

BERICHT

Energiebedarf von Gebäuden aus Holz

DI Dr. Karl Torghelle

Berichtsnummer:

23-099 EN 241028

Auftrag:

Recherche und Erstellung von Verbesserungsvorschlägen für die Reduktion des Energiebedarfes von Gebäuden in Holzbauweise

Auftraggeber:

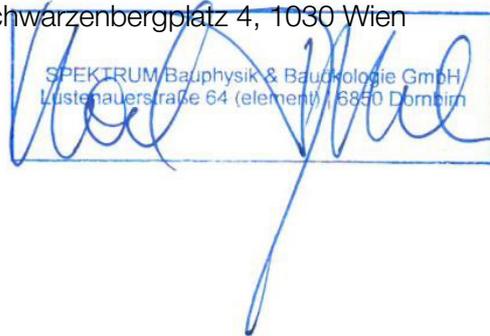
Fachverband der Holzindustrie

Holzbauplattform

Schwarzenbergplatz 4, 1030 Wien

Dornbirn, 31.10.2024

SPEKTRUM Bauphysik & Bauökologie GmbH
Lustnauersstraße 64 (element) / 6850 Dornbirn



Inhalt

1	Ausgangslage und Aufgabenstellung	3
2	Auftrag	3
3	Grundlagen	3
4	Methodik	4
4.1	Recherche zur aktuellen Normung	4
4.2	Validierung Modell der speicherwirksamen Massen	4
4.3	Mitwirkung Normenausschuss	5
4.4	Workshops und Abstimmungen	5
4.5	Ausarbeitung von Verbesserungsvorschlägen unter besonderer Berücksichtigung von Gebäuden in Holzbauweise	5
5	Erkenntnisse	6
5.1	Speicherwirksame Masse und Klassenzuweisung der Bauweise für die Erstellung des Energieausweises	6
5.2	Energieausweis gemäß OIB RL-6 (2019)	8
5.3	Heizwärmebedarf in Abhängigkeit der ermittelten wirksamen Speichermasse	9
5.4	Dynamische Gebäudesimulation [3]	10
5.5	Mitwirkung in Komitee 175 und Arbeitsgruppe 175 01	11
5.6	Weitere Normen mit Einfluss auf den Holzbau	13
6	Urheberrecht	13
7	Anhang	14

1 Ausgangslage und Aufgabenstellung

Die Berechnung des Energiebedarfs von Gebäuden ist im letzten Jahrzehnt durch immer umfassendere Berechnungsansätze in den Normen und Regelwerken komplexer geworden. Spezialisierte Fachplaner:innen mit entsprechender Software und Kompetenz sind dafür erforderlich.

Gleichzeitig hat dieses Thema hohe baurechtliche Relevanz und Auswirkungen auf das Baugeschehen. In allen österreichischen Landesbaurechten sind Mindestanforderung verankert, die letztlich auf den Berechnungsansätzen der einschlägigen Normen basieren. Der wirtschaftliche Energieeinsatz von Gebäuden aus Holz unterscheidet sich wesentlich von jenem von mineralischen Baukonstruktionen. Außenbauteile aus Holz erreichen bereits mit geringem Aufwand und Aufbaustärken hohe Wärmedämmwerte.

Gerade wenn es um energieeffiziente Gebäude geht, erfreut sich die Holzbauweise wachsender Beliebtheit. Auch in der Bestandssanierung bringt der Holzbau auf Grund des hohen Vorfertigungsgrades und den guten wärmedämmenden Eigenschaften viele Vorteile mit sich. [1]

2 Auftrag

Der Holzskelettbau bzw. Holzrahmenbau und der Holzmassivbau sollen bei dieser Recherche getrennt voneinander betrachtet werden. Ein Screening der bestehenden Normen nach Hindernissen für den Holzbau (z.B. Einfluss der speicherwirksamen Masse in der Berechnung des HWB's, Nachweis der Sommertauglichkeit etc.) soll durchgeführt werden.

- Recherche bestehender Normen nach Hindernissen für die Holzbau
- Sichtung baurechtlich relevanter Dokumente als Sachverständiger (z. B. OIB-Richtlinie 6 und damit verbundene Dokumente). Es gilt normative Barrieren im Bereich des Wärmeschutzes herauszuarbeiten, Verbesserungspotenziale zu erstellen und die Position des Holzbaus in den Normungsprozess einzubringen und zu vertreten.
- Mitwirkung im Komitee 175 und AG 175 01 (in der Zeit von 08/2023 bis 12/2024)
- Erstellung von Verbesserungsvorschlägen auf Basis von bauphysikalischen Berechnungen und Simulationen
- Einbringen von allfälligen Verbesserungsvorschlägen, um Nachteilen für den Holzbau in unterschiedlichen Bauweisen entgegenzuwirken
- Teilnahme an Besprechungen und Workshops

3 Grundlagen

[1] Ausschreibungsunterlage zu Recherche und Erstellung von Verbesserungsvorschlägen für die Reduktion des Energiebedarfes von Gebäuden aus Holz, Fachverband der Holzindustrie Österreichs; übermittelt am 12.12.2022

[2] Dokumente des Komitee 175 sowie Arbeitsgruppe 175 und AG 175 01

- [3] Bericht 23-099 TGS 241030, Validierung der Kategoriezuweisung (leichte, mittlere, schwere Bauweise) von Holzbauweisen; Spektrum GmbH Dornbirn am 11.10.2024 (siehe Anhang 1)
- [4] ÖNORM B 6015-2:2009 Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät - Teil 2: Ermittlung des Nennwertes und des Bemessungswertes der Wärmeleitfähigkeit für homogene Baustoffe
- [5] ÖNORM B 8110-3: Wärmeschutz im Hochbau - Teil 3: Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall (Parameter zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung)
- [6] ÖNORM B 8110-5:2019 Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile
- [7] ÖNORM B 8110-6-1:2019 Wärmeschutz im Hochbau: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf
- [8] ÖNORM B 8110-6-1:2024 Wärmeschutz im Hochbau: Grundlagen und Ermittlung des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs
- [9] ÖNORM B 8110-7:2013 – Wärmeschutz im Hochbau - Teil 7: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte
- [10] ÖNORM B 8110-8: Wärmeschutz im Hochbau- Teil 8: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte von Bauteilen
- [11] ÖNORM H5050 - Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Teil 2: Validierung des Gesamtenergieeffizienzfaktors, des Primärenergiebedarfs und der äquivalenten Kohlendioxidemissionen
- [12] IDA-ICE, Version 4.8
- [13] GEQ – Zehentmayer Energieausweis Software (Version: 2024.34)

4 Methodik

Im Folgenden wird die Vorgehensweise zur Bearbeitung des Auftrages beschrieben.

4.1 Recherche zur aktuellen Normung

Die in Kapitel 3 angeführten Normen und Regelwerke werden gesichtet und hinsichtlich relevanter Regelungen mit Bezug auf die Holzbauweise kommentiert. Jene Normen, welche durch ihre Regelungen eine Benachteiligung der Holzbauweise erwarten lassen, werden angesprochen.

4.2 Validierung Modell der speicherwirksamen Massen

Hinsichtlich des Einflusses der Speichermasse von Konstruktionen und Bauweise werden Berechnungen gemäß aktueller Normung und Regelwerke durchgeführt. Begleitend dazu werden zu Mustergebäuden in unterschiedlichen Bauweisen dynamische Simulationen durchgeführt und die Ergebnisse mit aktuell gültigen Berechnungsverfahren laut Norm verglichen.

Primäres Ziel der gewählten Vorgehensweise ist es zu untersuchen, inwieweit die bestehenden Rechenregeln zur Erstellung des Energieausweises hinsichtlich der Bauweise (schwer, mittelschwer und leicht) die Eigenschaften der Holzbauweise korrekt abbilden oder angepasst werden sollten, um Nachteile für die Holzbauweise zu vermeiden.

Hierfür wurden 10 Konstruktionsvarianten für ein Mustergebäude gemäß [6] erstellt. Bei gleichen Grundrissen wurde die Konstruktionsart in diesen Varianten (leicht, mittelschwer und schwer) untersucht.[3]

4.3 Mitwirkung Normenausschuss

Teilnahme am im Komitee 175 und in der Arbeitsgruppe 175 01

28.03.2024: Nominierung

11.05.2023: Komitee AG 175 01 – online

20.06.2024: Schulung Normierung Inside Modul 1 – Wien

21.06.2024: Schulung Normierung Inside Modul 2 – Wien

21.06.2024: Schulung Normierung Inside Modul 3 – Wien

03.07.2023: Eingaben zum Normentwurf ÖNORM B 8110-5 und ÖNORM B 8110-6

06.07.2023: Komitee AG 175 01 – online

25.01.2024: Komitee AG 175 01 – online

21.03.2024: Komitee AG 175 01 – online

02.05.2024: Komitee AG 175 01 – online

04.07.2024: Komitee AG 175 01 – online

05.09.2024: Komitee AG 175 01– online

4.4 Workshops und Abstimmungen

16.03.2023: Besprechung Engelbert Schrempf; Startbesprechung, Aufgabenstellung, Methodischer Ansatz

24.04.2023: Workshop (intern) zum methodischen Ansatz für die Validierung; Entwicklung von Mustergebäude und relevanten Konstruktionsvarianten

25.05.2023: Workshop (intern) Entwicklung Bauteilkatalog für Musterkonstruktionen

31.05.2023: Workshop (intern) Erarbeitung Mustergebäude für Vergleichsberechnungen und Simulation

21.02.2024: Meeting 1 des Fachverbandes der Holzindustrie

05.08.2024: Workshop (intern) zur Ergebnisbewertung

24.09.2024: Abschlussveranstaltung – Präsentation der Ergebnisse

4.5 Ausarbeitung von Verbesserungsvorschlägen unter besonderer Berücksichtigung von Gebäuden in Holzbauweise

Einbringung Verbesserungsvorschlag am 06.07.2023 in AG 175 01.

5 Erkenntnisse

Wie dem Simulationsbericht [3] zu entnehmen ist, kann gezeigt werden, dass die wirksame Speichermasse wesentlichen Einfluss auf das rechnerische Ergebnis des Heizwärmebedarfs und damit im Weiteren auf die baugesetzlich relevanten Kriterien der Energieeffizienz von Gebäuden hat.

Hierbei ist vor allem die ÖNORM B8110-6-1 zu erwähnen, die die Grundlagen zur rechnerischen Ermittlung der Energieeffizienz von Gebäuden in Österreich liefert.

5.1 Speicherwirksame Masse und Klassenzuweisung der Bauweise für die Erstellung des Energieausweises

STB = Stahlbeton

HR = Holzrahmen

MWK = Mauerwerk

BSP = Brettschichtholz

	Bauteilart	Material	BTK		Bauteilart	Material	BTK
V1	Decke	STB	FD01	V6	Decke	STB	FD01
	Außenwand	STB	AW01		Außenwand	HR, GKP innen	AW05
	Innenwand	MWK, einschalig	IW03		Innenwand	HR, GKP beidseitig	IW04
	Zwischendecke	STB, Nassestrich	ZD01		Zwischendecke	HR, GKP beidseitig	ZD03
	Boden	STB, Nassestrich	EB01		Boden	STB, Nassestrich	EB01
V2	Decke	STB	FD01	V7	Decke	STB	FD01
	Außenwand	MWK, einschalig	AW03		Außenwand	MWK, wdvs	AW04
	Innenwand	MWK, einschalig	IW03		Innenwand	HR, GKP beidseitig	IW04
	Zwischendecke	STB, Nassestrich	ZD01		Zwischendecke	STB, Nassestrich	ZD01
	Boden	STB, Nassestrich	EB01		Boden	STB, Nassestrich	EB01
V3	Decke	HR, Schalung	FD02	V8	Decke	STB	FD01
	Außenwand	MWK, einschalig	AW03		Außenwand	STB	AW01
	Zwischendecke	HR, Schalung	IW03		Zwischendecke	HR, GKP beidseitig	ZD03
	Innenwand	MWK, einschalig	IW03		Innenwand	HR, GKP beidseitig	IW04
	Boden	STB, Nassestrich	EB01		Boden	STB, Nassestrich	EB01
V4	Decke	BSP, Untersicht	FD03	V9	Decke	BSP, Untersicht	FD03
	Außenwand	BSP, Innenansicht	AW02		Außenwand	BSP, Innenansicht	AW02
	Innenwand	HR, GKP beidseitig	IW04		Innenwand	BSP, Innenansicht	IW02
	Zwischendecke	BSP, Nassestrich	ZD02		Zwischendecke	BSP, Trockenstrich	ZD08
	Boden	STB, Nassestrich	EB01		Boden	STB, Nassestrich	EB01
V5	Decke	HR, Schalung	FD02	V10	Decke	HR, Schalung	FD02
	Außenwand	HR, GKP innen	AW05		Außenwand	HR, GKP innen	AW05
	Innenwand	HR, GKP beidseitig	IW04		Innenwand	HR, GKP beidseitig	IW04
	Zwischendecke	HR, GKP beidseitig	ZD03		Zwischendecke	BSP, Nassestrich	ZD02
	Boden	STB, Nassestrich	EB01		Boden	STB, Nassestrich	EB01

Abbildung 1: Mustergebäude in 10 Konstruktionsvarianten als Grundlage für die Ermittlung von wirksamen volumenbezogenen Speichermassen und dynamischer Simulation [3]

Es kann gezeigt werden, dass die ermittelten wirksamen volumenbezogenen Speichermassen in der Holz-Massivbauweise in Kombination mit Nassestrich gemäß den Zuweisungsregeln in ÖNORM B 8110-6-1:2019 als mittelschwer einzustufen wären.

Die Berechnungen zur volumenbezogenen Speichermasse wurden einerseits raumbezogen ermittelt. Darüber hinaus wurde auch die volumenbezogene speicherwirksame Masse für

das Mustergebäude (Grundlage der dynamischen Simulation) ermittelt. Hier wurde ein Ansatz auf der sicheren Seite gewählt. Die hier ermittelten Speichermassen weichen daher von der raumbezogenen Ermittlung ab.

Die Bauweisen und Bauteilaufbauten sind hierbei dem Bericht [3] Kapitel 6 zu entnehmen. Die Variante V4 entspricht dabei einer klassischen Holz-Massivbauweise. Außenwände und Decken/Dach sind in Holz-Massivbauweise errichtet. Innenwände sind als Leichtbauwände (Holzriegelwand) berücksichtigt. Die Bodenaufbauten besitzen eine Nassestrich.

5.1.1 Volumenbezogene wirksame Speichermassen – Musterraum

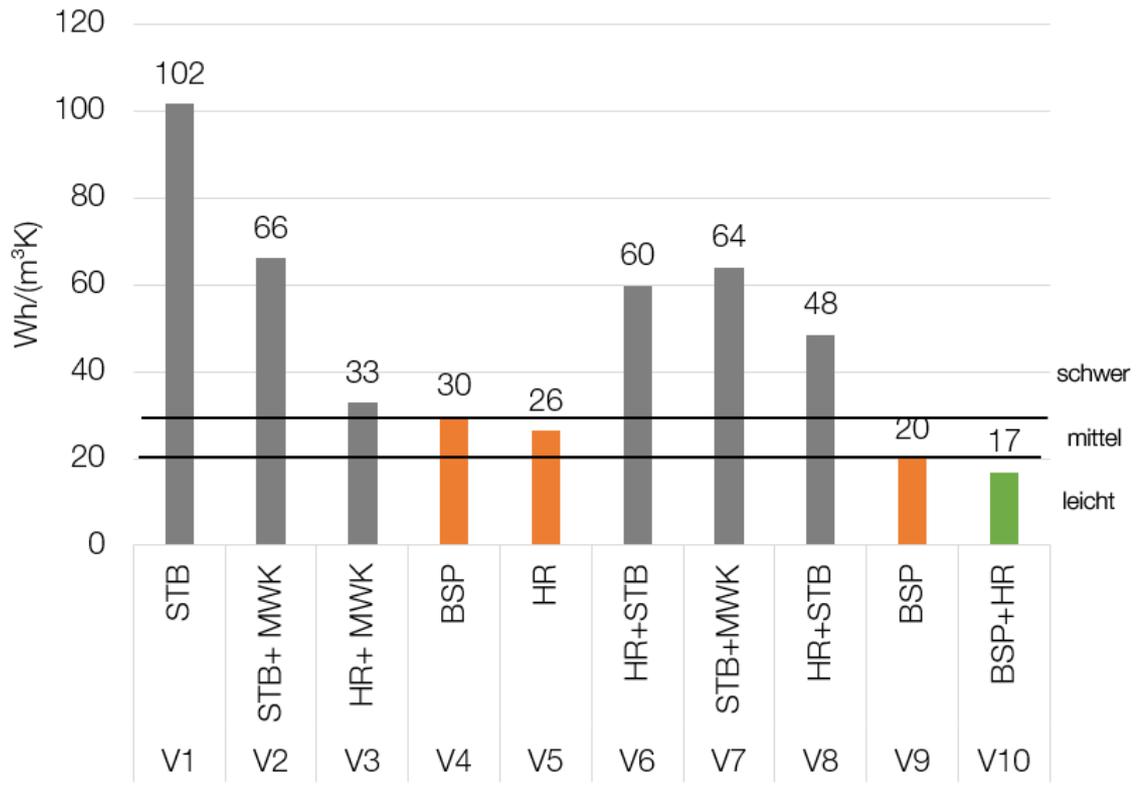


Abbildung 2: Ermittlung der volumenbezogenen wirksamen Speichermasse in Abhängigkeit der Bauweise für einen Musterraum [3]

grün: leichte Bauweise; orange: mittelschwere Bauweise; grau: schwere Bauweise

Es zeigt sich, dass gemäß Kapitel 9.1.2 in [7] aufgrund der ermittelten volumenbezogenen wirksamen Speichermasse die Holzmassivbauweise der mittelschweren Bauweise zuzuweisen wäre.

5.1.2 Volumenbezogene wirksame Speichermassen – Mustergebäude

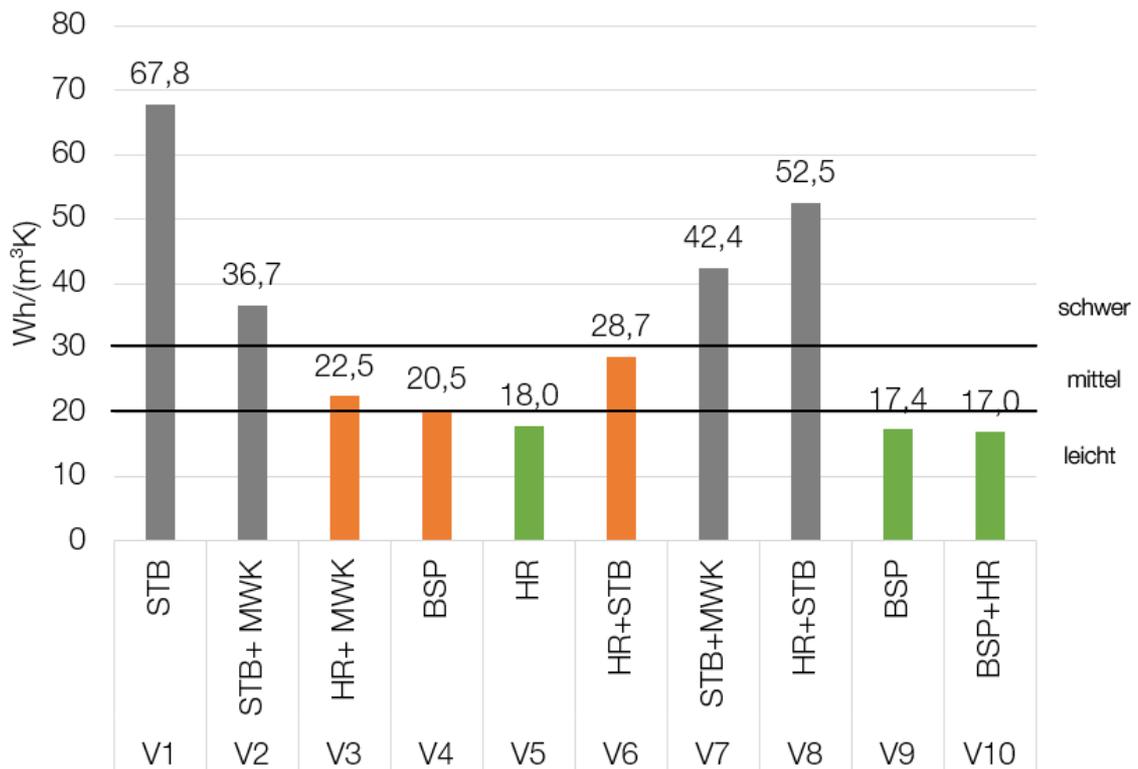


Abbildung 3: Auswertung der wirksamen volumenbezogenen Speichermassen unterschiedlicher Bauweisen beim Mustergebäude.[3]

grün: leichte Bauweise; orange: mittelschwere Bauweise; grau: schwere Bauweise

Es zeigt sich auch für das Mustergebäude, dass gemäß Kapitel 9.1.2 in [7] aufgrund der ermittelten volumenbezogenen wirksamen Speichermasse die Holzmassivbauweise auch bei „vorsichtiger Berücksichtigung“ von Innenbauteilen der mittelschweren Bauweise zuzuweisen ist. Entgegen der raumweisen Betrachtung zeigt sich dies nicht für die Varianten V5 und V9, was den hier relevanten Einfluss von (leichten) Zwischendecken widerspiegelt.

5.2 Energieausweis gemäß OIB RL-6 (2019)

Unter Berücksichtigung des Regelwerks zur Berechnung des Heizwärmebedarfs gemäß ÖNORM B 8110-6 (2019) erfolgt die Zuweisung von Holzbauten derzeit in die leichte Bauweise (vgl. Kapitel 9.1.2 in [7]). Somit ergibt sich bei (annähernd) gleichem Wärmeschutz ein unterschiedlicher Heizwärmebedarf, da der Ausnutzungsgrad der internen Gewinne und solaren Erträge in Abhängigkeit der wirksamen Speichermasse in der Wärmebilanzgleichung variiert.

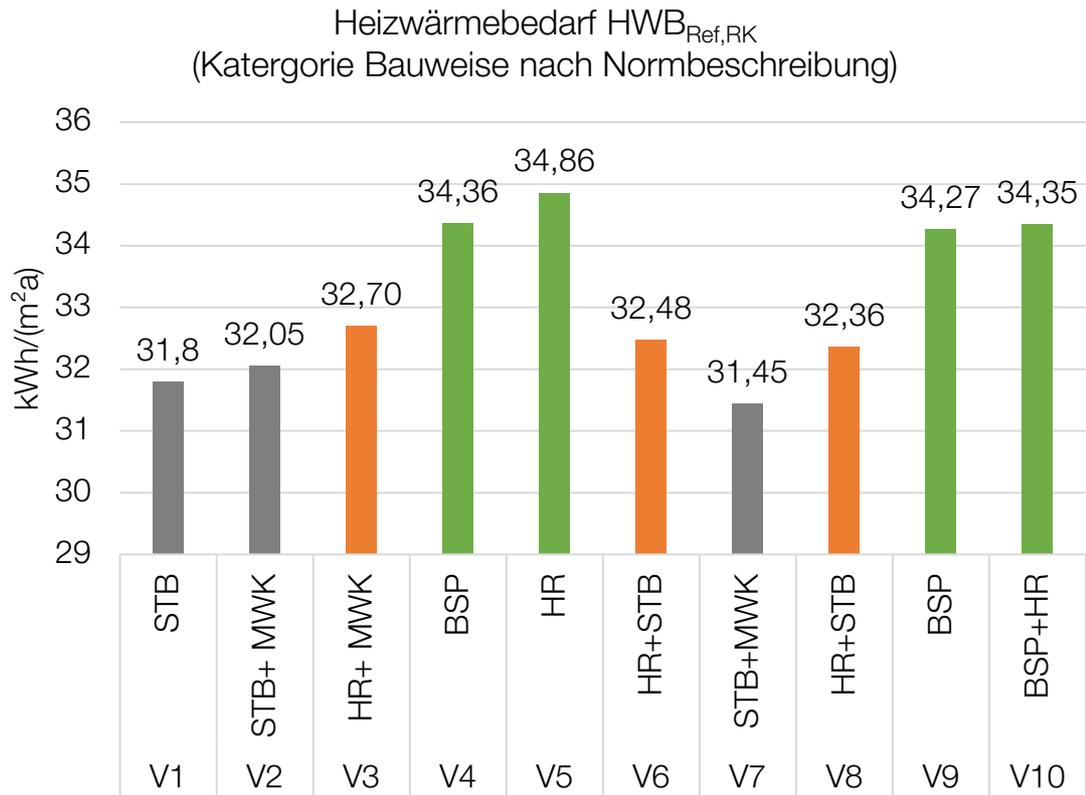


Abbildung 4: Ermittlung des $HWB_{Ref,RK}$ für die Varianten der Bauweisen des Mustergebäudes; grün: leichte Bauweise; orange: mittelschwere Bauweise; grau: schwere Bauweise; Zuweisung gem. Norm 2019[7]

Es zeigt sich, dass im Vergleich der HWB bei „leichter Bauweise“ um etwa $2,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ höher liegt als bei der „schweren Bauweise“. Im Vergleich zur „mittelschweren Bauweise“ ergibt sich ein Unterschied von etwa $2 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

5.3 Heizwärmebedarf in Abhängigkeit der ermittelten wirksamen Speichermasse

Nachfolgend wird die Berechnung des HWB durch Neuordnung der Bauweise auf Basis der berechneten wirksamen Speichermassen erstellt. Dies führt dazu, dass Variante V4 statt „leichte Bauweise“ als „mittelschwere Bauweise“ berücksichtigt wird.

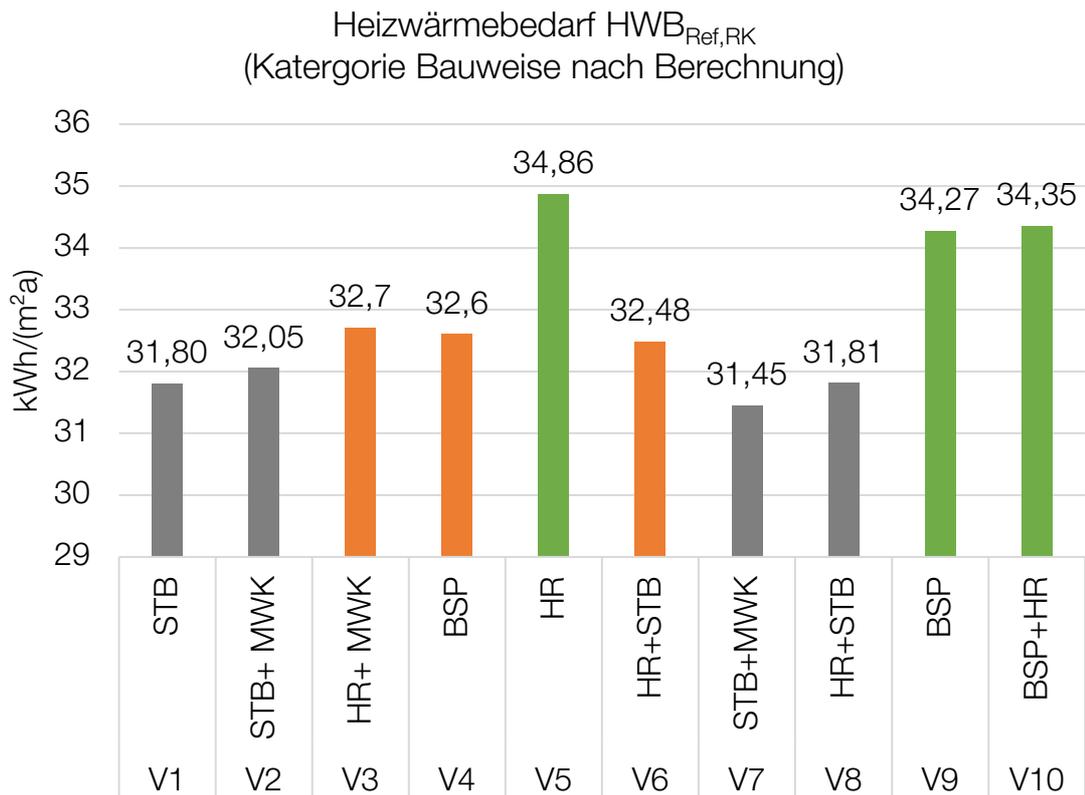


Abbildung 5: wie obige Abbildung; nun mit Zuweisung Variante V4 zur „mittelschweren Bauweise“
grün: leichte Bauweise; orange: mittelschwere Bauweise; grau: schwere Bauweise

Der $HWB_{Ref,RK}$ der V4 (Holzmassivbauweise) verringert sich damit um etwa 2 kWh/m²a und entspricht damit dem HWB anderer, mittelschwerer Bauweisen!

5.4 Dynamische Gebäudesimulation [3]

Es erfolgt eine Berechnung des Heizwärmebedarfs für Wohngebäude unter Berücksichtigung stationärer interner Lasten gemäß dem normativen Nutzungsprofil [6] für Einfamilienhäuser. Die externen Lasten werden mittels Meteororm 8 für das Referenzklima gemäß [6] generiert. In der Simulation werden die dynamisch wirksamen Speichermassen anhand der Bauteilaufbauten jeweils im Simulationsmodell ermittelt und berücksichtigt.

Vergleicht man die Berechnungsergebnisse mit den Ergebnissen der dynamischen Gebäudesimulation zeigt sich folgendes:

- Insgesamt ergibt die dynamische Gebäudesimulation einen geringeren HWB für alle untersuchten Konstruktionsvarianten des Mustergebäudes
- Die Bedeutung der wirksamen Speichermasse zeigt sich auch in der dynamischen Gebäudesimulation.
- Die Unterschiede zwischen schwerer und leichter Bauweise (pauschale Zuweisungen lt. Norm) wirken sich in der dynamischen Simulation hinsichtlich des Heizwärmebedarfs vergleichbar aus. Die Unterschiede zwischen leichter und schwere Bauweise liegen auch bei dieser Berechnungsmethode bei etwa 3 kWh/m²a.
- Die Ausführung eines schwimmenden Nassestrichs wirkt sich in allen Bauweisen günstig auf den HWB aus.

- Eine Kategorie „sehr schwere Bauweise“ scheint sinnvoll ($f_{BW} > 45,0 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$)
- Die Unterschiede zwischen leichter und mittelschwerer Bauweise zeichnen sich in der dynamischen Simulation deutlich geringer ab als in der Berechnung gemäß [7]
- Die dynamische Simulation zeigt, dass die Zuweisung der Variante V4 (Holzmassivbauweise mit Nassestrich) als „mittelschwere Bauweise“ gerechtfertigt ist.

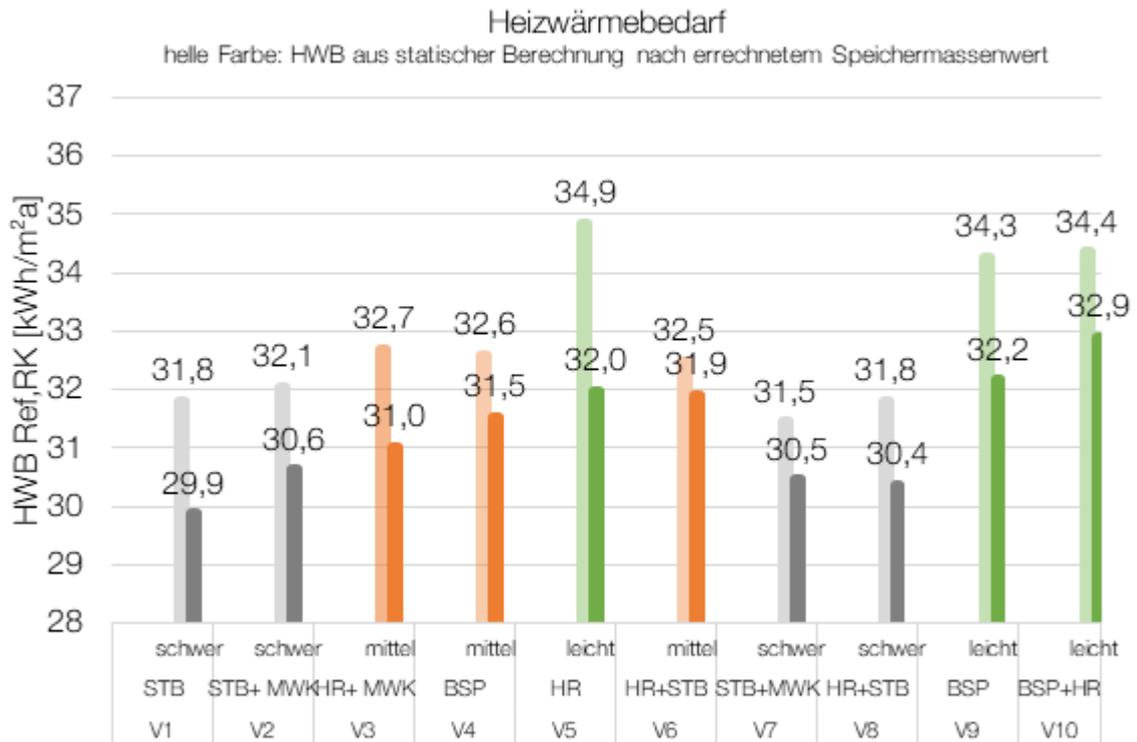


Abbildung 6: Heizwärmebedarf $HWB_{Ref,RK}$ gemäß Simulation und Vergleich mit stationärer Berechnung. Die Einteilung der Bauweisen für die stationäre Berechnung erfolgt auf Basis der ermittelten wirksamen Speichermassen (Abbildung 5)
grün: leichte Bauweise; orange: mittelschwere Bauweise; grau: schwere Bauweise
satte Farben: Ergebnisse aus dynamischer Simulation

Die Massivholzbauweise V4 weist einen ähnlichen HWB auf wie die Bauweisen der mittelschweren Kategorie nach beschreibender Einteilung der Norm [7] (z.B. V3, V6).

5.5 Mitwirkung in Komitee 175 und Arbeitsgruppe 175 01

Im März 2023 erfolgte die Nominierung von Karl Torghelle und Markus Götzelmann (Stellvertreter) in den Normenausschuss. Im Ausschuss am 11. Mai 2023 erfolgte die Aufnahme.

In der Folge wurde der bereits weitgehend fertig gestellte Entwurf der ÖNORM B 8110-5 und ÖNORM B 8110-6-1 gesichtet und kommentiert. In der Sitzung am 06.07.2023 wurden unsererseits Korrekturhinweise und Anpassungswünsche eingebracht.

Als wesentliche Anpassung im Interesse des Holzbaus, ist die in der ÖNORM B 8110-6-1 Kapitel 9.1.2. beschriebene Regelung zur Zuweisung der Konstruktion in leichte, mittelschwere bzw. schwere Bauweise zu beachten.

Durch die Eingabe konnte erreicht werden, dass nunmehr auch für Holzbauweisen die Zuweisung als mittelschwere Bauweise möglich ist.

Insgesamt wurde seit der Auftragserteilung in 7 Arbeitssitzungen des Normenausschusses beigewohnt bzw. mitgewirkt.

Die Nächste Sitzung ist für den 07.11.2024 vorgesehen.

5.5.1 AG 175 01 – ÖNORM B 8110-6-1

Auf Basis der Erkenntnisse zur wirksamen Speichermasse wurden Vorschläge zur Anpassung der Kategoriezuweisungen vorgenommen.

In der Arbeitsgruppe AG 175 01 am 06.07.2023 wurden im Sitzungstermin die Ausarbeitung der Normung kommentiert und angeregt, auf Basis zwischenzeitlich erfolgter bauphysikalischer Berechnungen die Zuweisung der Holzmassivbauweise nicht als „leichte Bauweise“ sondern als „mittelschwere Bauweise“ zu ermöglichen.

Der Vorschlag, eine Zuweisung von Holzbauweisen auch in mittelschwere Bauweisen zuzulassen, wurden in der Ausarbeitung der ÖNORM B 8110-6-1 berücksichtigt.

Ehemals (ÖNORM B 8110-6-1:2019) wurde in der Norm formuliert:

9.1.2 Wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes

Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit C ist wahlweise wie folgt zu ermitteln:

- gemäß ÖNORM B 8110-3, unter Einbeziehung der Übergangswiderstände und Umrechnung von Speichermassen in Speicherkapazitäten, oder
- entsprechend dem vereinfachten Ansatz nach Gleichung (50).

$$C = f_{BW} \cdot V \quad (50)$$

Es bedeutet:

C	wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes, in Wh/K
$f_{BW} = 10,0$	Defaultwert für leichte Bauweisen, in Wh/(m ³ · K)
$f_{BW} = 20,0$	Defaultwert für mittelschwere Bauweisen, in Wh/(m ³ · K)
$f_{BW} = 30,0$	Defaultwert für schwere Bauweisen, in Wh/(m ³ · K)
V	konditioniertes Bruttovolumen, in m ³

Die Einteilung der Bauweisen hat gemäß folgender Unterscheidung zu erfolgen:

- Als leichte Bauweisen sind Gebäude in **Holzbauart** ohne massive Innenbauteile einzustufen.
- Als mittelschwere Bauweisen sind Gebäude in Mischbauweise, Gebäude in Massivbauweise mit abgehängten Decken und überwiegend leichten Trennwänden einzustufen.
- Als schwere Bauweisen sind Gebäude mit großteils massiven Außen- und Innenbauteilen, schwimmenden Estrichen und ohne abgehängte Decken einzustufen.

Abbildung 7: Auszug aus [7], Seite 49

Damit sind Holzbauweisen grundsätzlich als leichte Bauweise einzuteilen. Wie in [3] gezeigt wird, kann dies zu einer relevanten Schlechterstellung von Holzbauweisen führen, da gezeigt werden kann, dass bestimmte Holzbauweisen die Anforderung der mittelschweren Bauweise erfüllen.

In der aktualisierten ÖNORM B 8110-6-1:2024 wird dem in der Beschreibung der Zuweisungsregeln der Bauweisen Rechnung getragen. Nunmehr sind nur „Gebäude in **leichter**

Holzbauart“ als leichte Bauweisen zuzuweisen. Holzmassivbauten können auf Basis der Beschreibung der mittelschweren Bauweise zugewiesen werden.

9.1.2 Wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes

Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit C ist wahlweise wie folgt zu ermitteln:

- gemäß ÖNORM B 8110-3, unter Einbeziehung der Übergangswiderstände und Umrechnung von Speichermassen in Speicherkapazitäten; oder
- entsprechend dem vereinfachten Ansatz nach Gleichung (50).

$$C = f_{BW} \cdot V \quad (50)$$

Dabei ist:

C wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes, in Wh/K;

f_{BW} Defaultwert für die Bauweise, in Wh/(m³ · K);

V konditioniertes Bruttovolumen, in m³.

Die Einteilung der Bauweisen hat gemäß folgender Unterscheidung zu erfolgen:

- Als leichte Bauweisen sind Gebäude in **leichter Holzbauart** ohne massive Innenbauteile einzustufen ($f_{BW} = 10,0$).
- Als mittelschwere Bauweisen sind Gebäude in Mischbauweise, Gebäude in massiver Bauweise mit abgehängten Decken und überwiegend leichten Trennwänden einzustufen ($f_{BW} = 20,0$).

Abbildung 8: Auszug aus [8]¹

5.6 Weitere Normen mit Einfluss auf den Holzbau

Norm	Name	relevanter Kontext	Hinweis
B 8110-8	Wärmeschutz im Hochbau- Teil 8: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte von Bauteilen	Tabelle 6	Wärmeschutz Doppelbaumdecken U~1 statt 2; Wärmeschutz Schrägboden
B 8110-3	Ermittlung der operativen Temperatur im Sommerfall	Kapitel 8 Ermittlung der Speicherkapazität	Im detaillierten Verfahren in sowohl Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität in die Betrachtung ein. Im vereinfachten Verfahren zur Ermittlung der volumenbezogenen Speicherkapazität ist Unterschied mangelhaft berücksichtigt.
B 6015-2	Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät - Teil 2: Ermittlung des Nennwertes und des Bemessungswertes der Wärmeleitfähigkeit für homogene Baustoffe	Tabelle 2, pflanzl. Faserdämmstoffe vs. Synthetische Faserdämmstoffe	Zuschläge für Wärmeleitfähigkeit wegen Feuchte; vgl. organisch-anorganisch
H 5050-1	Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden Teil 1: Berechnung des Gesamtenergieeffizienzfaktors	Kapitel 6.2	Bauweise geht über die Speicherwirksame Masse ein
B 8110-6-1	Wärmeschutz im Hochbau Wärmeschutz im Hochbau Teil 6-1: Grundlagen und Nachweisverfahren	Kapitel 9.1.1	Validierung des Vereinfachten Ansatzes für Bauweise, Holzbau generell als leichte Bauweise klassifiziert

Abbildung 9: Gesichtete Normen mit Einfluss auf die Energieeffizienzberechnungen von Gebäuden in Holzbauweise; die grün bzw. gelb markierten Normen wurden im Rahmen des Auftrages bearbeitet und im Sinne des Holzbaus entschärft.

6 Urheberrecht

Der Bericht darf vom Auftraggeber nur im Zusammenhang mit diesem Projekt in vollständiger Form an die erforderlichen Projektbeteiligten weitergegeben werden. Jede andere Form der Weitergabe ist nur mit expliziter Einwilligung der Geschäftsführung der SPEKTRUM

¹ Kategorie „schwere“ Bauweisen hier nicht dargestellt

Bauphysik & Bauökologie GmbH zulässig. Auszugsweise oder unvollständige Wiedergaben sind unzulässig.

7 Anhang

1. Bericht 23-099 TGS 241030
2. Bauteilkatalog für Variantenbetrachtungen


SPEKTRUM Bauphysik & Bauökologie GmbH
Lustenauerstraße 64 (element) | 6850 Dornbirn
DI/Dr. Karl Torghele

BERICHT

Speichermassenbeurteilung

Katharina Prinzing M.Sc

Dipl.-Ing. Dr. Karl Torghele

DI (FH) Markus Götzelmann

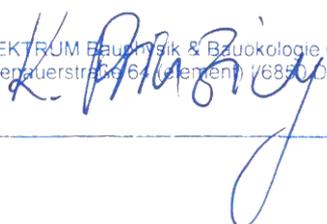
Berichtsnummer: 23-099 TGS 241030

Auftrag Validierung der Kategoriezuweisung (leichte, mittlere, schwere Bauweise)
von Holzbauweisen

Auftraggeber: FV Holzbauindustrie
Holzbauplattform
Schwarzenbergplatz 4, 1030 Wien

Dornbirn, 31.10.2024

SPEKTRUM Bauphysik & Bauökologie GmbH
Lustenauerstraße 64 (Leiten) / 6850 Dornbirn



Inhalt

1	Sachverhalt	3
2	Auftragsbeschreibung	3
3	Arbeitsunterlagen	3
4	Methodik	4
5	Kategorisierung nach ÖNORM B 8110-6-1:2019	4
6	Berechnungsverfahren und Annahmen	5
6.1	Geometrie Musterraum	5
6.2	Geometrie Mustergebäude	5
6.3	Bauteile	7
6.4	Verschattung	8
6.5	Wärmebrücken	8
6.6	Klimadaten	8
6.7	Luftdichtheit	8
6.8	Speichermassen	8
6.9	Lüftung	8
6.10	Raumprofil: Interne Wärmequellen, Nutzungszeit, Sollwerte	9
7	Ergebnisse	9
7.1	Volumenbezogene wirksame Speichermassen – Musterraum	9
7.2	Volumenbezogene wirksame Speichermassen – Mustergebäude	11
7.3	Heizwärmebedarf – Energieausweisberechnung	13
7.4	Heizwärmebedarf – dynamisch thermische Simulation	15
8	Fazit	16
9	Urheberrecht	16
Anhang		17
1.	Eingabeparameter	17
2.	Berechnungstabelle Speichermasse des Mustergebäudes	18
3.	Bauteilkatalog	19

1 Sachverhalt

Die Optimierung der Energieeffizienz von Gebäuden, insbesondere im Holzbau, stellt ein komplexes und relevantes Forschungsfeld dar. Im Rahmen dieses Arbeitsauftrags sollen bauphysikalische Aspekte der Holzbauweisen und deren Einfluss auf den Energiebedarf von Gebäuden untersucht werden. Ziel ist es, diese Erkenntnisse mit dem aktuellen Normenwesen zu vergleichen und bei Bedarf Empfehlungen zur Optimierung in der Normung zu geben.

Die speicherwirksame Masse verschiedener Bauweisen spielt eine entscheidende Rolle bei der Ermittlung der Energieeffizienz und des thermischen Komforts von Gebäuden. Eine Analyse der speicherwirksamen Masse ist notwendig, um die energetischen Eigenschaften unterschiedlicher Bauweisen zu erfassen und Rückschlüsse auf den Heizwärmebedarf zu ziehen. Erst auf Basis dieser Untersuchungen lässt sich eine fundierte Kategorisierung in leichte, mittlere und schwere Bauweisen vornehmen. Hierbei sollen vor allem die unterschiedlichen Holzbauweisen hinsichtlich der volumenbezogenen speicherwirksamen Masse und des Energiebedarfs untersucht werden. Dazu wird ein Musterraum und -gebäude mittels statischer und dynamischer Berechnungen bewertet.

2 Auftragsbeschreibung

- Erstellen eines Musterraumes bzw. Mustergebäudes und Musteraufbauten für Variantenbetrachtung
- Ermittlung der volumenbezogenen speicherwirksamen Masse für unterschiedliche Bauweisen
- Vergleich der volumenbezogenen speicherwirksamen Massen mit den in der ÖNORM B 8110-6:2019 ausgewiesenen Kategorien für leichte, mittelschwere und schwere Bauweise
- Validierung der Zuweisungen anhand der speicherwirksamen Masse und deren Einfluss auf die Wärmebilanz (HWB) mittels quasistatischer Berechnung und dynamischer Simulation

3 Arbeitsunterlagen

- [1] IDA-ICE, Version 4.8
- [2] ÖNROM B 8110-6-1:2019 Ausgabe: 2019-01-15 - Grundlagen und Nachweisverfahren
- [3] ÖNORM B 8110-6-2:2019 Ausgabe: 2019-11-01 - Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf
- [4] ÖNORM B 8110-7:2013 Ausgabe: 2013-03-15 - Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte
- [5] GEQ – Zehentmayer Energieausweis Software (Version: 2024.34)
- [6] ÖNROM B 8110-5:2019 Ausgabe: 2019-03-15 - Klimamodell und Nutzungsprofile

- [7] Temperaturtagesgang der Außenlufttemperatur ermittelt mit Meteonorm 8, Quelle: Energieinstitut Vorarlberg
- [8] OIB Richtlinie 6: 2019

4 Methodik

Zunächst wird ein Musterraum erstellt, welches als Grundlage für die Variantenbetrachtung dient. Dieses Modell ermöglicht eine vergleichbare Untersuchung verschiedener Bauweisen und deren Speichermassen.

Anhand des Musterraumes wird die speicherwirksame Masse für unterschiedliche Bauweisen ermittelt. Dabei werden 10 verschiedene Varianten (siehe 6.3) an Bauteilen und Bauteilzusammensetzungen bearbeitet. Es werden Stahlbetonkonstruktionen, Mauerwerkskonstruktionen und Holzbaukonstruktionen berücksichtigt und in verschiedenen Zusammensetzungen in einer Raumgeometrie zu einer Variante zusammengefasst.

Die ermittelten Werte der speicherwirksamen Masse werden mit den Grenzwerten der in der Norm [2] festgelegten Kategorien für leichte, mittelschwere und schwere Bauweisen verglichen.

Um eine Berechnung auf der sicheren Seite zu liefern, wird ein repräsentatives Mustergebäudemodell auf Grundlage des Mustergebäudes aus ÖNORM B 8110-6-2 [3] erstellt. Es werden so verschiedene Bauweisen und deren Speichermassen und deren Einfluss auf den Heizwärmebedarf untersucht.

Zur Validierung der quasistatischen Bearbeitung, wird eine detaillierte Überprüfung mittels dynamisch thermischer Simulation durchgeführt.

Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen werden Empfehlungen für die Zuweisung von Holzbauweisen hinsichtlich ihrer Speicherwirksamkeit formuliert. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Bewertung der Holzbauweisen und deren Einordnung gemäß ÖNORM B 8110-6.

5 Kategorisierung nach ÖNORM B 8110-6-1:2019

Derzeit ist die Zuweisung von Bauweisen, insbesondere der Holzbauweisen, in der ÖNORM B 8110-6-1 wie folgt beschrieben.

9.1.2 Wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes

Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit C ist wahlweise wie folgt zu ermitteln:

- gemäß ÖNORM B 8110-3, unter Einbeziehung der Übergangswiderstände und Umrechnung von Speichermassen in Speicherkapazitäten, oder
- entsprechend dem vereinfachten Ansatz nachfolgender Gleichung:

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

C = wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes, in Wh/K

f_{BW} = Defaultwert für die Bauweise, in Wh/(m³K)

V = konditioniertes Bruttovolumen, in $\text{m}^3 f_{\text{BW}} = 10,0$ Defaultwert für leichte Bauweisen
in $\text{Wh}/(\text{m}^3\text{K})$

$f_{\text{BW}} = 20,0$ Defaultwert für mittelschwere Bauweisen in $\text{Wh}/(\text{m}^3\text{K})$

$f_{\text{BW}} = 30,0$ Defaultwert für schwere Bauweisen in $\text{Wh}/(\text{m}^3\text{K})$

Die Einteilung der Bauweisen hat gemäß folgender Unterscheidung zu erfolgen:

- Als leichte Bauweisen sind Gebäude in Holzbauart ohne massive Innenbauteile einzustufen.
- Als mittelschwere Bauweisen sind Gebäude in Mischbauweise, Gebäude in Massivbauweise mit abgehängten Decken und überwiegend leichten Trennwänden einzustufen.
- Als schwere Bauweisen sind Gebäude mit Großteils massiven Außen- und Innenbauteilen, schwimmenden Estrichen und ohne abgehängte Decken einzustufen.

Wie zu erkennen ist, werden alle Holzbauweisen pauschal den „leichten“ Bauweisen zugeordnet. Es erfolgt keine Differenzierung von Ausführungsvarianten.

6 Berechnungsverfahren und Annahmen

Im ersten Schritt wird die speicherwirksamen Masse je Bauteil berechnet und anschließend in verschiedenen Varianten die wirksame Speicherkapazität für einen Musterraum und für ein Mustergebäude errechnet.

Im zweiten Schritt wird der Heizwärmebedarf HWB des Mustergebäudes anhand der Kategorisierung der Bauweisen gem. ÖNORM B 8110-6-1 errechnet und mit der angepassten Zuordnung nach Ermittlung der Speichermassen des Mustergebäudes verglichen.

Im dritten Schritt wird der HWB mittels einer dynamischen Simulation bestimmt. Die getroffenen Annahmen und Eingabeparameter finden sich im Folgenden, sowie Im Anhang 1.

6.1 Geometrie Musterraum

Der Musterraum spiegelt einen Eckraum wider. Zwei Außenbauteile und zwei Innenbauteile mit einer warmen Zwischendecke und einem Flachdach.

Die Maße: 4,5 x 5,5 m x 3,0 m Höhe

6.2 Geometrie Mustergebäude

Die Grundlage für die Geometrie ist das Mustergebäude gem. [3]. Es wird ein Einfamilienhaus mit EG und OG1 als Mustergebäude erstellt. Dies wird in der Norm nicht explizit beschrieben. Es wird also abweichend der Norm eine Geschosdecke ergänzt.

Die Maße: 8 x 12 m x 6 m Höhe

Fenstermaße: Gesamtfensterfläche: 24 m^2 , davon Nord: 2,4 m^2 -- Süd: 12,0 m^2 -- Ost: 4,8 m^2 -- West: 4,8 m^2

(Fensterflächenanteil ca. 27 %)

Der Fensterflächenanteil des vorliegenden Mustergebäudes wurde bewusst über den in der Norm definierten Anteil (10%) hinaus erhöht (auf 27%), um den Speichermasseneffekt deutlicher sichtbar zu machen, da dieser bei einem zu geringen Fensterflächenanteil nicht erkennbar wäre. Der gewählte Anteil entspricht dabei einem Wert, der in der gebauten Praxis häufig anzutreffen ist (eher an unterer Grenze) und somit realistische Bedingungen widerspiegelt.

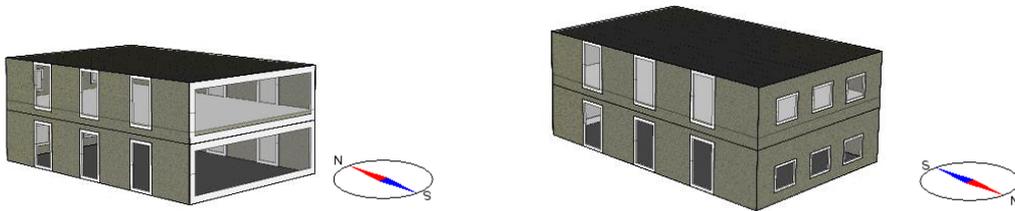


Abbildung 1: Ausschnitte aus 3D Modell aus IDA ICE mit einer Süd West und einer Nord Ost Perspektive

Außerdem werden Speichermassen für die Innenwände hinzugefügt. Je Geschoss werden 12m x 3m und 2 x 8m x 3m Innenwände Berücksichtigt.

6.3 Bauteile

In der Folgenden Tabelle werden die 10 Varianten an Bauteilzusammensetzungen aufgelistet. Für jedes Bauteil wird zuerst eine speicherwirksame Masse (m [kg/m²]) berechnet und dann über die Bauteilfläche nach 6.1 multipliziert. Die detaillierten Bauteilaufbauten finden sich im Anhang 3.

Die Bauteilaufbauten wurden so gewählt, dass sich möglichst gleiche U-Werte für die Bauteiltypen ergeben. Leichte Abweichungen ergeben sich durch die Materialisierung der tragenden Bauteile.

Tabelle 1: Auflistung der 10 Varianten der verschiedenen Bauweisen mit unterschiedlichen Bauteilaufbauten

STB = Stahlbeton

HR = Holzrahmen

MWK = Mauerwerk

BSP = Brettschichtholz

	Bauteilart	Material	BTK		Bauteilart	Material	BTK
V1	Decke	STB	FD01	V6	Decke	STB	FD01
	Außenwand	STB	AW01		Außenwand	HR, GKP innen	AW05
	Innenwand	MWK, einschalig	IW03		Innenwand	HR, GKP beidseitig	IW04
	Zwischendecke	STB, Nassestrich	ZD01		Zwischendecke	HR, GKP beidseitig	ZD03
	Boden	STB, Nassestrich	EB01		Boden	STB, Nassestrich	EB01
V2	Decke	STB	FD01	V7	Decke	STB	FD01
	Außenwand	MWK, einschalig	AW03		Außenwand	MWK, wdvs	AW04
	Innenwand	MWK, einschalig	IW03		Innenwand	HR, GKP beidseitig	IW04
	Zwischendecke	STB, Nassestrich	ZD01		Zwischendecke	STB, Nassestrich	ZD01
	Boden	STB, Nassestrich	EB01		Boden	STB, Nassestrich	EB01
V3	Decke	HR, Schalung	FD02	V8	Decke	STB	FD01
	Außenwand	MWK, einschalig	AW03		Außenwand	STB	AW01
	Zwischendecke	HR, Schalung	IW03		Zwischendecke	HR, GKP beidseitig	ZD03
	Innenwand	MWK, einschalig	IW03		Innenwand	HR, GKP beidseitig	IW04
	Boden	STB, Nassestrich	EB01		Boden	STB, Nassestrich	EB01
V4	Decke	BSP, Untersicht	FD03	V9	Decke	BSP, Untersicht	FD03
	Außenwand	BSP, Innenansicht	AW02		Außenwand	BSP, Innenansicht	AW02
	Innenwand	HR, GKP beidseitig	IW04		Innenwand	BSP, Innenansicht	IW02
	Zwischendecke	BSP, Nassestrich	ZD02		Zwischendecke	BSP, Trockenstrich	ZD08
	Boden	STB, Nassestrich	EB01		Boden	STB, Nassestrich	EB01
V5	Decke	HR, Schalung	FD02	V10	Decke	HR, Schalung	FD02
	Außenwand	HR, GKP innen	AW05		Außenwand	HR, GKP innen	AW05
	Innenwand	HR, GKP beidseitig	IW04		Innenwand	HR, GKP beidseitig	IW04
	Zwischendecke	HR, GKP beidseitig	ZD03		Zwischendecke	BSP, Nassestrich	ZD02
	Boden	STB, Nassestrich	EB01		Boden	STB, Nassestrich	EB01

6.4 Verschattung

Energieausweis Berechnungsverfahren: pauschaler Faktor mit 0,65

Dynamische Simulation: Der pauschaler Verschattungsfaktor von 0,65 wird mit dem g-Wert der Verglasung verrechnet und somit berücksichtigt.

Damit gilt für die Verglasung ein g-Wert von:

$0,65 \times \text{g-Wert Verglasung } 0,54 = 0,351$

6.5 Wärmebrücken

Energieausweis: pauschaler Zuschlag pauschaler Vorgabe zur Berechnung von Energieausweisen ÖNORM 8110-6-1:2019

Simulation: Wärmebrückenzuschlag auf die gesamte thermische Hüllfläche: $0,05 \text{ W/K} \times \text{m}^2$

6.6 Klimadaten

Energieausweis: Referenzklima gem. ÖNORM B 8110-5:2019

Dynamische Simulation: Es wird aus dem Referenzklima der ÖNORM B 8110-5:2019 ein Tagesgang ermittelt [6]. Als fiktiver Standort wird das Dornbirner Ried ohne Bebauung herangezogen.

6.7 Luftdichtheit

Energieausweis: Infiltration gemäß pauschaler Vorgabe zur Berechnung von Energieausweisen ÖNORM 8110-6:2019

Dynamische Simulation: 0.6 h^{-1} in halbgeschützter Lage

6.8 Speichermassen

Energieausweis: Die Zuordnung nach der textlichen Beschreibung in der ÖNORM B 8110-6-1:2019 wird getroffen. Des Weiteren wird die Speichermasse des Musterraumes und -Gebäudes berechnet und auf Basis dessen, die Zuordnung leicht, mittel, schwer getroffen.

Dynamische Simulation: Die Speichermassen werden über den tatsächlichen Bauteilaufbau in der Simulation abgebildet.

6.9 Lüftung

In der dynamischen Simulation wird der gem. ÖNORM B 8110-6 zu berücksichtigende Luftwechsel von $0,28 \text{ [1/h]}$ über eine Zu- und Abluftanlage ohne Heiz- und Kühlfunktion und ohne Wärmerückgewinnung abgebildet.

6.10 Raumprofil: Interne Wärmequellen, Nutzungszeit, Sollwerte

Interne Wärmequellen nach ÖNROM 8110-6-2:2019:	
Nutzungszeiten	24/7, jeden Tag im Jahr
Wärmeeintragsleistung	2,6875 W/m ² (Personen, Geräte)
Geräteprofil	24/7 immer ein
Sollwerte nach OIB RI 6:2019:	
Heizen / Kühlen	T _{soll} = 22 °C / - (ideales Heizelement)
Erdreich	Berechnung nach ISO 13370

7 Ergebnisse

Die Ermittlung der volumenbezogenen wirksamen Speichermassen erfolgt für einen Musterraum wie auch für das Mustergebäude. Im Mustergebäude wird ein Ansatz auf der sicheren Seite gewählt, weshalb für diesen Fall etwas geringere Kennwerte für die volumenbezogenen Speichermassen ermittelt werden. Es wird im Unterscheid zur raumweisen Betrachtung ein kleines Verhältnis von Bauteilflächen (abzüglich Öffnungen) zu Raumvolumen berücksichtigt.

Die berechneten volumenbezogenen Speichermassen werden der Kategorisierung leichte, mittlere und schwere Bauweise zugeordnet. Dem gegenübergestellt wird die Kategorisierung nach der normativen Beschreibung in [2].

In Kapitel 7.3 werden die Ergebnisse der Heizwärmebedarfsermittlung mittels statischer Berechnung (Energieausweis) und in Kapitel 7.4 mittels dynamischer Berechnung angeführt. Damit kann der Einfluss der Speichermassen auf die Energieeffizienz dargestellt und mittels Simulation die statische Berechnung und Kategorisierung validiert werden.

7.1 Volumenbezogene wirksame Speichermassen – Musterraum

Aus den oben beschriebenen Bauteilen (siehe 6.3) und der Raumgeometrie (siehe 6.1) ergeben sich folgende volumenbezogene Speichermassen. Die farbliche Darstellung zeigt die Kategorie leichte (grün), mittlere (orange) oder schwere (grau) Bauweise.

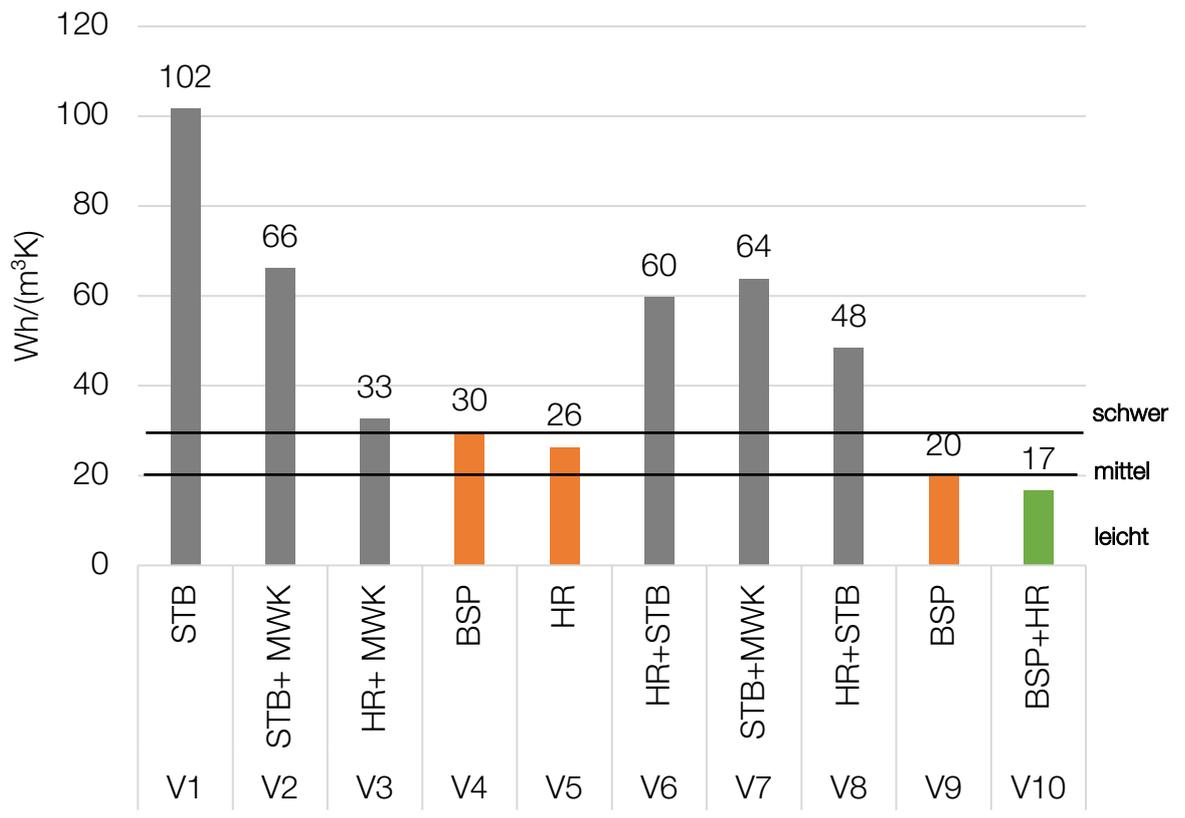


Abbildung 2: errechnete Speichermassen in [Wh/m³K] je Raumvariante

Angenommene Definitionsbereiche:

Zwischen 0 und 19,9 Wh/m³K = leichte Bauweise

Zwischen 20 und 29,9 Wh/m³K = mittelschwer Bauweise

Ab 30 Wh/m³K = schwer Bauweise

Es fällt auf, dass nicht alle Holzbauvarianten in die Kategorie „leicht“ fallen, obwohl die in der Norm über die pauschale Zuordnung so zuzuweisen ist.

Die Massivholzbauweise V4 mit schwimmendem Estrich und die Holzriegelbauweise mit schwimmendem Estrich V5, sowie die Massivholzbauweise mit leichtem Estrich (Trockenestrich) V9 erreichen wirksame Speichermassen von über 20 und unter 30 Wh/(m³K) und fallen somit in die „mittelschwere Bauweise“.

7.2 Volumenbezogene wirksame Speichermassen – Mustergebäude

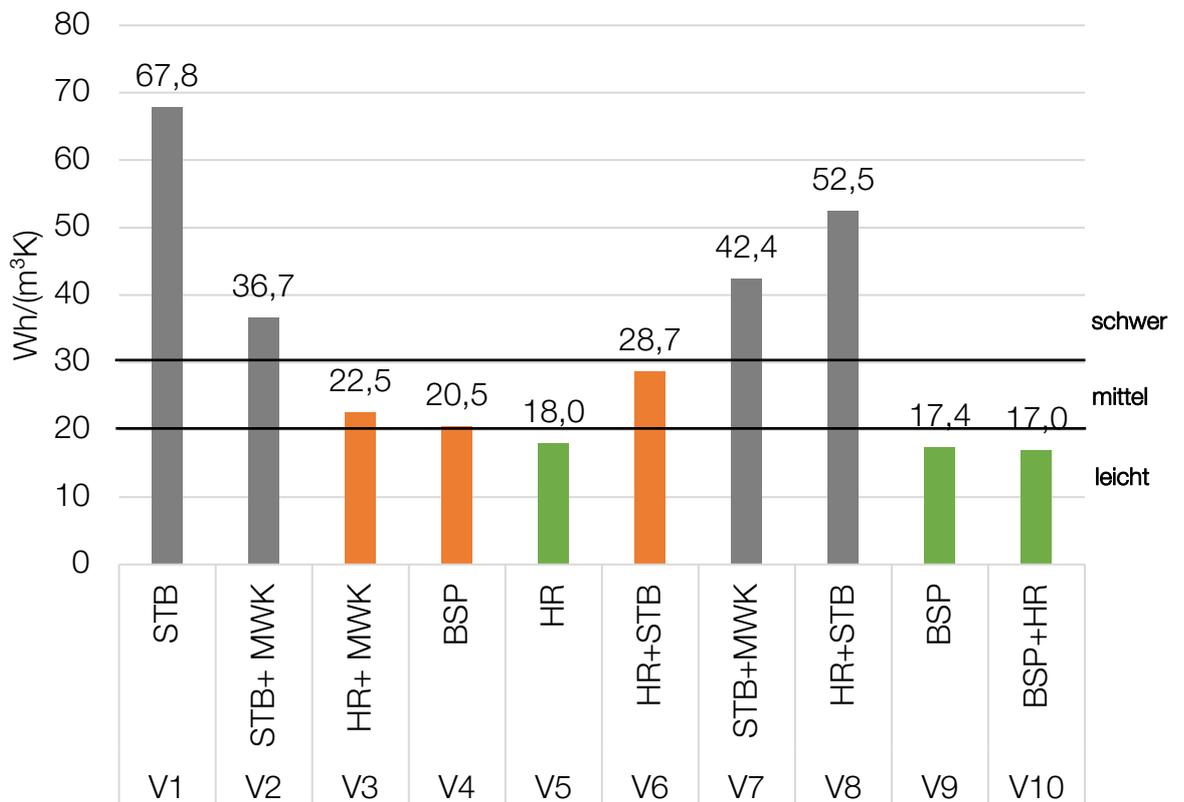


Abbildung 3: errechnete Speichermassen in [Wh/m³K] je Gebäudevariante (Tabelle siehe Anhang 2)

Wie schon in der raumweisen Betrachtung fällt auch beim Mustergebäude auf, dass nicht alle Holzbauweisen in die leichte Kategorie fallen. Auch die Massivholzbauweise V4 erreicht die Kategorie „mittelschwere Bauweise“

Des Weiteren zeigt sich, dass keine der betrachteten Varianten den Grenzwert der pauschalen Einstufung „leicht“ mit 10 Wh/m³K gem. ÖNORM B 8110-1 unterschreitet.

Aus der Untersuchung der volumenbezogenen Speichermassen für einen Musterraum und ein Mustergebäude kann auch gesagt werden, dass die tatsächliche Raumgeometrie eine wesentliche Rolle zur Einstufung der wirksamen Speichermassen in eine Kategorie der Bauweise spielt. Umso höher der Anteil der speicherfähigen Flächen also Bauteilfläche zu Raumvolumen (z.B kleine Räume mit viel Innenwänden, wenig Fensterflächen), desto höher die verfügbare Speichermasse.

Tabelle 2: Zuordnung der Bauweisen Kategorie nach errechneter Speichermasse und nach derzeitig gültiger normativer Beschreibung.

	Material	Kategorisierung nach Text Beschreibung in [2]	Kategorisierung nach errechnetem Wert
V1	STB	schwer	schwer
V2	STB + MWK einschalig	schwer	schwer
V3	HR + MWK einschalig	mittel	mittel
V4	BSP	leicht	mittel

V5	HR	leicht	leicht
V6	HR + STB	mittel	mittel
V7	STB + MWK (WDVS)	schwer	schwer
V8	STB + HR	mittel	schwer
V9	BSP Trockenestrich	leicht	leicht
V10	HR + BSP	leicht	leicht

7.3 Heizwärmebedarf – Energieausweisberechnung

Nachfolgend werden die oben beschriebenen Gebäude unter Berücksichtigung der Speichermassen gem. Norm bzw. detaillierter Ermittlung (teilweise geänderte Zuweisung zu Kategorien) verglichen.

7.3.1 Zuordnung nach aktueller ÖNORM B 8110-6-1:2019

Im Folgenden Diagramm wird der Heizwärmebedarf je Variante dargestellt. Grundlage ist die Kategorisierung der Bauweise nach Zuordnung in der Norm.

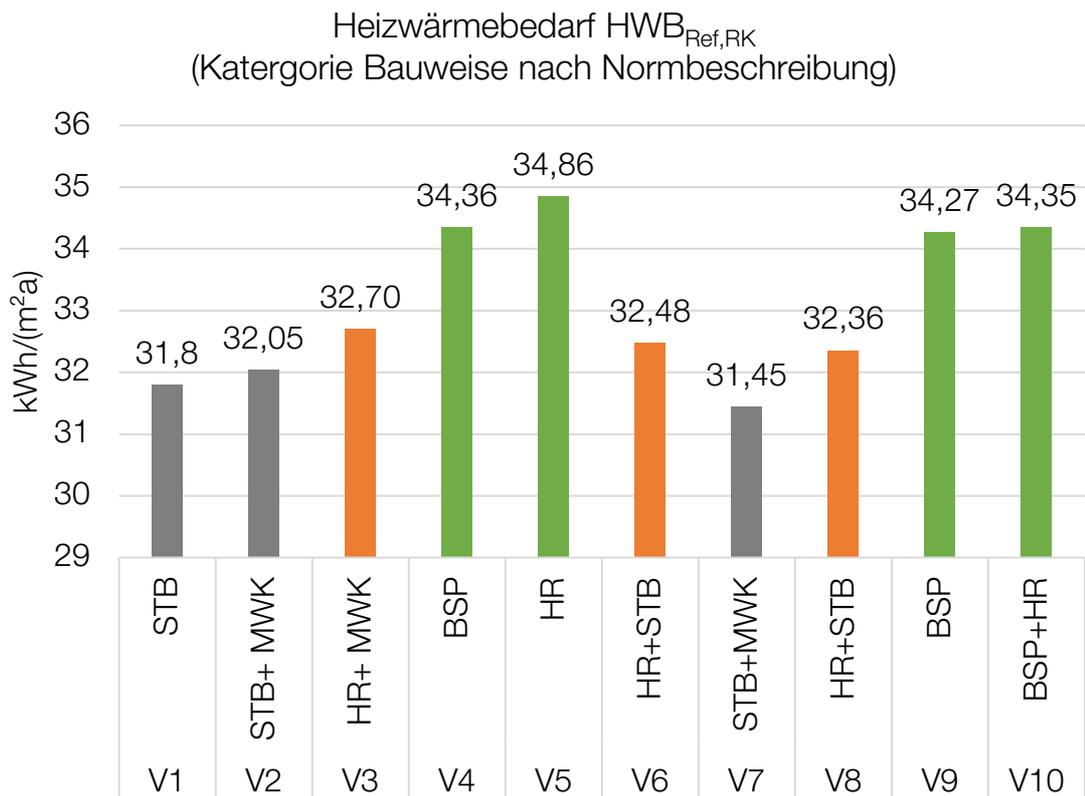


Abbildung 4: Heizwärmebedarf $HWB_{Ref,RK}$ der verschiedenen Gebäudevarianten mit Kategorie nach Normbeschreibung

Die Berechnung des Heizwärmebedarfs ($HWB_{Ref,RK}$) gemäß Energieausweis spiegelt die Zuordnung der Speichermassen in die entsprechende Kategorie wider. Dabei zeigt sich, dass leichte Bauweisen einen höheren HWB aufweisen, während schwere Bauweisen in der Regel einen geringeren HWB haben.

Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass bei der Berechnung des HWB hier zunächst anhand der Kategorien für die Bauweise gem. ÖNORM B 8110-6-1:2019 angegeben wird, welcher dann als Grundlage für die weitere Berechnung dient.

Der Unterschied im HWB zwischen leichten und schweren Bauweisen liegt zwischen 2,5 - 3 kWh/(m²a) und zwischen mittel- und schweren Bauweisen bei 0,5 - 1 kWh/(m²a).

7.3.2 Zuordnung gemäß eigener Ermittlung

Im Folgenden Diagramm wird der Heizwärmebedarf je Variante dargestellt. Grundlage ist die Kategorisierung der Bauweise nach errechnetem Speichermassenwert und Einordnung je nach Wert der Norm. Es werden somit nicht die ermittelten Speichermassen direkt berücksichtigt, sondern lediglich die Zuordnung einer Bauweise zur jeweiligen Kategorie korrigiert.

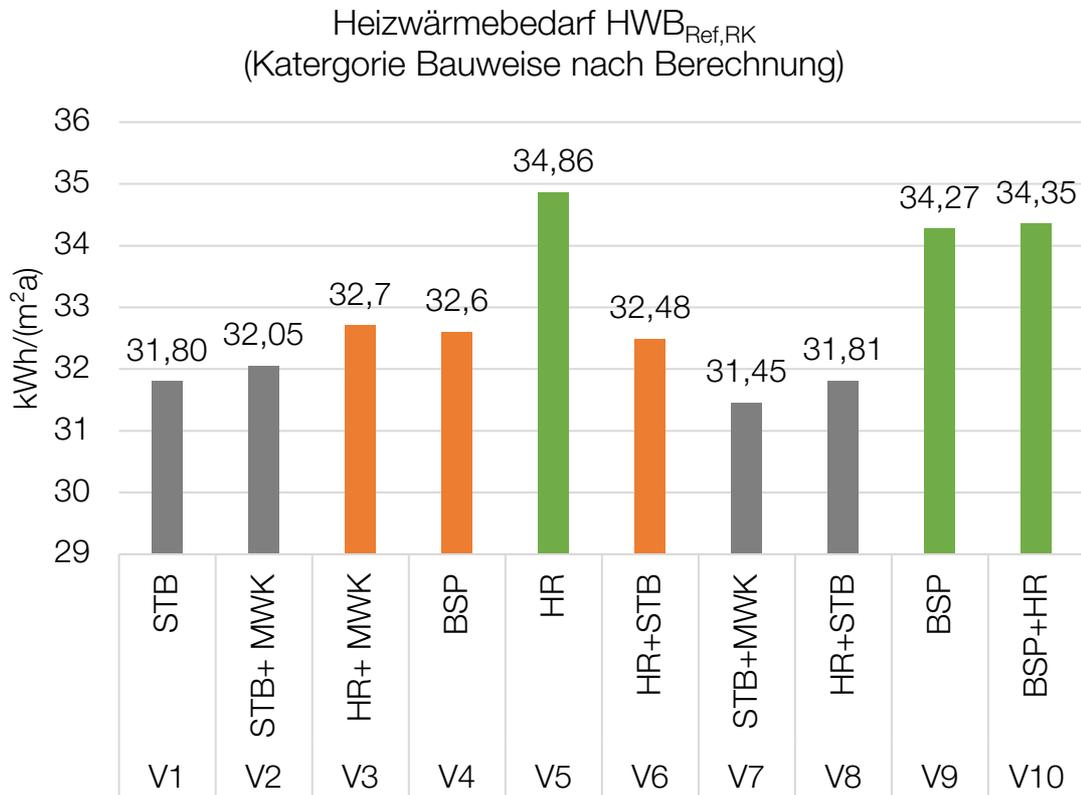


Abbildung 5: Heizwärmebedarf $HWB_{Ref,RK}$ der verschiedenen Gebäudevarianten mit korrigierter Kategoriezuweisung nach Berechnung der Speichermassen

Der $HWB_{Ref,RK}$ der V4 BSP verringert sich um ca. 2 kWh/m²a, da die Kategorisierung der Bauweise nach errechnetem Speichermassenwert im Bereich der mittelschweren Bauweise liegt. Die übrigen Varianten wurden gegenüber der vorherigen Betrachtung nicht verändert.

7.4 Heizwärmebedarf – dynamisch thermische Simulation

Im Gegensatz zur Energieausweisberechnung berücksichtigt die Simulation die Kategorisierung nicht, sondern betrachtet ausschließlich den Bauteilaufbau mit den tatsächlichen Speichermassen. Im folgenden Diagramm werden die Ergebnisse des HWB aus der Simulation mit denen aus der statischen EAW-Berechnung verglichen.

Die Unterschiede zwischen den Bauweisen wirken sich in der dynamischen Simulation hinsichtlich des Heizwärmebedarfs in ähnlicher Höhe aus, als bei stationärer Berechnung (bis $3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$).

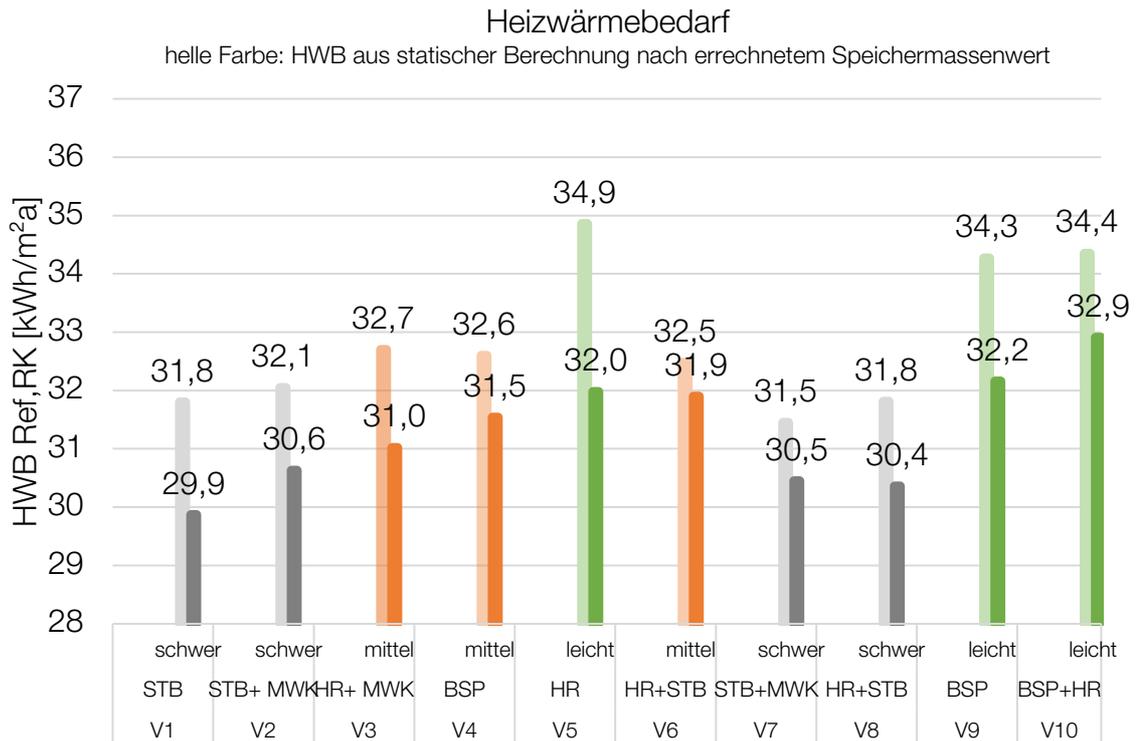


Abbildung 6: Heizwärmebedarf $\text{HWB}_{\text{Ref,RK}}$ aus Abbildung 4 und Ergebnisse aus der Simulation im Vergleich je Variante

Die Simulation zeigt, dass auch die Holzrahmenbauvariante mit schwimmendem Estrich (V5) einen ähnlichen HWB aufweist, wie die als „mittel“ eingestuft Bauweisen. Dies deutet darauf hin, dass verschiedene Holzkonstruktionen mit schwimmendem Estrich trotz unterschiedlicher Aufbauten vergleichbare thermische Leistungen erzielen können.

Zur Massivholzbauweise V4 bestätigt sich die Zuweisung zu den mittelschweren Bauweisen, da diese einen ähnlichen HWB aufweist, wie die Bauweisen der mittelschweren Kategorie nach Normkategorie (z. B. V3, V6).

Außerdem zeigt sich, dass Massivholzbauweisen mit leichten Fußbodenaufbauten (V9), wie z. B. Trockenestrichen, bei Betrachtung der Kategorisierung der Speichermassen knapp unter dem für "mittelschwere" Gebäude liegen, im HWB jedoch nur geringfügig höhere Werte aufweisen, als die „mittelschweren“ Bauweisen.

8 Fazit

Die Analyse der betrachteten Varianten zeigt eine bemerkenswerte Spannweite der wirksamen Speichermassen. Diese breite Streuung verdeutlicht die signifikanten Unterschiede in der thermischen Trägheit verschiedener Bauweisen.

Massivholzbauweisen mit Nassestrichen liegen in allen bisher betrachteten Varianten im Bereich der „mittelschweren“ Bauweisen. Die derzeitige lt. ÖNORM B 8110-6-1 (Nr. 9.1.2) pauschale Einstufung des Holzbaus in „leichte“ Bauweisen scheint somit die Unterschiede der Bauarten nicht ausreichend zu berücksichtigen. Dies unterstreicht den erheblichen Einfluss der Deckenkonstruktion (schwimmender Estrich) für die thermische Masse des Gebäudes.

Für alle anderen betrachteten Varianten lässt sich feststellen, dass sie anhand der errechneten Werte der Speichermasse der passenden Kategorisierung gemäß der Norm unverändert zugeordnet werden können.

Die dynamische Simulation untermauert diese Erkenntnis weiter, indem sie für Holzbaubauweisen mit schwimmenden Estrichen eine vergleichbare Energieeffizienz wie für Gebäude in „mittelschwerer Bauweise“ aufzeigt.

Diese Resultate unterstreichen, dass die Wahl der Baumaterialien und -konstruktionen differenziert betrachtet werden muss und dass Holzbauweisen in Bezug auf Energieeffizienz durchaus mit mineralischen Bauweisen konkurrieren können.

9 Urheberrecht

Der Bericht darf vom Auftraggeber nur im Zusammenhang mit diesem Projekt in vollständiger Form an die erforderlichen Projektbeteiligten weitergegeben werden. Jede andere Form der Weitergabe ist nur mit expliziter Einwilligung der Geschäftsführung der SPEKTRUM Bauphysik & Bauökologie GmbH zulässig. Auszugsweise oder unvollständige Wiedergaben sind unzulässig.

Katharina Prinzing MSc
SPEKTRUM Bauphysik & Bauökologie GmbH
Lustenauerstraße 64 (Leiten) | 6850 Dornbirn



Anhang

1. Eingabeparameter

Tabelle 3: Randbedingungen nach ÖNORM 8110-5 und ÖNROM 8110-6 für Wohngebäude mit einer oder zwei Nutzungseinheiten (Einfamilienhaus)

Objektdaten - Kubatur nach ÖNORM B 8110-6-2:2019	
Abmessungen (LxBxH)	12,0 x 8,0 x 6,0 m
Fensterflächen	12 m ² Süd; 4,8 m ² Ost und West; 2,4 m ² Nord
U-Werte	
Flachdach, Außenwand und Boden	Je nach Baukonstruktion (siehe BTK und Varianten)
Fenster	U _f = 1,1 W/(m ² K); U _g = 0,7 W/(m ² K); psi = 0,04; g = 0,54; Rahmenanteil: 30 %
Verschattung	Default nach EAW, Einfamilienhaus = 0,65: → 0,65x g-Wert Verglasung = g - Wert 0,351
Nutzungszeiten	24/7, jeden Tag im Jahr
Interne Wärmequellen nach ÖNROM 8110-6-2:2019	
Wärmeeintragsleistung	2,6875 W/m ² (Personen, Geräte)
Geräteprofil	24/7 immer ein
Lüftung nach ÖNROM 8110-6	
Luftwechselrate	0,28 [1/h]; Nennluftwechsel über Zu- und Abluftanlage
Effizienz der Wärmerückgewinnung	Keine
Heiz - / Kühlregister	Nicht temperiert, keine Erwärmung über die Ventilatoren
Regelung	konstant
Sollwerte nach OIB RI 6:2019	
Heizen / Kühlen	T _{soll} = 22 °C / - (ideales Heizelement)
Wärmebrücken	0,05 W/K x m ²
Erdreich	Berechnung nach ISO 13370
Luftinfiltration	Windabhängig 0,5 [1/h] bei 50 Pa
Druckkoeffizienten	Halbfreie Lage
Sonstige Anmerkungen	Eigenschaften von Holzmaterialien aus ÖNORM 8110-7

2. Berechnungstabelle Speichermasse des Mustergebäudes

		Bauteilbezeichnung nach BTK	U-Wert [W/m²K]	Speicherwirksame Masse m [kg/m²]	Bauteilstärke	Höhe Netto	Breite Netto	Länge Netto	Bauteilfläche m²	BGF m²	BRI m³	GEQ-Speicherkapazität c [J/(kg*K)]	J/(m²*K)	Wh/(m²*K)	Wh/(K)	Wh/(m³K)		
V1	Flachdach	STB	FD01	0.12	286.29	0.52			96.00	192.00	630.66	1000.00	286290.00	80.16	7.695			
	Außenwand	STB	AW01	0.14	260.31	0.44	2.27	7.13	11.13			238.78	1000.00	260310.00	72.89	17.404		
	Innenwand	MWK	IW03		60.53		2.27	7.13	11.13			230.43	1000.00	60530.00	16.95	3.905		
	ZD Boden	STB	ZD01		113.02	0.44	2.21					96.00	1000.00	113020.00	31.65	3.038		
	ZD Decke	STB	ZD01		287.82	0.44						96.00	1000.00	287820.00	80.59	7.737		
	Boden	STB	EB01	0.16	111.40	0.58						96.00	1000.00	111400.00	31.19	2.994		
																		42,774
V2	Flachdach	STB	FD01	0.12	286.29	0.52	4.91		96	192	630.66	1000	286290.0	80.2	7695.5			
	Außenwand	MWK	AW03	0.14	40.06	0.515		6.97	10.97			238.78	1000	40060.0	11.2	2678.3		
	Innenwand	MWK	IW03		60.53		2.27	6.97	10.97			226.18	1000.00	60530.00	16.95	3833.4		
	ZD Boden	STB	ZD01		113.02							96	1000	113020.0	31.6	3038.0		
	ZD Decke	STB	ZD01		107.30							96	1000	107300.0	30.0	2884.2		
	Boden	STB	EB01	0.16	111.40	0.58						96	1000	111400.0	31.2	2994.4		
																		23,124
V3	Flachdach	HR	FD02	0.12	35.03	0.303	5.12		96	192	631.33	1000	35030.0	9.8	941.6			
	Außenwand	MWK	AW03	0.14	40.06	0.515		6.97	10.97			239.06	1000	40060.0	11.2	2681.5		
	Innenwand	MWK	IW03		60.53		2.27	6.97	10.97			226.18	1000.00	60530.00	16.95	3833.4		
	ZD Boden	HR	ZD03		107.6							96	1000	107600.0	30.1	2892.3		
	ZD Decke	HR	ZD03		33.17							96	1000	33170.0	9.3	891.6		
	Boden	STB	EB01	0.16	111.40	0.58						96	1000	111400.0	31.2	2994.4		
																		14,235
V4	Flachdach	BSP	FD03	0.12	34.57	0.4117	5.01		96	192	631.8	1000	34570.0	9.7	929.2			
	Außenwand	BSP	AW02	0.14	36.87	0.3806		7.24	11.24			239.25	1000	36870.0	10.3	2469.9		
	Innenwand	BSP	IW02		41.92		2.27	7.24	11.24			233.50	1000.00	41920.00	11.74	2740.8		
	ZD Boden	BSP	ZD02		107.3							96	1000	107300.0	30.0	2884.2		
	ZD Decke	BSP	ZD02		33.58							96	1000	33580.0	9.4	902.6		
	Boden	STB	EB01	0.16	111.40	0.58						96	1000	111400.0	31.2	2994.4		
																		12,921
V5	Flachdach	HR	FD02	0.12	35.03	0.303	5.12		96	192	631.33	1000	35030.0	9.8	941.6			
	Außenwand	HR	AW05	0.14	35.28	0.363		7.27	11.27			239.06	1000	35280.0	9.9	2361.5		
	Innenwand	HR	IW04		19.08		2.27	7.27	11.27			234.46	1000.00	19080.00	5.34	1252.6		
	ZD Boden	HR	ZD03		107.6							96	1000	107600.0	30.1	2892.3		
	ZD Decke	HR	ZD03		33.17							96	1000	33170.0	9.3	891.6		
	Boden	STB	EB01	0.16	111.40	0.58						96	1000	111400.0	31.2	2994.4		
																		11,334
V6	Flachdach	STB	FD01	0.12	286.29	0.52	4.91		96	192	630.76	1000	286290.0	80.2	7695.5			
	Außenwand	HR	AW05	0.14	35.28	0.363		7.27	11.27			238.82	1000	35280.0	9.9	2359.2		
	Innenwand	HR	IW04		19.08		2.27	7.27	11.27			234.46	1000.00	19080.00	5.34	1252.6		
	Zwischendecke	HR	ZD03		107.6							96	1000	107600.0	30.1	2892.3		
	ZD Decke	HR	ZD03		33.17							96	1000	33170.0	9.3	891.6		
	Boden	STB	EB01	0.16	111.40	0.58						96	1000	111400.0	31.2	2994.4		
																		18,086
V7	Flachdach	STB	FD01	0.12	286.29	0.52	4.91		96	192	626.8	1000	286290.0	80.2	7695.5			
	Außenwand	MWK	AW04	0.13	61.04	0.472		7.06	11.06			237	1000	61040.0	17.1	4050.6		
	Innenwand	HR	IW04		19.08		2.27	7.06	11.06			228.53	1000.00	19080.00	5.34	1220.9		
	ZD Boden	STB	ZD01		107.6							96	1000	107600.0	30.1	2892.3		
	ZD Decke	STB	ZD01		287.82							96	1000	287820.0	80.6	7736.6		
	Boden	STB	EB01	0.16	111.40	0.58						96	1000	111400.0	31.2	2994.4		
																		26,590
V8	Flachdach	STB	FD01	0.12	286.29	0.52	4.91		96	192	630.76	1000	286290.0	80.2	7695.5			
	Außenwand	STB	AW01		260.31	0.44		7.13	11.13			238.82	1000	260310.0	72.9	17406.8		
	Innenwand	HR	IW04		19.08		2.27	7.13	11.13			230.43	1000.00	19080.00	5.34	1231.1		
	ZD Boden	HR	ZD03		107.6							96	1000	107600.0	30.1	2892.3		
	ZD Decke	HR	ZD03		33.17							96	1000	33170.0	9.3	891.6		
	Boden	STB	EB01	0.16	111.40	0.58						96	1000	111400.0	31.2	2994.4		
																		33,112
V9	Decke	BSP	FD03	0.12	34.57	0.4117	5.01		96	192	627.48	1000	34570.0	9.7	929.2			
	Außenwand	BSP	AW02	0.14	36.87	0.3806		7.24	11.24			237.45	1000	36870.0	10.3	2451.3		
	Innenwand	BSP	IW02		41.92		2.27	7.24	11.24			233.50	1000.00	41920.00	11.74	2740.8		
	ZD Boden	BSP	ZD08		32.36							96	1000	32360.0	9.1	869.8		
	ZD Decke	BSP	ZD08		33.58							96	1000	33580.0	9.4	902.6		
	Boden	STB	EB01	0.16	111.40	0.58						96	1000	111400.0	31.2	2994.4		
																		10888.3
V10	Flachdach	HR	FD02	0.11	35.03	0.303	5.12		96	192	631.93	1000	35030.0	9.8	941.6			
	Außenwand	HR	AW05	0.14	35.28	0.363		7.27	11.27			239.3	1000	35280.0	9.9	2363.9		
	Innenwand	HR	IW04		19.08		2.27	7.27	11.27			117.23	1000.00	19080.00	5.34	626.3		
	ZD Boden	BSP	ZD02		107.3							96	1000	107300.0	30.0	2884.2		
	ZD Decke	BSP	ZD02		33.58							96	1000	33580.0	9.4	902.6		
	Boden	STB	EB01	0.16	111.40	0.58						96	1000	111400.0	31.2	2994.4		
																		10713.1

3. Bauteilkatalog

Bauteilkatalog Materialvarianten

FD01	StB - Flachdach - Warmdach - Kies				
	von Außen nach Innen		Dicke	λ	d / λ
Kies feucht 20% - min. 6 cm	*		0,0600	1,400	0,043
Geotextilvlies	*		0,0100	0,200	0,050
Bitumenbahn E-KV-5K wf - wurzelfest			0,0050	0,170	0,029
Bitumenbahn E-4 sk - Hitzeschild selbstklebend			0,0040	0,170	0,024
EPS-W 25 plus			0,2600	0,031	8,387
Al-Bitumen-Dampfsperre E-ALGV-5K			0,0050	0,170	0,029
Bitumenvoranstrich			0,0030	0,230	0,013
Stahlbeton 100 kg/m ³ Armierungsstahl (1,25 Vol.%)			0,2400	2,300	0,104
			Dicke 0,5170		
	Rse+Rsi = 0,14		Dicke gesamt 0,5870	U-Wert	0,11

FD02	Außendecke, Wärmestrom nach oben - HR Warmdach				
	von Außen nach Innen		Dicke	λ	d / λ
Kies feucht 20% - min. 6 cm	*		0,0600	1,400	0,043
Geotextilvlies	*		0,0100	0,200	0,050
Bitumenbahn E-KV-5K wf - wurzelfest			0,0050	0,170	0,029
Bitumenbahn E-4 sk - Hitzeschild selbstklebend			0,0040	0,170	0,024
EPS-W 25 plus			0,2500	0,031	8,065
Al-Bitumen-Dampfsperre E-ALGV-5K			0,0050	0,170	0,029
Bitumenvoranstrich			0,0030	0,230	0,013
3-Schichtpl.			0,0260	0,120	0,217
Balkenlage dazw.	*	28,2 %	0,2800	0,120	0,658
Luft,	*	71,8 %		1,563	0,129
			Dicke 0,2930		
	RTo 8,5772	RTu 0,0000	Dicke gesamt 0,6430	U-Wert	0,12
Balkenlage:	Achsabstand 0,780	Breite 0,220		Rse+Rsi 0,14	
	RT 4,2886				

FD03	Außendecke, Wärmestrom nach oben - BSP Warmdach - Kies				
	von Außen nach Innen		Dicke	λ	d / λ
Kies feucht 20% - min. 6 cm	*		0,0600	1,400	0,043
Geotextilvlies	*		0,0100	0,200	0,050
Bitumenbahn E-KV-5K wf - wurzelfest			0,0050	0,170	0,029
Bitumenbahn E-4 sk - Hitzeschild selbstklebend			0,0040	0,170	0,024
Steinwolle MW-WD - Gefälledämmung			0,1000	0,038	2,632
Steinwolle MW-WD			0,1800	0,038	4,737
Al-Bitumen-Dampfsperre E-ALGV-3sk - selbstklebend			0,0027	0,170	0,016
Brettsperrholz BSP			0,1200	0,120	1,000
			Dicke 0,4117		
	Rse+Rsi = 0,14		Dicke gesamt 0,4817	U-Wert	0,12

AW01	StB - Außenwand WDVS				
	von Innen nach Außen		Dicke	λ	d / λ
Kalk-Zementputz			0,0100	0,800	0,013
Stahlbeton 100 kg/m ³ Armierungsstahl (1,25 Vol.%)			0,2000	2,300	0,087
EPS-F plus			0,2200	0,031	7,097
Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)			0,0070	0,800	0,009
	Rse+Rsi = 0,17		Dicke gesamt 0,4370	U-Wert	0,14

AW02 BSP - Außenwand hinterlüftet						
		von Innen nach Außen		Dicke	λ	d / λ
BSP				0,1000	0,120	0,833
Lattung dazw.		10,0 %		0,2200	0,120	0,183
Holzrahmenfilz		90,0 %			0,038	5,211
Holzfaserdämmplatte (zB ISOLAIR)				0,0600	0,048	1,250
Windpapier				0,0006	0,220	0,003
Lattung/ Konterlattung inkl. Hinterlüftung		*		0,0480	0,120	0,400
Fassadenlattung		*		0,0210	0,120	0,175
				Dicke 0,3806		
Lattung:		RT _o 7,4320	RT _u 7,1080	RT 7,2700	Dicke gesamt 0,4496	U-Wert 0,14
	Achsabstand	0,800	Breite	0,080	R _{se} +R _{si} 0,26	
AW03 MWK - Außenwand Einschlig						
		von Innen nach Außen		Dicke	λ	d / λ
Kalkzementputz				0,0100	0,910	0,011
Hochlochziegel gedämmt				0,4900	0,070	7,000
Kalkzementputz				0,0150	0,910	0,016
		R _{se} +R _{si} = 0,17		Dicke gesamt 0,5150	U-Wert 0,14	
AW04 MWK - Außenwand WDVS						
		von Innen nach Außen		Dicke	λ	d / λ
Kalk-Zementputz				0,0100	0,800	0,013
Hochlochziegel				0,2500	0,250	1,000
Kleber mineralisch				0,0050	1,000	0,005
EPS-F plus				0,2000	0,031	6,452
Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)				0,0070	0,800	0,009
		R _{se} +R _{si} = 0,17		Dicke gesamt 0,4720	U-Wert 0,13	
AW05 HR - Außenwand hinterlüftet Holzrahmen						
		von Innen nach Außen		Dicke	λ	d / λ
Gipskartonplatte				0,0125	0,210	0,060
Gipskartonplatte				0,0125	0,210	0,060
OSB Platte - Stöße verklebt				0,0180	0,120	0,150
Ständerkonstruktion (20%) dazw.		19,2 %		0,2600	0,120	0,416
Mineralwolle		80,8 %			0,032	6,565
Holzfaserdämmplatte (zB ISOLAIR)				0,0600	0,048	1,250
Lattung/ Konterlattung inkl. Hinterlüftung		*		0,0480	0,120	0,400
Fassadenlattung		*		0,0210	0,120	0,175
				Dicke 0,3630		
Ständerkonstruktion		RT _o 7,5685	RT _u 7,0065	RT 7,2875	Dicke gesamt 0,4320	U-Wert 0,14
	Achsabstand	0,625	Breite	0,120	R _{se} +R _{si} 0,17	
IW01 STB- Innenwand						
		von Innen nach Außen		Dicke	λ	d / λ
Kalk-Zementputz				0,0100	0,800	0,013
Stahlbeton				0,1800	2,300	0,078
Kalk-Zementputz				0,0100	0,800	0,013
		R _{se} +R _{si} = 0,26		Dicke gesamt 0,2000	U-Wert 2,75	
IW02 BSP - Innenwand						
		von Innen nach Außen		Dicke	λ	d / λ
Brettsperrholz BSP - Stöße verklebt beidseitig				0,1000	0,120	0,833
Luft				0,0050	0,042	0,119
CW-Profil mit Mineralwolle MW-WL				0,1000	0,039	2,564
Hartgipsplatte (Diamant)				0,0125	0,250	0,050
Hartgipsplatte (Diamant)				0,0125	0,250	0,050
		R _{se} +R _{si} = 0,26		Dicke gesamt 0,2300	U-Wert 0,26	

IW03 MWK - Innenwand						
		von Innen nach Außen		Dicke	λ	d / λ
Kalk-Zementputz				0,0100	0,800	0,013
Hochlochziegel				0,1200	0,330	0,364
Kalk-Zementputz				0,0100	0,800	0,013
		Rse+Rsi = 0,26		Dicke gesamt 0,1400	U-Wert 1,54	
IW04 HR - Innenwand						
		von Innen nach Außen		Dicke	λ	d / λ
Gipskartonplatte				0,0125	0,250	0,050
Gipskartonplatte				0,0125	0,250	0,050
Holzständer 80/60 dazw.		9,6 %		0,0800	0,120	0,064
Mineralwolle MW-WL		90,4 %			0,039	1,854
Gipskartonplatte				0,0125	0,250	0,050
Gipskartonplatte				0,0125	0,250	0,050
Holzständer 80/60:		RTo 2,2463 Achsabstand	RTu 2,1703 0,625 Breite	RT 2,2083 0,060		
				Dicke gesamt 0,1300	U-Wert 0,45	
				Rse+Rsi 0,26		
ZD01 StB - warme Zwischendecke						
		von Innen nach Außen		Dicke	λ	d / λ
Bodenbelag (Parkettboden)				0,0100	0,150	0,067
Zementheizestrich				0,0700	1,330	0,053
PE-Folie einlagig				0,0002	0,190	0,001
EPS-T 33/30				0,0300	0,044	0,682
EPS-Schüttung zementgeb.				0,0850	0,050	1,700
Stahlbeton 100 kg/m ³ Armierungsstahl (1,25 Vol.%)				0,2400	2,300	0,104
		Rse+Rsi = 0,26		Dicke gesamt 0,4352	U-Wert 0,35	
ZD02 BSP - ZD mit Trockenestrich						
		von Innen nach Außen		Dicke	λ	d / λ
Bodenbelag (Parkettboden)				0,0100	0,150	0,067
FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente				0,0250	0,320	0,078
Trennlage, PE-Dampfbremsfolie				0,0002	0,500	0,000
EPS-T 33/30				0,0300	0,044	0,682
Trennlage, PE-Dampfbremsfolie				0,0002	0,500	0,000
Splittschüttung				0,1000	0,700	0,143
Rieselschutz (PE-Folie)				0,0020	0,500	0,004
Brettsperrholz				0,1400	0,120	1,167
		Rse+Rsi = 0,26		Dicke gesamt 0,3074	U-Wert 0,42	
ZD03 HR - warme Zwischendecke - Balkendecke						
		von Innen nach Außen		Dicke	λ	d / λ
Bodenbelag (Parkettboden)				0,0100	0,150	0,067
Zementestrich				0,0700	1,330	0,053
Trennlage, PE-Folie				0,0002	0,500	0,000
EPS-T 33/30				0,0300	0,044	0,682
Splittschüttung				0,1000	0,700	0,143
3-Schichtpl.				0,0260	0,120	0,217
Balkenlage dazw.		28,2 %		0,2800	0,120	0,658
Luft,		71,8 %			1,563	0,129
Balkenlage:		RTo 6,1416 Achsabstand	RTu 0,0000 0,780 Breite	RT 3,0708 0,220		
				Dicke gesamt 0,5162	U-Wert 0,56	
				Rse+Rsi 0,26		
EB01 StB - erdanliegender Fußboden (<=1,5m unter Erdrich)						
		von Innen nach Außen		Dicke	λ	d / λ
Bodenbelag				0,0100	0,150	0,067
Zementheizestrich				0,0700	1,330	0,053
Dampfsperre				0,0002	0,350	0,001
EPS-T 33/30				0,0300	0,044	0,682
EPS-Schüttung zementgeb.				0,0850	0,050	1,700
Bitumenbahn E-KV-4K				0,0040	0,170	0,024
Bitumenvoranstrich				0,0030	0,230	0,013
Stahlbeton - Dichtbeton				0,2500	2,500	0,100
XPS				0,1200	0,036	3,333
		Rse+Rsi = 0,17		Dicke gesamt 0,5722	U-Wert 0,16	

Dicke ... wärmetechnisch relevante Dicke

Einheiten: Dicke [m], Achsabstand [m], Breite [m], U-Wert [W/m²K], Dichte [kg/m³], λ [W/mK]

*... Schicht zählt nicht zum U-Wert F... enthält Flächenheizung B... Bestandsschicht

RTu ... unterer Grenzwert RTo ... oberer Grenzwert laut ÖNORM EN ISO 6946

Speicherwirksame Masse

Bauteilkatalog Materialvarianten

FD01 StB - Flachdach - Warmdach - Kies		Dicke	λ	Dichte	spez. Wk.
	von Außen nach Innen	m	W/mk	kg/m ³	J/kgK
Kies feucht 20% - min. 6 cm	*	0,0600	1,400	1.650	1.116
Geotextilvlies	*	0,0100	0,200	140	1.300
Bitumenbahn E-KV-5K wf - wurzelfest		0,0050	0,170	1.100	1.260
Bitumenbahn E-4 sk - Hitzeschild selbstklebend		0,0040	0,170	1.100	1.260
EPS-W 25 plus		0,2600	0,031	25	1.400
Al-Bitumen-Dampfsperre E-ALGV-5K		0,0050	0,170	1.100	1.700
Bitumenvoranstrich		0,0030	0,230	1.050	1.200
Stahlbeton 100 kg/m ³ Armierungsstahl (1,25 Vol.%)		0,2400	2,300	2.325	1.000
U-Wert 0,11 W/m ² K		Speicherwirksame Masse [kg/m²]			$m_{w,B,A}$ 286,29

FD02 Außendecke, Wärmestrom nach oben - HR Warmdach		Dicke	λ	Dichte	spez. Wk.
	von Außen nach Innen	m	W/mk	kg/m ³	J/kgK
Kies feucht 20% - min. 6 cm	*	0,0600	1,400	1.650	1.116
Geotextilvlies	*	0,0100	0,200	140	1.300
Bitumenbahn E-KV-5K wf - wurzelfest		0,0050	0,170	1.100	1.260
Bitumenbahn E-4 sk - Hitzeschild selbstklebend		0,0040	0,170	1.100	1.260
EPS-W 25 plus		0,2500	0,031	25	1.400
Al-Bitumen-Dampfsperre E-ALGV-5K		0,0050	0,170	1.100	1.700
Bitumenvoranstrich		0,0030	0,230	1.050	1.200
3-Schichtpl.		0,0260	0,120	475	1.600
Balkenlage dazw.	* 28,2 %	0,2800	0,120	475	1.600
Luft,	* 71,8 %		1,563	1	1.003
U-Wert 0,12 W/m ² K		Speicherwirksame Masse [kg/m²]			$m_{w,B,A}$ 31,87

FD03 Außendecke, Wärmestrom nach oben - BSP Warmdach - Kies		Dicke	λ	Dichte	spez. Wk.
	von Außen nach Innen	m	W/mk	kg/m ³	J/kgK
Kies feucht 20% - min. 6 cm	*	0,0600	1,400	1.650	1.116
Geotextilvlies	*	0,0100	0,200	140	1.300
Bitumenbahn E-KV-5K wf - wurzelfest		0,0050	0,170	1.100	1.260
Bitumenbahn E-4 sk - Hitzeschild selbstklebend		0,0040	0,170	1.100	1.260
Steinwolle MW-WD - Gefälledämmung		0,1000	0,038	120	1.030
Steinwolle MW-WD		0,1800	0,038	120	1.030
Al-Bitumen-Dampfsperre E-ALGV-3sk - selbstklebend		0,0027	0,170	1.000	1.260
Brettsperrholz BSP		0,1200	0,120	475	1.600
U-Wert 0,12 W/m ² K		Speicherwirksame Masse [kg/m²]			$m_{w,B,A}$ 34,57

AW01 StB - Außenwand WDVS		Dicke	λ	Dichte	spez. Wk.
	von Innen nach Außen	m	W/mk	kg/m ³	J/kgK
Kalk-Zementputz		0,0100	0,800	1.800	1.116
Stahlbeton 100 kg/m ³ Armierungsstahl (1,25 Vol.%)		0,2000	2,300	2.325	1.000
EPS-F plus		0,2200	0,031	17	1.450
Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)		0,0070	0,800	1.800	1.000
U-Wert 0,14 W/m ² K		Speicherwirksame Masse [kg/m²]			$m_{w,B,A}$ 260,31

Speicherwirksame Masse

Bauteilkatalog Materialvarianten

AW02 BSP - Außenwand hinterlüftet		Dicke	λ	Dichte	spez. Wk.	
	von Innen nach Außen	m	W/mk	kg/m ³	J/kgK	
BSP		0,1000	0,120	475	1.600	
Lattung dazw.	10,0 %	0,2200	0,120	475	1.600	
Holzrahmenfilz	90,0 %		0,038	20	1.030	
Holzfaserdämmplatte (zB ISOLAIR)		0,0600	0,048	200	2.100	
Windpapier		0,0006	0,220	300	792	
Lattung/ Konterlattung inkl. Hinterlüftung	*	0,0480	0,120	475	1.600	
Fassadenlattung	*	0,0210	0,120	475	1.600	
U-Wert 0,14 W/m ² K		Speicherwirksame Masse [kg/m²]			$m_{w,B,A}$	36,87

AW03 MWK - Außenwand Einschlig		Dicke	λ	Dichte	spez. Wk.	
	von Innen nach Außen	m	W/mk	kg/m ³	J/kgK	
Kalkzementputz		0,0100	0,910	1.700	1.000	
Hochlochziegel gedämmt		0,4900	0,070	864	1.000	
Kalkzementputz		0,0150	0,910	1.700	1.000	
U-Wert 0,14 W/m ² K		Speicherwirksame Masse [kg/m²]			$m_{w,B,A}$	40,06

AW04 MWK - Außenwand WDVS		Dicke	λ	Dichte	spez. Wk.	
	von Innen nach Außen	m	W/mk	kg/m ³	J/kgK	
Kalk-Zementputz		0,0100	0,800	1.800	1.116	
Hochlochziegel		0,2500	0,250	800	920	
Kleber mineralisch		0,0050	1,000	1.800	0	
EPS-F plus		0,2000	0,031	17	1.450	
Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)		0,0070	0,800	1.800	1.000	
U-Wert 0,13 W/m ² K		Speicherwirksame Masse [kg/m²]			$m_{w,B,A}$	61,04

AW05 HR - Außenwand hinterlüftet Holzrahmen		Dicke	λ	Dichte	spez. Wk.	
	von Innen nach Außen	m	W/mk	kg/m ³	J/kgK	
Gipskartonplatte		0,0125	0,210	700	1.000	
Gipskartonplatte		0,0125	0,210	700	1.000	
OSB Platte - Stöße verklebt		0,0180	0,120	640	1.700	
Ständerkonstruktion (20%) dazw.	19,2 %	0,2600	0,120	475	1.600	
Mineralwolle	80,8 %		0,032	40	1.030	
Holzfaserdämmplatte (zB ISOLAIR)		0,0600	0,048	200	2.100	
Lattung/ Konterlattung inkl. Hinterlüftung	*	0,0480	0,120	475	1.600	
Fassadenlattung	*	0,0210	0,120	475	1.600	
U-Wert 0,14 W/m ² K		Speicherwirksame Masse [kg/m²]			$m_{w,B,A}$	35,28

IW01 STB- Innenwand		Dicke	λ	Dichte	spez. Wk.	
	von Innen nach Außen	m	W/mk	kg/m ³	J/kgK	
Kalk-Zementputz		0,0100	0,800	1.800	1.130	
Stahlbeton		0,1800	2,300	2.300	1.116	
Kalk-Zementputz		0,0100	0,800	1.800	1.130	
U-Wert 2,75 W/m ² K		Speicherwirksame Masse [kg/m²]			$m_{w,B,A}$	218,94

Speicherwirksame Masse

Bauteilkatalog Materialvarianten

IW02 BSP - Innenwand		Dicke	λ	Dichte	spez. Wk.	
	von Innen nach Außen	m	W/mk	kg/m ³	J/kgK	
Brettsperrholz BSP - Stöße verklebt beidseitig		0,1000	0,120	470	2.100	
Luft		0,0050	0,042	1	1.003	
CW-Profil mit Mineralwolle MW-WL		0,1000	0,039	15	810	
Hartgipsplatte (Diamant)		0,0125	0,250	1.050	1.000	
Hartgipsplatte (Diamant)		0,0125	0,250	1.050	1.000	
U-Wert 0,26 W/m ² K						
		Speicherwirksame Masse [kg/m²]			$m_{w,B,A}$	41,92

IW03 MWK - Innenwand		Dicke	λ	Dichte	spez. Wk.	
	von Innen nach Außen	m	W/mk	kg/m ³	J/kgK	
Kalk-Zementputz		0,0100	0,800	1.800	1.130	
Hochlochziegel		0,1200	0,330	750	1.000	
Kalk-Zementputz		0,0100	0,800	1.800	1.130	
U-Wert 1,54 W/m ² K						
		Speicherwirksame Masse [kg/m²]			$m_{w,B,A}$	60,53

IW04 HR - Innenwand		Dicke	λ	Dichte	spez. Wk.	
	von Innen nach Außen	m	W/mk	kg/m ³	J/kgK	
Gipskartonplatte		0,0125	0,250	800	960	
Gipskartonplatte		0,0125	0,250	800	960	
Holzständer 80/60 dazw.	9,6 %	0,0800	0,120	475	1.600	
Mineralwolle MW-WL	90,4 %		0,039	15	810	
Gipskartonplatte		0,0125	0,250	800	960	
Gipskartonplatte		0,0125	0,250	800	960	
U-Wert 0,45 W/m ² K						
		Speicherwirksame Masse [kg/m²]			$m_{w,B,A}$	19,08

ZD01 StB - warme Zwischendecke		Dicke	λ	Dichte	spez. Wk.	
	von Innen nach Außen	m	W/mk	kg/m ³	J/kgK	
Bodenbelag (Parkettboden)		0,0100	0,150	740	1.600	
Zementheizestrich		0,0700	1,330	2.000	1.080	
PE-Folie einlagig		0,0002	0,190	1.200	1.260	
EPS-T 33/30		0,0300	0,044	15	1.450	
EPS-Schüttung zementgeb.		0,0850	0,050	100	1.400	
Stahlbeton 100 kg/m ³ Armierungsstahl (1,25 Vol.%)		0,2400	2,300	2.325	1.000	
U-Wert 0,35 W/m ² K						
		Speicherwirksame Masse [kg/m²]			$m_{w,B,A}$	113,02

ZD02 BSP - ZD mit Trockenestrich		Dicke	λ	Dichte	spez. Wk.	
	von Innen nach Außen	m	W/mk	kg/m ³	J/kgK	
Bodenbelag (Parkettboden)		0,0100	0,150	74	1.600	
FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente		0,0250	0,320	1.150	1.100	
Trennlage, PE-Dampfbremsfolie		0,0002	0,500	650	1.260	
EPS-T 33/30		0,0300	0,044	15	1.450	
Trennlage, PE-Dampfbremsfolie		0,0002	0,500	650	1.260	
Splittschüttung		0,1000	0,700	1.500	1.000	
Rieselschutz (PE-Folie)		0,0020	0,500	980	1.260	
Brettsperrholz		0,1400	0,120	475	1.600	
U-Wert 0,42 W/m ² K						
		Speicherwirksame Masse [kg/m²]			$m_{w,B,A}$	32,36

Speicherwirksame Masse

Bauteilkatalog Materialvarianten

ZD03 HR - warme Zwischendecke - Balkendecke		Dicke	λ	Dichte	spez. Wk.
	von Innen nach Außen	m	W/mk	kg/m ³	J/kgK
Bodenbelag (Parkettboden)		0,0100	0,150	740	1.600
Zementestrich		0,0700	1,330	2.000	1.080
Trennlage, PE-Folie		0,0002	0,500	980	1.260
EPS-T 33/30		0,0300	0,044	15	1.450
Splittschüttung		0,1000	0,700	1.500	1.000
3-Schichtpl.		0,0260	0,120	475	1.600
Balkenlage dazw.	28,2 %	0,2800	0,120	475	1.600
Luft,	71,8 %		1,563	1	1.003
U-Wert 0,56 W/m ² K				Speicherwirksame Masse [kg/m²]	$m_{w,B,A}$ 107,59

EB01 StB - erdanliegender Fußboden (<=1,5m unter Erdreich)		Dicke	λ	Dichte	spez. Wk.
	von Innen nach Außen	m	W/mk	kg/m ³	J/kgK
Bodenbelag		0,0100	0,150	740	1.600
Zementheizestrich		0,0700	1,330	2.000	1.080
Dampfsperre		0,0002	0,350	930	1.680
EPS-T 33/30		0,0300	0,044	15	1.450
EPS-Schüttung zementgeb.		0,0850	0,050	100	1.400
Bitumenbahn E-KV-4K		0,0040	0,170	1.100	1.260
Bitumenvoranstrich		0,0030	0,230	1.050	1.200
Stahlbeton - Dichtbeton		0,2500	2,500	2.400	1.116
XPS		0,1200	0,036	33	1.500
U-Wert 0,16 W/m ² K				Speicherwirksame Masse [kg/m²]	$m_{w,B,A}$ 111,40