tabelle 34

Tabelle 34: Planungsrichtwerte für gebietsbezogene Schallemissionen, Quelle: ÖNORM B 8115-2

Bauland- Kategorie	Gebiet	A-bewerteter, äquivalenter Dauerschallpegel L <sub>A,eq</sub> in dB		
		bei Tag	bei Nacht	
1	Ruhegebiet, Kurgebiet	45	35	
2	Wohngebiete in Vororten, Wochenendhaus- gebiete, ländliche Wohngebiete	50	40	
3 städtische Wohngebiete, Gebiete für Bauten land- und forstwirtschaftlicher Betriebe und Wohnungen		55	45	
Kerngebiete (Büros, Geschäfte, Handel und Verwaltung ohne Schallemission sowie Wohnungen)		60	50	
5	Gebiete für Betriebe mit geringer Schall- emission (Verteilung, Erzeugung, Dienstleistung, Verwaltung)	65	55	

- Individuelle Messung
- Gegebenenfalls Abminderungen möglich, siehe Tabelle 35

Tabelle 35: lagebezogene Abminderungen des maßgeblichen Außenlärmpegels, Quelle: ÖNORM B 8115-2

Lage	Lagebezogene Abminderung des maßgeblichen Außenlärmpegels in dB								
Fassade in geschlossenem Hof		10							
von den Schallquellen ab- gewandte Fassade bei ge- schlossener Bebauung		10							
von den Schallquellen ab- gewandte Fassade bei of- fener Bebauung		5							
Strukturierte Fassaden	gem. ÖNORM EN 12354-3								
	Gebäudehöhe in m								
in Dachflächen		< 8			8 - 12			≥ 12	
				Dachi	neigung in	Grad			
	≤ 30	30-45	>45	≤ 30	30-45	>45	≤ 30	30-45	>45
Straßenbreite in m	an	geschloss	enen bet	auter Str	aße ohne	gegenüb	er liegen	de Bebau	ung
≤ 12	5	3	3	10	8	5	14	13	9
> 12	4	2	2	8	6	3	12	10	6
Straßenbreite in m		30 03	an beid	seitig ges	schlossen	bebaute	Straße		
≤ 12	3	2	2	6	5	3	8	6	5
> 12	3	2	2	5	4	2	7	5	4

- Bestimmung der Anforderungen nach OIB Richtlinie 5
- Bestimmung der Flächen S
  - Innenseitige Gesamtfläche der Außenwände eines Raumes Sg
  - Fensterfläche
  - Wandfläche, gegebenenfalls auch Dachfläche
- Bestimmung der Schalldämmmaße R<sub>w</sub> der Bauteile
  - Prüfberichte, Datenbanken
  - Berechnung
- Berechnung von R<sub>res,w</sub>

**Hinweis:** In dieser Vereinfachung ist der Fenstereinbau (Schalldämm-Maß der Anschlussfuge) nicht berücksichtigt.



Da i.d.R. die Fenster schallschutztechnisch die Schwachstelle darstellen, kann man mit folgender Formel das erforderliche Schalldämm-Maß der Fenster berechnen.

 $R_{wF,erf} = R_{w,AW} - 10 \cdot log \left[ 1 + \frac{S_g}{S_F} \cdot \left( 10^{\frac{R_{w,AW} - R_{res,w}}{10}} - 1 \right) \right]$ 

Dabei gilt:

erforderliches bewertetes Schalldämm-Maß der Fenster in dB R<sub>wF,erf</sub>:

bewertetes Schalldämm-Maß der Außenwand in dB R<sub>w.AW</sub>:

S<sub>q</sub>: raumseitige Fläche des zusammengesetzten Bauteils in m²

Fensterfläche in m² S<sub>F</sub>:

erforderliches resultierendes Schalldämm-Maß des zusammengesetzten R<sub>res,w</sub>:

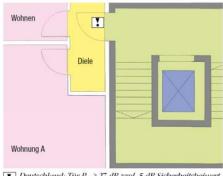
Bauteils in dB

#### **VERSUCH:**

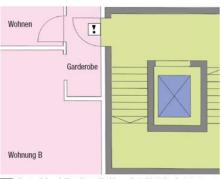
Nachweisführung für das bewertete resultierende Schalldämm-Maß

#### 9.2.1.7 Baupraktische Empfehlungen

- Grundrissgestaltung: Ruheräume nach Möglichkeit nicht neben Räumen mit hohen Schalldruckpegeln
- Mineralische Bauteile benötigen möglichst hohes Flächengewicht.
- Bei WDVS Dämmstoffe mit geringer dynamischer Steifigkeit verwenden. Achtung bei EPS!
- Bei Holzbauteilen Masse-Feder-Masse System konsequent einhalten.
- Hohlräume immer mit fasrigen Dämmstoffen ausdämmen.
- Bei zweischaligen Trennbauteilen Koppelung durch z.B. Mörtel vermeiden, am besten mit Mineralwolle ausdämmen.
- Undichtheiten vermeiden
- Bei Außenbauteilen mit hohen Anforderungen eventuell Fensterflächen reduzieren.
- Bei Wohnungen eventuell einen Vorraum planen, da dadurch geringere Anforderungen an die Eingangstür und die Wand zum Stiegenhaus bzw. Gang vorliegen, siehe Abbildung 68.







Deutschland: Tür  $R_W \ge 37$  dB zzgl. 5 dB Sicherbeitsbeiwert Österreich: Tür  $R_W \ge 42$  dB,  $D_{nT,w} \ge 50$  dB

Abbildung 68: Anforderungen an Eingangstüren und Gangwände in Abhängigkeit ob ein geschlossener Vorraum vorhanden ist (links), Quelle: Teibinger, Martin; Borsch-Laaks, Robert; Schopbach, Holger; Wagner, Gerhard; Zeitter, Helmut (2019): Barrierefreie Hybridbauweise Holzbau dnq 5/2019. S. 34 - 46.

Formel zur Berechnung des erforderlichen Rw der Fenster



#### 9.2.2 Trittschallschutz

#### 9.2.2.1 Kennwerte und Messung

Beim Trittschallschutz wird im Gegensatz zum Luftschallschutz nicht die Dämmung des Bauteiles gemessen, sondern der Pegel, der durch den Bauteil in den Empfangsraum durchgehen kann. Aus diesem Grund sind geringere Werte besser. Die raumakustischen Eigenschaften des Empfangsraums sind wie bei der Messung des Luftschallschutzes entscheidend. Beim Norm-Trittschallpegel Ln wird hierfür die äquivalente Schallabsorptionsfläche A und beim Standard-Trittschallpegel LnT die Nachhallzeit T verwendet.

Trittschall:
ankommender
Pegel im
Empfangsraum
kleiner Wert
besser

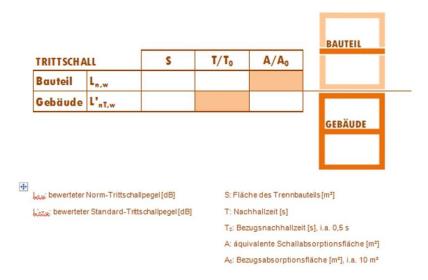


Abbildung 69: Kennwerte für den Trittschallschutz. Quelle: Teibinger, Martin; Matzinger, Irmgard (2013): Bauen mit Brettsperrholz im Geschoßbau – Fokus Bauphysik – Planungsbroschüre. Holzforschung Austria, Wien.

Im Falle des Trittschalles wird mit Hilfe des Spektrum-Anpassungswertes  $C_{I,\,100\text{-}2500}$  die Abweichung des Normhammerwerkes vom Gehen berücksichtigt. Der Spektrum-Anpassungswert  $C_{I,50\text{-}2500}$  geht auf die Problematik tiefer Frequenzen unter 100 Hz ein und verdeutlicht somit mögliche psychoakustische Störwirkungen des Gehens. Bei Berücksichtigung des Anpassungswertes kann eine wesentliche Steigerung der Benutzerzufriedenheit und somit eine einhergehende Qualitätssteigerung erzielt werden .

Da die Werte zum Trittschallpegel addiert werden, wird eine Decke umso besser empfunden, je niedriger der Wert ist. Ermittelt werden die Spektrums-Anpassungswerte  $C_{\rm I}$  in dem man von der energetischen Addition der Einzelpegel, des gewünschten Frequenzbereiches (100 Hz - 2500 Hz bzw. 50 Hz bis 2500 Hz) 15 dB und den bewerteten Trittschallpegel abzieht.

$$C_I = L_{n.sum} - 15 - L_{n.w}$$

$$L_{n,sum} = 10 \cdot log \sum_{i=1}^{n} 10^{\frac{L_i}{10}}$$



#### Dabei gilt:

C<sub>I</sub>: Spektrums-Anpassungswert in dB

L<sub>n,sum</sub>: energetische Addition der Einzelpegel L<sub>i</sub> in dB

L<sub>i</sub>: Pegel der einzelnen Terzbänder von 100-2500 Hz bzw. von 50-2500 Hz

L<sub>n,w</sub>: bewerteter Norm-Trittschallpegel in dB

Der in Abbildung 71 dargestellte ermittelte Verlauf des Norm-Trittschallpegels der Decke mit einem bewerteten Norm-Trittschallpegel  $L_{n,w}$  von 38 dB, ergibt ein  $C_{1,100-2500}$  von 1 dB und ein  $C_{1,50-2500}$  von 6 dB. Die Decke weist somit ein  $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$  von 44 dB auf.

#### 9.2.2.2 Anforderungen

Die baurechtlichen Anforderungen sind in OIB Richtlinie 5 angeführt. Für höhere vertraglich zu vereinbarende Anforderungen ist ÖNORM B 8115-5 heranzuziehen.

Tabelle 36: Anforderungen an Trennbauteile, Quelle: OIB Richtlinie 5

	·	Höchst zulässiger bewerteter Standard-Trittschallpegel L'nT,w		
	in	aus	L'nT,w [dB]	
		Räumen anderer Nutzungseinheiten (Wohnungen, Schulen, Kindergärten, Krankenhäuser, Hotels, Heime, Verwaltungs- und Bürogebäude und vergleichbare Nutzungen)	48	
1	Aufenthaltsräumen	allgemein zugänglichen Terrassen, Dachgärten, Balkonen, Loggien und Dachböden	48	
		allgemein zugänglichen Bereichen (z.B. Treppenhäuser, Laubengänge)	50	
		nutzbaren Terrassen, Dachgärten, Loggien und Dachböden	53	
		Balkonen	55	
		Räumen anderer Nutzungseinheiten (Wohnungen, Schulen, Kindergärten, Kran- kenhäuser, Hotels, Heime, Verwaltungs- und Bürogebäude und vergleichbare Nutzungen)	53	
2	Nebenräumen	allgemein zugänglichen Terrassen, Dachgärten, Balkonen, Loggien und Dachböden	53	
		allgemein zugänglichen Bereichen (z.B. Treppenhäuser, Laubengänge)	55	
		nutzbaren Terrassen, Dachgärten, Loggien und Dachböden	58	
		Balkonen	60	

Sofern keine organisatorischen Maßnahmen gemäß Punkt 2.9 zur Anwendung kommen, sind als andere Nutzungseinheit bei Schulen die einzelnen Klassenzimmer, bei Kindergärten einzelne Gruppenräume, bei Krankenhäusern einzelne Krankenzimmer, bei Heimen einzelne Heimzimmer, bei Hotels einzelne Hotelzimmer, bei Verwaltungs- und Bürogebäuden aber die fremdgenutzte Betriebseinheit zu sehen.

Bei Gebäuden mit gemischter Nutzung sind die Anforderungen entsprechend den speziellen Raumnutzungen anzuwenden.

#### 9.2.2.3 Messung

Bei der Messung wird die zu prüfende Decke mittels eines sogenannten Normhammerwerkes zum Schwingen angeregt. Im Empfangsraum wird der Schalldruckpegel L gemessen.

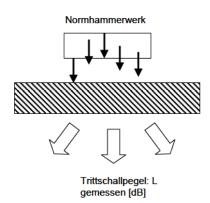




Abbildung 70: Prüfung des Trittschallpegels mittels Normhammerwerk



$$L_{nT} = L_2 - 10 \cdot \log \frac{T}{T_0}$$

Dabei gilt:

L<sub>nT</sub>: Standard-Trittschallpegel in dB

L<sub>2</sub>: Schalldruckpegel im Empfangsraum in dB
 T: Nachhallzeit<sup>16</sup> im Empfangsraum in s

T<sub>0</sub>: Bezugsnachhallzeit i.a. 0,5 s

$$L_n = L_2 + 10 \cdot \log \frac{A}{A_0}$$

Dabei gilt:

L<sub>n</sub>: Norm-Trittschallpegel (Prüfstandsmessung ohne Flanken) in dB

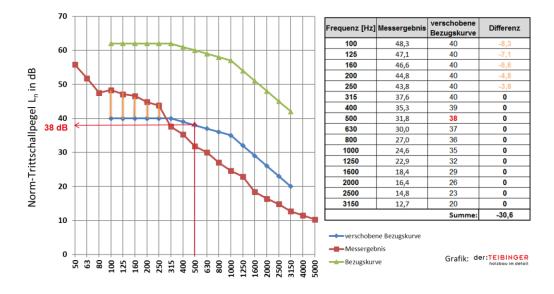
L<sub>2</sub>: Schalldruckpegel im Empfangsraum in dB

A: äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum in m²

A<sub>0</sub>: Bezugsfläche in m<sup>2</sup> i.a. 10 m<sup>2</sup>

#### 9.2.2.4 Bewertung

Beim Trittschall handelt es sich nicht um einen "Dämmwert" der Konstruktion, wie beim Luftschallschutz, sondern man misst den im Empfangsraum "ankommenden" Pegel. Aus diesem Grund werden für die Bewertung die ungünstigen Überschreitungen der Messwerte zur - um wiederum ganze dB verschobenen - Bezugskurve aufsummiert, siehe orange Linien in Abbildung 71. Der Wert darf auch in diesem Fall in Summe 32 dB bzw. als mittlere Abweichung bei 16 Werten 2 dB nicht überschreiten. Der bewertete Einzahlwert stellt wiederum den Wert der verschobenen Bezugskurve bei 500 Hz dar. Auch hier gilt das Verfahren auch für den bewerteten Standard-Trittschallpegel L<sub>nT.w</sub>.



Terzbandmittenfrequenz in Hz

Abbildung 71: Bestimmung des bewerteten Norm-Trittschallpegels; rote Linie: Messkurve, grüne Linie: Bewertungskurve, blaue Linie: verschobene Bewertungskurve, oranges Striche: ungünstige Überschreitungen der Messwerte zur verschobenen Bezugskurve

=

<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> Nachhallzeit entspricht der Zeitdauer bis ein Pegel eines Schallereignisses nach Ausschalten um 60 dB abnimmt.



#### 9.2.2.5 Berechnung

Die Berechnung mineralischer Bauteile des bewerteten Norm-Trittschallpegels L<sub>n,w</sub> kann nach ÖNORM B 8115-4 durchgeführt werden. Hierzu sind das Flächengewicht der Rohdecke und die Trittschallverbesserung durch den Estrich entscheidend.

Für Holzbauteile wird auf Prüfzeugnisse von Systemanbietern und Bauteilkatalogen, wie z.B. <u>www.dataholz.eu</u> verwiesen. Für Vorbemessungen wird auf die Informationsdienst Holz Broschüre, siehe weiterführende Literatur, verwiesen.

Da in Deutschland, die Anforderungen an L´<sub>n,w</sub> gestellt werden und in den Publikationen diese berechnet werden, wird eine Umrechnung der beiden Kennwerte angeführt.

$$\hat{L}_{nT,w} = \hat{L}_{n,w} - 10 \cdot log(V) + 15$$

$$L_{n,w} = L_{nT,w} + 10 \cdot log(V) - 15$$

Dabei gilt:

L'nT,w: bewerteter Standard-Trittschallpegel in dB

L'n,w: bewerteter Normtrittschallpegel inklusive der Flankenübertragung in dB

V: Volumen im Empfangsraum in m³

 $L'_{nT,w}$  ist volumenabhängig. Bei kleineren Volumen des Empfangsraumes ist das Messergebnis höherer, dies bedeutet dass hier kritischere Anforderungen vorliegen. Für die Umrechnung der beiden Kennwerte bedeutet dies, dass bei  $V = 31,25 \text{ m}^3$  beide Werte gleich groß sind. Bei kleineren Volumen wird  $L'_{nT,w}$  bei gleich großem  $L'_{n,w}$  größer. Zur Abschätzung kann auch Abbildung 72 herangezogen werden.

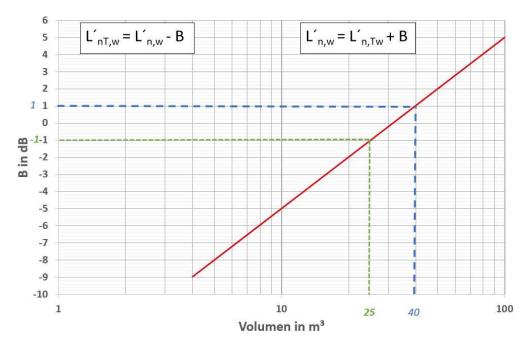


Abbildung 72: Diagramm zur Umrechnung von L´n,w in L´nT,w und umgekehrt in Abhängigkeit des Raumvolumens

*Hinweis für Praktiker:* Da die Anforderungen in Österreich für Trenndecken bei einem  $L'_{nT,w} \le 48$  dB sind und Aufenthaltsräume nicht kleiner als 10 m² sein sollten (25 m³), ergibt sich ein maximales  $L'_{n,w}$  von 47 dB.

#### 9.2.2.6 Baupraktische Empfehlungen:

- Trittschalldämmungen mit möglichst geringer dynamischer Steifigkeit s´ verwenden; bei Zementestrichen s´ ≤ 10 MN/m³, bei Trockenestrichen sind höhere Steifigkeiten erforderlich
- Installationen immer in Schüttungen verlegen, keine Beschädigung der Trittschalldämmung
- Estriche schwimmend verlegen
- Randdämmstreifen durchgehend verlegen, Koppelungen von Fußböden mit anderen Bauteilen verhindern
- Stiegenläufe und Podeste von Wänden entkoppeln
- bei abgehängten Unterdecken biegeweiche Platten verwenden (GKF ≤ 15 mm)
- bei Massivholzdecken schwere (σ > 1.300 kg/m³) ungebundene oder elastisch gebundene Schüttungen verwenden, (bei entkoppelter Abhängung ≥ 5 cm; bei Sichtholz ≥ 10 cm)
- Resonanzfrequenz des Estrichs

Es wird empfohlen für die Dimensionierung die Resonanzfrequenz des Estrichs von Trenndecken zu berechnen. Diese sollte auf alle Fälle unter 100 Hz sein, idealerweise unter 50 Hz.

für schwere Rohdecken (Stahlbeton):  $f_0 = 160 \cdot \sqrt{\frac{s}{m_1}}$ 

für Holzdecken: 
$$f_0 = 160 \cdot \sqrt{s^{'} \cdot \left(\frac{1}{m_1^{'}} + \frac{1}{m_2^{'}}\right)}$$

Dabei gilt:

f<sub>0</sub>: Resonanzfrequenz des Estrichs in Hz

s´: dynamische Steifigkeit der Trittschalldämmung in MN/m³

m'1: Flächengewicht des Estrichs in kg/m²

m'2: Flächengewicht der Holzdecke in kg/m²

#### **VERSUCH:**

Bauakustische Messungen in der Schule

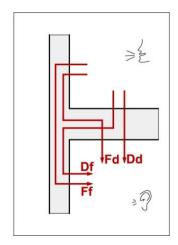
#### 9.2.3 Weiterführende Literatur

Blödt, Adrian; Rabold, Andreas; Halstenberg, Michael (2019): Schallschutz im Holzbau - Grundlagen und Vorbemessung. 1. Auflage. Hg. v. Holzbau Deutschland-Institut e.V. Berlin (holzbau handbuch, Reihe 3 Teil 3 Folge 1). Online: <a href="https://informationsdienst-holz-holzbau-handbuch/reihe-3-bauphysik/schallschutz-im-holzbau/">https://informationsdienst-holz-holzbau-handbuch/reihe-3-bauphysik/schallschutz-im-holzbau/</a>; aufgerufen am 27.08.2020



### 9.2.4 Flankenübertragung

Die Schallübertragung zwischen zwei Räumen erfolgt über den Trennbauteil und über die Flanken. Im Falle der Geschoßdecke liegen Nebenwege vor allem in Form der flankierenden Wände, aber auch als indirekte Schallübertragung über Luftschall-Nebenwege wie etwa Kabelkanäle, vor. Abbildung 73 stellt schematisch die Übertragungswege dar. Die Bauteile, welche im Senderaum angeregt werden, werden mit Großbuchstaben und die Bauteile, die im Empfangsraum den Schall abstrahlen, mit Kleinbuchstaben gekennzeichnet. Für die Direktschallübertragung wird der Buchstabe d und für die Flankenschallübertragung der Buchstabe f verwendet.



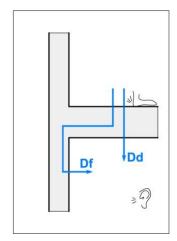


Abbildung 73: Luftschall- und Trittschallübertragungswege zwischen benachbarten Räumen, Quelle: Teibinger, Martin; Matzinger, Irmgard (2013): Bauen mit Brettsperrholz im Geschoßbau – Fokus Bauphysik – Planungsbroschüre. Holzforschung Austria, Wien.

Für die Nachweisführung sind alle Übertragungswege zu berücksichtigen. Für mineralische Bauteile ist in ÖNORM EN 12354-1 ein Berechnungsverfahren angeführt. Für Holzbauteile gibt es ein vereinfachtes Prognoseverfahren in der Informationsdienstholz Broschüre.

#### 9.3 Raumakustik

Die Raumakustik beschäftigt sich mit der Verbesserung der Hörsamkeit (z.B. Veranstaltungsräumen und Hörsälen) sowie der Lärmminderung (z.B. Büroräume, Maschinenhallen). Entscheidend für die Raumakustik eines Raumes sind das Volumen pro Zuhörer, die Raumform sowie die Schallabsorptionseigenschaften und der Streugrad der umgebenden Bauteile sowie der Einbauten.



### 9.3.1 Begriffe

#### 9.3.1.1 Schallabsorptionsgrad $\alpha$ :

Der Schallabsorptionsgrad definiert den Anteil der Schallenergie, der von einer Fläche im diffusen<sup>17</sup> Schallfeld nicht reflektiert wird. Gemessen wird der Schallabsorptionsgrad in sogenannten Hallräumen (Prüfräume mit großer Nachhallzeit).

 $\alpha$  = 0 keine Absorption;  $\alpha$  = 1 vollständige Absorption

Tabelle 37: Einflüsse auf die Schallabsorption

Eigenschaft	< Schallabsorption	> Schallabsorption
Material	hart	weich
Oberfläche	dicht	porös
Reflexion	groß	klein

#### 9.3.1.2 Äquivalente Schallabsorptionsfläche A

Die äquivalente Schallabsorptionsfläche A wird durch Aufsummieren der Schallabsorptionsanteile aller vorhandenen Raumoberflächen S<sub>i</sub> mit der äquivalenten Schallabsorptionsfläche der Einrichtung der Personen und der Luft im Raum ermittelt.

$$A = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \cdot S_i + A_E + A_P + A_L$$

#### Dabei gilt:

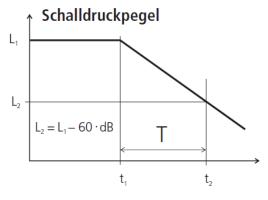
A: äquivalente Schallabsorptionsfläche in m²
 α<sub>i</sub>: Schallabsorptionsgrad der Bauteiloberflächen

S<sub>i</sub>: Bauteiloberflächen in m<sup>2</sup>

A<sub>E</sub>: äquivalente Schallabsorptionsfläche der Einrichtung in m²
 A<sub>P</sub>: äquivalente Schallabsorptionsfläche der Personen in m²
 A<sub>L</sub>: äquivalente Schallabsorptionsfläche der Luft in m²

#### 9.3.1.3 Nachhallzeit T

Die Nachhallzeit T entspricht dem Zeitraum in s, in dem nach Abschalten eines Schallereignisses der Schalldruckpegel um 60 dB sinkt.



Pegelabnahme um 60 dB

T:

Zeit der

Abbildung 74: Nachhallzeit, Quelle: Mezera, K.; Bednar, T.; Riccabona, C. Baukonstruktion Band 4

Achtung:

A: äquivalente Schallabsorptionsfläche

S: Bauteilfläche

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> Ein diffuser Raum hat eine gleichmäßige Verteilung des Schalldruckes



$$T = 0.163 \cdot \frac{V}{A}$$

Dabei gilt:

T: Nachhallzeit in s V: Volumen in m³

A: äquivalente Schallabsorptionsfläche in m²

Durch Messung der Nachhallzeit und Umformen der Formel kann die äquivalente Schallabsorptionsfläche eines Raumes bestimmt werden.

Für die Prüfung der Schallabsorption von Baustoffen in Hallräumen wird die Nachhallzeit mit und ohne dem Baustoff ermittelt. Daraus lässt sich der Schallabsorptionsgrad  $\alpha$  berechnen.

$$A_{ohne} = \frac{_{0,163 \cdot V}}{_{T_{ohne}}} \qquad \qquad A_{mit} = \frac{_{0,163 \cdot V}}{_{T_{mit}}}$$
 
$$\alpha = \frac{A_{mit} - A_{ohne}}{S}$$

#### 9.3.1.4 optimale Nachhallzeit T<sub>opt</sub>

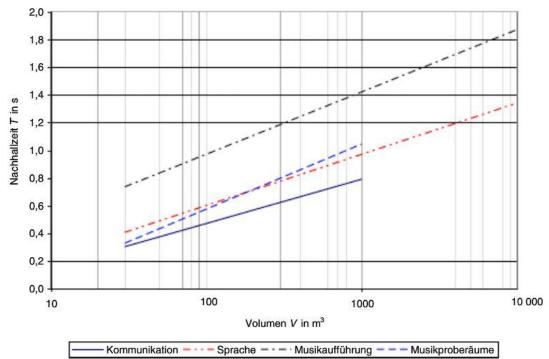


Abbildung 75: Optimale Nachhallzeit von Räumen in besetzten Zustand unterschiedlicher Nutzungen, Quelle: ÖNORM B 8115-3

Die optimale Nachhallzeit kann Abbildung 75 entnommen werden oder mit nachfolgenden Formeln berechnet werden.

Kommunikation:  $T_{opt} = 0.32 \cdot logV - 0.17$ Sprache:  $T_{opt} = 0.37 \cdot logV - 0.17$ Musikaufführung:  $T_{opt} = 0.45 \cdot logV + 0.07$ Musikproberäume:  $T_{opt} = 0.47 \cdot logV - 0.37$ 

Dabei gilt:

T<sub>opt</sub>: optimale Nachhallzeit im Raum in s

V: Volumen des Raums in m³ (Bereich von 30 m³ bis 1.000 m³)

#### Optimale Nachhallzeit

Volumen abhängig



#### 9.3.2 Absorber

Grundsätzlich werden drei Arten von Absorbern unterschieden:

- Poröse Absorber (decken größeren Bereich im hohen Frequenzbereich ab)
- Resonanzabsorber oder Plattenschwinger (decken einen kleinen Bereich um die Resonanzfrequenz f<sub>0</sub> der Abhängung im tieferen Frequenzbereich ab)

$$f_0 = \frac{60}{\sqrt{m' \cdot d}}$$

Dabei gilt:

f<sub>0</sub>: Resonanzfrequenz in Hz

m': Flächengewicht der Platte in kg/m²

d: Luftabstand in m

• Kombination aus beiden (absorbieren vor allem im mittleren Frequenzbereich

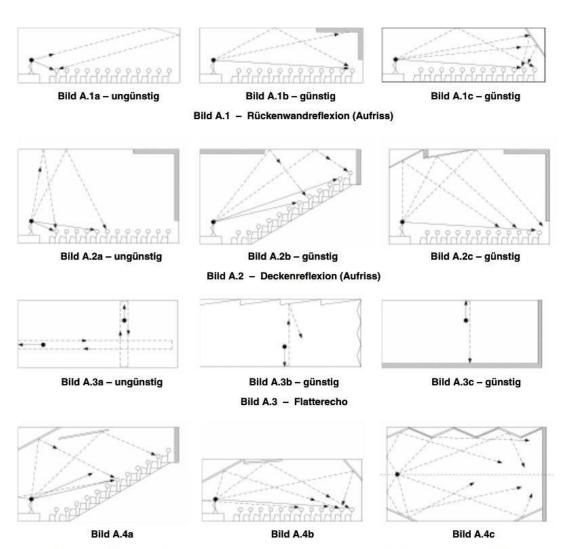


Bild A.4 - Nützliche Reflexion für den hinteren Raumbereich (A.4a und A.4b Aufriss, A.4c Grundriss)

Abbildung 76: Schematische Darstellung der Anordnung von Absorbern bzw. Reflektoren, Quelle: ÖNORM B 8115-3





Bild A.5 – Verteilung schallabsorbierender Flächen für Räume kleiner bis mittlerer Raumgröße, zB Schulräume, Sitzungsräume (oben Aufrisse, unten Deckenuntersichten)

Abbildung 77: Schematische Darstellung der Anordnung von Absorbern bzw. Reflektoren (Fortsetzung), Quelle: ÖNORM B 8115-3

#### 9.3.3 Diffusoren

Diffusoren verteilen eine großen Teil der reflektierten Schallenergie auf unterschiedliche Richtungen. In früheren Konzertsälen erfüllten Verzierungen, Rosetten und Figuren an Balkonen und Wänden diese Aufgabe.

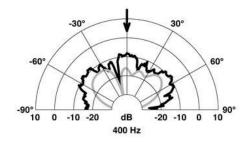


Abbildung 78: Streubild eines Diffusors, Quelle: <a href="https://www.hunecke.de/de/wissen/diffusoren/index.html">https://www.hunecke.de/de/wissen/diffusoren/index.html</a>; (28.08.2020)



Abbildung 79: Beispiel eines Raumes mit Diffusoren aus Holz, Quelle: <a href="https://german.alibaba.com/product-detail/2018-professional-acoustic-sound-diffuser-material-wooden-acoustical-diffuser-panel-for-studio-recording-room-1459871727.html">https://german.alibaba.com/product-detail/2018-professional-acoustic-sound-diffuser-material-wooden-acoustical-diffuser-panel-for-studio-recording-room-1459871727.html</a>, (28.08.2020)

#### 9.3.4 Weiterführende Informationen

Kostenlose Raumakustikrechner für unterschiedliche Absorber: online: <a href="https://www.hunecke.de/de/wissen/raumakustik/index.html">https://www.hunecke.de/de/wissen/raumakustik/index.html</a>, (28.08.2020)



#### 10 Brandschutz

### 10.1 Einteilung

Der Brandschutz kann in vorbeugenden (passiven) und abwehrenden (aktiven) Brandschutz eingeteilt werden, siehe Abbildung 80. Zusätzlich kann man ihn auch in technischen und organisatorischen Brandschutz unterteilen, siehe Abbildung 81.

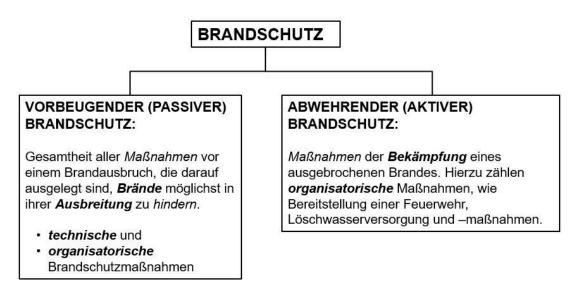


Abbildung 80: Einteilung in aktive und passive Brandschutzmaßnamen

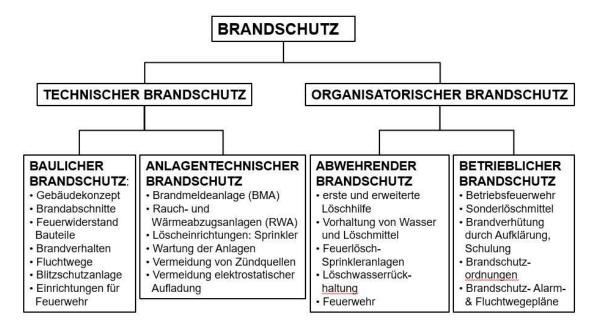


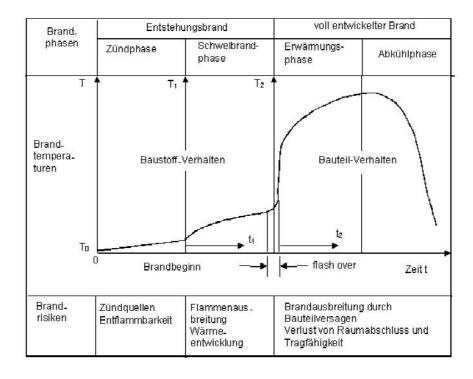
Abbildung 81: Einteilung in technischen und organisatorischen Brandschutz



#### 10.2 Brandverhalten versus Feuerwiderstand

#### 10.2.1 Brandverlauf

Ein Brand kann in zwei Phasen eingeteilt werden, wobei die Entstehungsbrandphase durch einen langsamen und geringen Temperaturanstieg gekennzeichnet ist. Die Phase kann in Zünd- und Schwelbrandphase unterteilt werden. In der Entstehungsbrandphase ist das Baustoffverhalten (Brandverhalten) der eingesetzten Bekleidungen und Beläge entscheidend. Zum Zeitpunkt des sogenannten flash overs kommt es zu einem sprunghaften Temperaturanstieg. Sämtliche brennbaren Stoffe und Gase im Brandraum entzünden sich schlagartig. Der Zeitpunkt des flash overs hängt von den Brandlasten und den Ventilationsbedingungen ab. Ab diesem Zeitpunkt spricht man von einem vollentwickelten Brand, der in die Erwärmungs- und die Abkühlphase eingeteilt wird. In dieser Phase ist das Bauteilverhalten (Feuerwiderstand der Bauteile) entscheidend.



Unterscheide:
2 Brandphasen
und Baustoffbzw. Bauteilanforderungen

Abbildung 82: Brandphasen, Quelle: Schneider, Ulrich (2009): Ingenieurmethoden im Brandschutz. Werner. Köln

#### 10.2.2 Brandverhalten – Baustoffverhalten

Wesentliche Eigenschaften zur Beurteilung von Baustoffen hinsichtlich des Brandverhaltens stellen die Entzündbarkeit, die Brennbarkeit, die Flammenausbreitung, die Rauchentwicklung sowie die Abbrandgeschwindigkeit dar. Da diese Eigenschaften von unzähligen Faktoren abhängen, werden zur Vergleichbarkeit des Brandverhaltens der einzelnen Baustoffe standardisierte Prüfungen durchgeführt. Die Klassifizierung von Baustoffen mit Ausnahme von Bodenbelägen erfolgt nach ÖNORM EN 13501-1 folgendermaßen:



Tabelle 38: Einteilung der Brandverhaltensklassen gemäß ÖNORM EN 13501-1

Brandverhaltensklassen		Rauchentwicklungsklassen		Abtropfverhaltensklassen	
A1 A2	nicht brennbar	s1	geringe Rauchentwicklung	d0	kein brennendes Abtropfen/Abfallen innerhalb von 600 s
В		s2	mittlere Rauchentwicklung	d1	kein brennendes Abtropfen/Abfallen mit einer Nachbrennzeit länger als 10 s innerhalb von
		s3	hohe Rauchentwicklung bzw. nicht geprüft	d2	keine Leistung festgestellt
F					

Bei der Nutzung von Klassifizierungsberichten nach ÖNORM EN 13501-1 ist zu beachten, dass immer die Einbausituation (z.B. mit/ohne Luftschicht) berücksichtigt werden muss. Um den erforderlichen Prüf- und Klassifizierungsaufwand zu reduzieren, besteht seitens der Europäischen Kommission die Möglichkeit, für Baustoffe mit bekanntem Brandverhalten und definierten Materialeigenschaften Klassifizierungen ohne zusätzliche Prüfungen (classification without further testing cwft) durchzuführen. In Übereinstimmung mit der Entscheidung der Europäischen Kommission 2003/43/EC ist beispielsweise Konstruktionsholz mit einer Mindestdichte von 350 kg/m³ und einer Mindestdicke von 22 mm zur Verwendung als Wand-, Decken-, Dach- oder Sonderbauteile der Euroklasse D-s2, d0 nach ÖNORM EN 13501-1 zuzuordnen.

Einbausituation der Baustoffe berücksichtigen!

#### 10.2.3 Feuerwiderstand

Die Anforderungen an den Feuerwiderstand werden immer an den gesamten Bauteil gestellt. Bei den Feuerwiderstandsklassen REI wird zwischen tragenden und/oder brandabschnittsbildenden Bauteilen unterschieden.

Tabelle 39: Bezeichnungén für den Feuerwiderstand nach ÖNORM EN 13501-2 (Auszug); Quelle der Abbildungen: Östman, Birgit; et al (2010): Fire safety in timber buildings. Technical guideline for Europe. Herausgegeben von SP Trätek. Stockholm

Kurzzeichen	Anforderung	Abbildung
R	Tragfähigkeit	
E	Raum- abschluss	
I	Wärmedämmung	



Tabelle 40: Zuordnung der Anforderungen an den Feuerwiderstand an Bauteile, Quelle: Frangi, Andrea; Schleifer, Vanessa; Studhalter, Johann (2005): Bauteile in Holz - Feuerwiderstandsdauer 30 und 60 Minuten. Lignatec 18/2005. Zürich.

	R	EI	REI
Bezeichnung	tragend, nicht abschließend	abschließend	tragend und abschließend
Brandein- wirkung	gleichzeitig von mehreren Seiten	von einer Seite	von einer Seite
Stützen, Träger			
Flächige Bauteile			

Tragende Innenwand Anforderung R

Die Nachweise können mittels Klassifizierungsberichte nach ÖNORM EN 13501-2 auf Basis von Bauteilprüfungen oder mittels rechnerischem Nachweis nach den entsprechenden Eurocodes (z.B. ÖNORM EN 1995-1-2 in Kombination mit dem nationalen Anwendungsdokument ÖNORM B 1995-1-2 für den Holzbau) erfolgen.

### 10.2.4 Anforderungen

Anforderungen an den Brandschutz sind in diversen Gesetzen vorhanden:

- Bundesrecht:
  - Allgemeine bürgerliches Recht
  - Arbeitnehmerschutzgesetz
  - Arbeitnehmerschutzverordnung
  - Arbeitsstättenverordnung
  - Elektrotechnikgesetz
  - Gewerbeordnung
  - Produkthaftungsgesetz
  - Strafgesetzbuch
  - Versicherungsvertragsgesetz
- Landesrecht:
  - Bautechnikverordnungen der einzelnen Länder
     Achtung: Basis sind zwar die OIB Richtlinien, wobei in einzelnen Bundesländern davon abgewichen wird

### 10.2.5 Bautechnische Empfehlungen

- Unkontrollierte Hohlräume in Bauteilen und bei Bauteilanschlüssen vermeiden
- Brandabschnitte einhalten und sicher ausbilden
- Schächte abschotten Typ A oder Typ B

Umfassende Regelungen zum Brandschutz



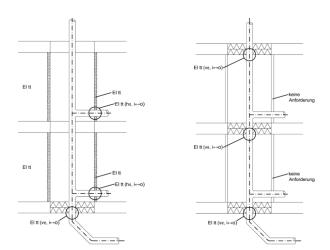


Abbildung 83: Schachttyp A (links) Abschottung sämtlicher Durchdringungen durch Schachtwände und in der Kellerdecke (Schacht eigener Brandabschnitt), Schachttyp B (rechts) Abschottung im Bereich der Decken mit Hartschott (ausbetonieren) oder Weichschott (Steinwolle), Quelle: MA37 – B/1/13849/2005 Installationen-Richtlinie Brandschutztechnische Anforderungen bei Leitungsdurchführungen

- Brandweiterleitung bei Fassaden ab Gebäudeklasse (GK) 4 verhindern:
  - Brandriegel aus Mineralwolle bei WDVS mit > 10 cm EPS
  - Brandsperren bei hinterlüfteten Fassaden (z.B. auskragende Bleche)
- Rücksichtnahme auf die mögliche Veränderung des Feuerwiderstandes bei Einbau von Installationen
- Bei Kaminen und Öfen Abstände zu brennbaren Bauteilen einhalten

#### 10.2.6 Weiterführende Literatur

#### **Baulicher Brandschutz:**

Schneider, Ulrich; Lebeda, Christian; Franssen, Jean M. (2008): Baulicher Brandschutz. 2. Auflage

#### Ingenieurmethoden im Brandschutz:

Schneider, U. (2009): Ingenieurmethoden im Brandschutz. 2.Auflage: Werner Verlag.

#### Brandschutz im Holzbau:

Östman, Birgit; et al (2010): Fire safety in timber buildings. Technical guideline for Europe. Herausgegeben von SP Trätek. Stockholm

Teibinger, Martin (2020): Brandschutz im Holzbau. Online: <a href="https://derteibinger.at/">https://derteibinger.at/</a>
<a href="https://derteibinger.at/">wordpress/wp-content/uploads/2020/06/Teibinger\_Brandschutz-im-Holzbau\_10-04-2020.pdf">https://derteibinger.at/</a>
<a href="https://derteibinger.at/">https://derteibinger.at/</a>
<a href="https://derteibinger.at/">https://der



# 11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Einflussfaktoren auf die thermische Behaglichkeit, Quelle: https://www.delta.at/wp-content/uploads/2015/07/Vortrag_HermesThermischer_KomfortBHK2015.pdf, (06.09.2020)
Abbildung 2:	Anforderung an die Lufttemperatur $\theta_L$ und die mittlere Temperatur der raumumschließenden Bauteile $\theta_L$ , Quelle: https://www.delta.at/wp-content/uploads/2015/07/Vortrag_HermesThermischer_KomfortBHK2015.pdf, (06.09.2020)2
Abbildung 3:	Behaglichkeitsgrenzen für die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte, Quelle: https://www.delta.at/wp-content/uploads/2015/07/Vortrag_HermesThermischer_KomfortBHK2015.pdf, (06.09.2020)
Abbildung 4:	Behaglichkeitsgrenzen für die Luftgeschwindigkeit in Körpernähe in Abhängigkeit der Lufttemperatur, Quelle: https://www.delta.at/wp-content/uploads/2015/07/Vortrag _HermesThermischer_KomfortBHK2015.pdf, (06.09.2020)
Abbildung 5:	Temperaturempfinden versus physikalischer Temperatur; links: Lufttemperatur: - 10 °C und Sonnenschein vor der Schihütte, rechts: + 10 °C in einer nicht beheizten Wohnung im Winter Bildquellen: links: https://presse.tirol.at; rechts: https://www.energieleben.at (30.07.2020)
Abbildung 6: \	/erschiedene Temperaturskalen und deren Umrechnung 6
Abbildung 7:	Weltenergieverbrauch7
Abbildung 8:	Änderung der Temperatur, der CO <sub>2</sub> -Konzentration und der Kohlenstoffemissionen während der letzten 1000 Jahre (links) & Änderung der Änderung der Temperatur und der CO <sub>2</sub> -Konzentration während der letzten 160.000 Jahre (rechts); Quelle: Arctic Climate Impact Assessment, 2004 online: www.acia.uaf.edu (30.07.2020)
Abbildung 9:	Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Fenstergröße und des U-Wertes der Fenster bei $\vartheta_e$ = - 10 °C und $\vartheta_i$ = 20 °C; Quelle: Borsch-Laaks, Robert (2019): Beides zugleich. Baukosten und Energie sparen. In: Condetti & Co. 4 – Details in Holzhausbau und Bestand9
Abbildung 10:	Möglichkeiten der Wärmeübertragung9
Abbildung 11:	Zusammenhang der Rohdichte und der Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen, Quelle: www.ziegel.at; (30.07.2020) 10
Abbildung 12:	Äquivalente Dämmstoffdicke unterschiedlicher Baustoffe 10
Abbildung 13:	elektromagnetisches Spektrum11
Abbildung 14:	Intensität der Schwarzkörperstrahlung in Abhängigkeit von der Wellenlänge bei unterschiedlichen Temperaturen, Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmestrahlung, (01.08.2020)
	(*



Abbildung 15:	Wärmestrahlung, die auf Körper trifft, Quelle: https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/waermestrahlung, (01.08.2020)12
Abbildung 16:	Wärmeübergangswiderstände nach ÖNORM EN ISO 6949.13
Abbildung 17:	Berechnung des oberen Grenzwertes R <sub>T</sub> mit Festlegung der Flächenanteile16
Abbildung 18:	Berechnung des unteren Grenzwertes R <sub>T</sub> ´´16
Abbildung 19:	schematische Skizze zur Bestimmung von $A_g$ und $I_g$ 17
Abbildung 20:	schematische Skizze zur Bestimmung von $A_f,A_g$ und $A_w17$
Abbildung 21:	Kastenfenster mit den Bezeichnungen für die Berechnung von $U_W$
Abbildung 22:	Übersicht der Glasqualitäten und deren Entwicklung in den letzten Jahrzenten; Quelle: https://nei-dt.de/fachinformationen/altbau-sanierung/fenster/, (07.08.2020)
Abbildung 23:	Arten von Wärmebrücken20
Abbildung 24:	luftdichte (rote Linie) winddichte (grün) Ebene22
Abbildung 25:	schematische Darstellung der Unterdruckmessung beim Blower Door Test24
Abbildung 26:	beispielhafter Auszug aus einem Messprotokoll; Volumenstrom und n <sub>50</sub> bei Unterdruck, Überdruck und Mittelwert
Abbildung 27:	Druckverhältnisse in einem Gebäude aufgrund der Thermik, Quelle: Borsch-Laaks, Robert (2006): Risiko Dampfkonvektion. Wann gibt s wirklich Schäden? In: Holzbau - die neue quadriga (3), S. 17–22.
Abbildung 28:	Zusammenhang zwischen der absoluten (horizontale Linien) sowie der relativen (rote bzw. blaue Kurven) Luftfeuchtigkeit und der Lufttemperatur (vertikale Linien)29
Abbildung 29:	Bestimmung der Taupunkttemperatur in Abhängigkeit der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte, Quelle: Willems et al.(2010): Formeln und Tabellen Bauphysik. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag
Abbildung 30:	Zusammenhang absolute Luftfeuchtigkeit, Feuchteproduktionsrate und Lüftung30
Abbildung 31:	Feuchtequellen in Wohnungen, Quelle: Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus (2019): Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden. Online: https://www.bv-schimmel.at/wp-content/uploads/2019/02/ BVS_Schimmel-LF_web.pdf, (25.08.2020)
Abbildung 32:	Definition der Luftfeuchteklassen in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur und des raumseitigen Feuchteüberschusses, Quelle: ÖNORM B 8110-231
Abbildung 33:	Tipps zum richtigen Lüften; Quelle: Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus (2019): Leitfaden zur Vorbeugung. Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in



	Gebäuden. Online: https://www.bv-schimmel.at/wp-content/uploads/2019/02/ BVS_Schimmel-LF_web.pdf, (25.08.2020)
Abbildung 34:	typische Feuchtespeicherfunktionen für schwach (Ziegel), mäßig (Beton) und stark (Holz) hygroskopische Baustoffe. Die Werte in der Klammer geben die freie Wassersättigung der einzelnen Materialien im sorptionsabhängigen überhygroskopischen Bereich an. Quelle: Fraunhoferinstitut: Grundlagen Feuchtetransport in Bauteilen – rechnerische Simulation mit Hilfe des Modells WUFI. Online: https://www.wufi-forum.com/viewtopic.php?t=1618, (25.08.2020)
Abbildung 35:	Feuchtetransportphänomene in den Baustoffporen einer massiven Außenwand im Winter bei unterschiedlichem Wassergehalt, Quelle: Fraunhoferinstitut: Grundlagen Feuchtetransport in Bauteilen – rechnerische Simulation mit Hilfe des Modells WUFI. Online: https://www.wufiforum.com/viewtopic.php?t=1618, (25.08.2020)
Abbildung 36:	Kapillarkraft in Abhängigkeit des Durchmesser, online: https://www.experimente-in-der-schule.de/wassertropfen.html; (25.08.2020)
Abbildung 37:	spezifischer Wasserdampfstrom in g/m·h in Abhängigkeit der Spalthöhe, Quelle: Hauser, G.; Maas, A. (1992): Auswirkungen von Fugen und Fehlstellen in Dampfsperren und Wärmedämmschichten. In: Deutsche Bauzeitschrift, Jg. 24, H. 1, S. 91–100
Abbildung 38:	Darstellung des Sättigungsdampfdruckes p₅ und des Partialdampfdruckes p durch den Bauteil in Abhängigkeit der s <sub>d</sub> -Werte der Baustoffe ( <b>kein Tauwasserausfall</b> ) Quelle: Willems et al.(2010): Formeln und Tabellen Bauphysik. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag
	Diffusionsdiagramm mit <b>Tauwasserausfall in einer Ebene</b> (Bereich p <sub>sw</sub> ), Quelle: Willems et al.(2010): Formeln und Tabellen Bauphysik. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag (Grafik nachbearbeitet)
Abbildung 40:	Diffusionsdiagramm für <b>Verdunstungsperiode</b> bei <b>Kondensat in einer Ebene</b> , Quelle: Willems et al.(2010): Formeln und Tabellen Bauphysik. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag (Grafik nachbearbeitet)
Abbildung 41:	Einfluss der Kompaktheit auf die erforderliche Dämmung der nichttransparenten Außenbauteile, Quelle: Borsch-Laaks, Robert (2019): Beides zugleich. Baukosten und Energie sparen. In: Condetti & Co. 4 – Details in Holzhausbau und Bestand
Abbildung 42:	Verlauf des Heizwärmebedarfs HWB <sub>Ref</sub> in Abhängigkeit der charakteristischen Länge I <sub>c</sub> 48
Abbildung 43:	Muster der Kennwerte der ersten Seite des Energieausweises; Bedeutung der Kennwerte, siehe 7.1.2; Quelle: OIB-Richtlinie 6
Abbildung 44:	Raumwärmebedarf in KWh pro Kopf und Jahr: Seit Jahren nimmt die Wohnfläche pro Kopf in Deutschland zu (blaue

	Wärmedämmung. Würde die Pro-Kopf-Wohnfläche begrenzt (rot gestrichelte Linie) könnten hingegen enorme Einsparungen erzielt werden (rote Linie); Quelle: https://wupperinst.org/a/wi/a/s/ad/3448/, (31.08.2020)49
Abbildung 45:	Beispiel einer Mehrfachnutzung und Zonierungsregeln, Quelle: https://www.technik.steiermark.at/cms/ dokumente/11413602_82233481/5ba3ec45/2018-09- 05%20Brosch%C3%BCre% 20mit%20Deckblatt.pdf; (31.08.2020)
Abbildung 46:	Überblick der sieben Klimaregionen, Quelle: ÖNORM B 8110-552
Abbildung 47:	Erläuterung der 4-K Regel, links: unbeheizter Dachraum und Spitzboden werden zu Bruttovolumen gezählt) Quelle: Energie Agentur Steiermark GmbH (Hrsg) (2018): Energieausweis erstellen – Anleitungen, Hinweise, Empfehlungen. Online: https://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/11413602_82233481/5ba3ec45/2018-09-05%20Brosch%C3%BCre% 20mit%20Deckblatt.pdf (31.08.2020)
Abbildung 48:	Verlauf der Gebäudehüllfläche, Quelle: Energie Agentur Steiermark GmbH (Hrsg) (2018): Energieausweis erstellen – Anleitungen, Hinweise, Empfehlungen. Online: https://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/11413602_82233481/5ba3ec45/2018-09-05%20Brosch%C3%BCre% 20mit%20Deckblatt.pdf (31.08.2020)
Abbildung 49:	Gebäudehüllfläche bei erdanliegendem Boden und unbeheiztem Keller sowie Flachdach und unbeheiztem Dachgeschoß, Quelle: Energie Agentur Steiermark GmbH (Hrsg) (2018): Energieausweis erstellen – Anleitungen, Hinweise, Empfehlungen. Online: https://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/11413602_82233481/5ba3ec45/2018-09-05%20Brosch%C3%BCre% 20mit%20Deckblatt.pdf (31.08.2020)
Abbildung 50:	Gebäudehüllfläche bei Hinterlüftung, Quelle: Energie Agentur Steiermark GmbH (Hrsg) (2018): Energieausweis erstellen – Anleitungen, Hinweise, Empfehlungen. Online: https://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/11413602_82233481/5ba3ec45/2018-09-05%20Brosch%C3%BCre% 20mit%20Deckblatt.pdf (31.08.2020)
Abbildung 51:	Fenstergröße nach Architekturlichte eingeben, Quelle: Energie Agentur Steiermark GmbH (Hrsg) (2018): Energieausweis erstellen – Anleitungen, Hinweise, Empfehlungen. Online: https://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/11413602_82233481/5ba3ec45/2018-09-05%20Brosch%C3%BCre% 20mit%20Deckblatt.pdf (31.08.2020)
Abbildung 52:	Konditionierte Bruttogrundfläche bei Dachgeschoßen, Quelle: Energie Agentur Steiermark GmbH (Hrsg) (2018):



	Energieausweis erstellen – Anleitungen, Hinweise, Empfehlungen. Online: https://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/11413602_82233481/ 5ba3ec45/2018-09-05%20Brosch%C3%BCre% 20mit%20Deckblatt.pdf (31.08.2020)	
Abbildung 53:	Energiefluss Heizung und Warmwasser, sowie Darstellung des Heizwärmebedarfs; Abbildung: Riccabona, Christof; Bednar Thomas: Baukonstruktionslehre. Wien: Manz Verlag (ergänzt)	6
Abbildung 54:	Beispielhafter Verlauf der operativen Temperatur T <sub>opt</sub> im Vergleich zur Außentemperatur	5
Abbildung 55:	Unterschied Transversal zu Longitudinalwelle; Quelle: http://www.physica.ch/docs/Wellen%20GF.pdf, (26.08.2020) 66	
Abbildung 56:	Hörbereiche (blau) und Bereiche, die selbst erzeugt werden (rot), Quelle: http://www.physica.ch/docs/Wellen%20GF.pdf, (26.08.2020)	7
Abbildung 57:	Unterschied Ton – Klang – Geräusch 68	3
Abbildung 58:	Vergleich Ursache – Wirkung mit Heizung und Temperatur, Quelle: http://www.sengpielaudio.com/SchalldruckUndSchallleistung.pdf, (27.08.2020)	
Ahhildung 59:	Überlagerung der Schallwellen69	
	Schalldruck versus Schalldruckpegel; Quelle: Bruel & Kjaer 70	
•	Kurven gleicher Lautstärke7	
•	Frequenzbewertungskurven	
•	Frequenzbereich in der Bauakustik	
	Kennwerte für den Luftschallschutz, Quelle: Teibinger, Martin; Matzinger, Irmgard (2013): Bauen mit Brettsperrholz im Geschoßbau – Fokus Bauphysik – Planungsbroschüre.  Holzforschung Austria, Wien	
Abbildung 65:	Schalldruckpegel der Referenzspektren C und C <sub>tr</sub>	
· ·	Prüfung des Schalldämm-Maßes R im Prüfstand ohne Flankenübertragung	
Abbildung 67:	Bestimmung der bewerteten Einzahlwerte (z.B. R <sub>w</sub> ) aus der Prüfung des Schalldämm-Maßes R; rote Kurve: Messkurve, grüne Kurve: Bewertungskurve, blaue Kurve: verschobene Bewertungskurve, orange Linien: ungünstige Unterschreitungen der Messkurve zur verschobenen Bewertungskurve	7
Abbildung 68:	Anforderungen an Eingangstüren und Gangwände in Abhängigkeit ob ein geschlossener Vorraum vorhanden ist (links), Quelle: Teibinger, Martin; Borsch-Laaks, Robert; Schopbach, Holger; Wagner, Gerhard; Zeitter, Helmut (2019): Barrierefreie Hybridbauweise Holzbau dnq 5/2019. S. 34 – 46. 81	
Abbildung 69:	Kennwerte für den Trittschallschutz. Quelle: Teibinger, Martin; Matzinger, Irmgard (2013): Bauen mit Brettsperrholz im	



	Geschoßbau – Fokus Bauphysik – Planungsbroschüre. Holzforschung Austria, Wien82
Abbildung 70:	Prüfung des Trittschallpegels mittels Normhammerwerk83
Abbildung 71:	Bestimmung des bewerteten Norm-Trittschallpegels; rote Linie: Messkurve, grüne Linie: Bewertungskurve, blaue Linie: verschobene Bewertungskurve, oranges Striche: ungünstige Überschreitungen der Messwerte zur verschobenen Bezugskurve
Abbildung 72:	Diagramm zur Umrechnung von L´ <sub>n,w</sub> in L´ <sub>nT,w</sub> und umgekehrt in Abhängigkeit des Raumvolumens85
Abbildung 73:	Luftschall- und Trittschallübertragungswege zwischen benachbarten Räumen, Quelle: Teibinger, Martin; Matzinger, Irmgard (2013): Bauen mit Brettsperrholz im Geschoßbau – Fokus Bauphysik – Planungsbroschüre. Holzforschung Austria, Wien
Abbildung 74:	Nachhallzeit, Quelle: Mezera, K.; Bednar, T.; Riccabona, C. Baukonstruktion Band 488
Abbildung 75:	Optimale Nachhallzeit von Räumen in besetzten Zustand unterschiedlicher Nutzungen, Quelle: ÖNORM B 8115-389
Abbildung 76:	Schematische Darstellung der Anordnung von Absorbern bzw. Reflektoren, Quelle: ÖNORM B 8115-390
Abbildung 77:	Schematische Darstellung der Anordnung von Absorbern bzw. Reflektoren (Fortsetzung), Quelle: ÖNORM B 8115-391
Abbildung 78:	Streubild eines Diffusors, Quelle: https://www.hunecke.de/de/wissen/diffusoren/index.html; (28.08.2020)
Abbildung 79:	Beispiel eines Raumes mit Diffusoren aus Holz, Quelle: https://german.alibaba.com/product-detail/2018-professional-acoustic-sound-diffuser-material-wooden-acoustical-diffuser-panel-for-studio-recording-room-1459871727.html, (28.08.2020)
Abbildung 80:	Einteilung in aktive und passive Brandschutzmaßnamen92
Abbildung 81:	Einteilung in technischen und organisatorischen Brandschutz 92
Abbildung 82:	Brandphasen, Quelle: Schneider, Ulrich (2009): Ingenieurmethoden im Brandschutz. Werner. Köln93
Abbildung 83:	Schachttyp A (links) Abschottung sämtlicher Durchdringungen durch Schachtwände und in der Kellerdecke (Schacht eigener Brandabschnitt), Schachttyp B (rechts) Abschottung im Bereich der Decken mit Hartschott (ausbetonieren) oder Weichschott (Steinwolle), Quelle: MA37 – B/1/13849/2005 Installationen-Richtlinie Brandschutztechnische Anforderungen bei Leitungsdurchführungen96



# 12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Formelzeichen und Anwendungen6
Tabelle 2:	Wärmedurchlasswiderstand ruhender Luftschichten, Quelle: ÖNORM EN ISO 6946
Tabelle 3:	Anforderungen an die Luftdichtheit (Achtung in Österreich wohnungsweise)23
Tabelle 4:	Sättigungsdampfdruck $p_{\text{\tiny S}}$ bei unterschiedlichen Temperaturen . 28
Tabelle 5:	Zusammenstellung der Feuchteabgabe durch Aktivitäten der Raumnutzer oder durch Einrichtungsgegenstände in Räumen bei einer Raumtemperatur von 20 °C; Quelle: Bundesministerium Nachhaltigkeit und Tourismus (2019): Leitfaden zur Vorbeugung, Erfassung und Sanierung von Schimmelbefall in Gebäuden. Online: https://www.bv-schimmel.at/wp-content/uploads/2019/02/BVS_Schimmel-LF_web.pdf, (25.08.2020)
Tabelle 6:	beispielhafte Auflistung von $\mu$ -Werten für Baustoffe33
Tabelle 7:	Einteilung der s <sub>d</sub> -Werte nach ÖNORM B 8110-2 und beispielhafte Baustoffe33
Tabelle 8:	Außenrandbedingungen für Luftfeuchteklasse 3, Quelle: ÖNORM B 8110-235
Tabelle 9:	Innenrandbedingungen für den Nachweis der Vermeidung der Schimmelpilzbildung für die Luftfeuchteklasse 3, Quelle: ÖNORM B 8110-235
Tabelle 10:	Klimarandbedingungen für Wohn- und Bürogebäude nach DIN 4108-3, Quelle: Willems et al.(2010): Formeln und Tabellen Bauphysik. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag38
Tabelle 11:	Klimatische Randbedingungen für die Berechnung, Quelle: ÖNORM B 8110-2-Beiblatt 139
Tabelle 12:	Tabellenblatt zum Glaserverfahren Quelle: ÖNORM B 8110-2-Beiblatt 1
Tabelle 13:	Beispielhafte Berechnungen der charakteristischen Länge Ic und des A/V-Verhältnisses, Objektabmessungen entsprechend der Validierungsbeispiele der ÖNORM B 8110-6-246
Tabelle 14:	Einfluss der Kompaktheit auf die Dämmstärke bei einer Schwankungsbreite des A/V-Verhältnisses von 0,1 m <sup>-1</sup> 46
Tabelle 15:	Einfluss von Anbauten bei gleicher BGF an die Kompaktheit, Quelle der Abbildungen: Borsch-Laaks, Robert (2019): Beides zugleich. Baukosten und Energie sparen. In: Condetti & Co. 4 – Details in Holzhausbau und Bestand
Tabelle 16:	Anforderungen an Wohngebäude (Neubau), Quelle: online: https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019/oib-richtlinie-6-nationaler-plan, (30.08.2020)
Tabelle 17:	Anforderungen an Wohngebäude (größere Renovierung), Quelle: online: https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019/oib-richtlinie-6-nationaler-plan, (30.08.2020)



Tabelle 18:	Energieeffizienzklassen für die Klassengrenzen Kennwerte der ersten Seite des Energieausweises, Quelle: OIB-Richtlinie 64	
Tabelle 19:	einfließende und nicht einfließende Faktoren bei der Berechnung vom HWB	
Tabelle 20:	Temperaturkorrekturfaktoren für Bauteile zu unkonditionierten Räumen gemäß ÖNORM B 8110-65	57
Tabelle 21:	Temperaturkorrekturfaktoren für erdberührte Bauteile gemäß ÖNORM B 8110-65	58
Tabelle 22:	Luftwechselzahl in Abhängigkeit der Nutzung gemäß ÖNORM B 81105	
Tabelle 23:	Umrechnung des $n_{50}$ (siehe auch Abschnitt 5.3) in einen Infiltrationsluftwechsel $n_x$ als Monatsmittelwert6	30
Tabelle 24:	Richtwerte für den Luftwechsel n <sub>mech</sub> 6	30
Tabelle 25:	Richtwerte für den effektiven Wärmebereitstellungsgrad des Wärmetauschers6	60
Tabelle 26:	Einteilung der Bauweisen für vereinfachte Berechnung nach ÖNORM B 8110-66	31
Tabelle 27:	exemplarische Klimadaten6	3
Tabelle 28:	Auswirkungen gleicher Schallquellen auf Pegelerhöhung und da Empfinden7	
Tabelle 29:	Zuordnung von Geräuschquellen zu den Spektrum- Anpassungswerten C und C <sub>tr</sub>	<b>'</b> 4
Tabelle 30:	Anforderungen an Außenbauteile für Wohngebäude, -heime, Hotels, Schulen, Kindergärten, Krankenhäuser, Kurgebäude u.dgl. (Auszug); Quelle: OIB Richtlinie 57	<b>'</b> 5
Tabelle 31:	Anforderungen an Trennbauteile, Quelle: OIB-Richtlinie 57	'5
Tabelle 32:	dynamischer E-Modul bauüblicher Dämmstoffe für WDVS (statistische Auswertung ca. 200 Prüfstandsmessungen), Quelle Weber, Lutz; Müller, Simon (2015): Schallschutz bei Wärmedämm-Verbundsystemen. F 2949. IRB Verlag. Stuttgart (Forschungsinitiative Zukunft Bau)	
Tabelle 33:	Bewertetes Luftschallverbesserungsmaß $\Delta R_w$ durch eine Vorsatzkonstruktion in Abhängigkeit der Resonanzfrequenz $f_0$ , Quelle: ÖNORM B 8115-47	<b>'</b> 9
Tabelle 34:	Planungsrichtwerte für gebietsbezogene Schallemissionen, Quelle: ÖNORM B 8115-2	30
Tabelle 35:	lagebezogene Abminderungen des maßgeblichen Außenlärmpegels, Quelle: ÖNORM B 8115-2	30
Tabelle 36:	Anforderungen an Trennbauteile, Quelle: OIB Richtlinie 58	33
Tabelle 37:	Einflüsse auf die Schallabsorption8	38
Tabelle 38:	Einteilung der Brandverhaltensklassen gemäß ÖNORM EN 13501-19	)4
Tabelle 39:	Bezeichnungén für den Feuerwiderstand nach ÖNORM EN 13501-2 (Auszug); Quelle der Abbildungen: Östman, Birgit; et al (2010): Fire safety in timber buildings. Technical guideline for Europe. Herausgegeben von SP Trätek. Stockholm	

