

*Gegenüberstellung der Heizlastberechnung von stationären und
dynamischen Berechnungsverfahren von
Niedrigstenergiegebäuden*

BACHELORARBEIT 1

Studierende Ines Metzger, 2110731006

Betreuer FH-Prof. DI Dr. Markus Leeb

Studiengang Smart Building – Nachhaltiges Bauen und energieeffiziente Gebäudetechnik

Salzburg, am 21.06.2023

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Des Weiteren versichere ich hiermit, dass ich die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungskommission weder im In- noch im Ausland vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

21.06.2023

.....
Datum



.....
Unterschrift

Zusammenfassung

*Insbesondere bei Niedrigstenergiegebäuden ist die genaue Heizlastberechnung für die Dimensionierung des Heizungssystems, da diese Gebäude eine geringe Heizlast haben. Die herkömmlichen Normberechnungen berücksichtigen jedoch keine solaren und internen Gewinne, somit werden die Heizungsanlagen auf den ungünstigsten Falldimensioniert. Das PHPP-Verfahren (Passive House Planning Package) und die Gebäudesimulation bieten eine alternative Heizlastberechnung an, die jedoch bei extremen Wetterbedingungen nicht mit der Norm mithalten kann. Daher wird empfohlen, die Normberechnung mit dem PHPP-Verfahren und der Gebäudesimulation zu kombinieren. In dieser Arbeit werden verschiedene Heizlastberechnungen miteinander verglichen. Der Vergleich zeigt, dass insbesondere die Gebäudesimulation nur anwendbar ist, wenn der/ die Berechner*in über Vorkenntnisse verfügt. Die Gebäudesimulation reagiert empfindlich auf viele Eingabedaten, insbesondere Klimadaten, und Eingabefehler können das Ergebnis verfälschen. Das PHPP-Verfahren bietet einen Mittelweg zwischen der Norm und der Simulation, wobei die Ergebnisse noch leichter nachvollziehbar sind, jedoch ein zusätzlicher Aufwand im Vergleich zur Normberechnung besteht. Die Vergleichsstudien bestätigen diese Ergebnisse.*

Schlüsselwörter: Niedrigstenergiegebäude, Überdimensionierung, Energieeffizienz, Passivhäuser, Heizlast

Abstract

The dimensioning of the heating system depends on an accurate heat load calculation, particularly in nearly zero-energy buildings where the heating load is low. However, conventional norm calculations do not take into account solar and internal gains, resulting in oversizing heating systems that are designed for worst-case scenarios that rarely occur. Therefore, the PHPP (Passive House Planning Package) method and building simulations are used to calculate more realistic heat flows dynamically. Nevertheless, alternative heat load calculations cannot match the norm when it comes to extreme weather conditions. Thus, it is recommended to combine the norm calculation with the PHPP method and building simulation. In this study, various heat load calculations are compared, and the comparison reveals that building simulation is particularly applicable when the calculator has prior knowledge and expertise. Building simulation is sensitive to numerous input data, especially climate data, and input errors can distort the results. The PHPP method offers a middle ground between the norm and simulation, providing results that are still relatively easy to comprehend, albeit with an additional effort compared to norm calculations. Comparative studies confirm these findings.

Key words: Nearly zero-energy building, Oversizing HVAC, energy efficiency, passive houses, heating load

Inhalt

1. Einleitung	1
1.1. Motivation	3
1.2. Forschungsfrage	3
1.3. Methode	3
1.4. Abgrenzung	4
2. Definitionen und Grundlagen der Heizlastberechnung	5
2.1. Niedrigstenergiehaus-Standard	5
2.1.1. Heizlast eines Niedrigstenergiegebäudes	6
2.2. Heizlastnormen	7
2.3. Heizlastberechnung nach ÖNORM H 7500-3	8
2.3.1. Randbedingungen	8
2.3.2. Transmissionswärmeverlust	9
2.3.1. Lüftungswärmeverlust	9
2.3.2. Wärmebrücken	10
2.3.3. Spezifische Wärmekapazität	10
2.3.4. Aufheizleistung	10
2.3.1. Gebäudeheizlast	10
2.4. Heizlastberechnung nach ÖNORM H 5056	11
2.4.1. Randbedingungen	11
2.4.2. Nennleistung	11
2.5. Heizlastberechnung nach ÖNORM H 12831-1	12
2.5.1. Randbedingungen	12
2.5.2. Transmissionswärmeverlust	13
2.5.3. Lüftungswärmeverlust	13
2.5.4. Wärmegewinne	13
2.5.5. Wärmebrücken	14
2.5.6. Spezifische Wärmekapazität	14
2.5.1. Aufheizleistung	14
2.6. Heizlastberechnung nach Simulation	15
2.6.1. KEP-IYTE-ESS	15
2.6.2. EnergyPlus	17
2.6.3. IDA ICE	17

2.7. Heizlastberechnung nach PHPP	19
2.7.1. Randbedingungen	19
2.7.2. Interne Wärmequellen	21
2.7.3. Wärmeverluste	21
2.7.4. Wärmegewinne	22
2.7.5. Maximale Heizwärmelast	22
2.7.6. Mit der Zuluft transportierbare Heizwärmelast	22
3. Vergleich unterschiedlicher Parameter.....	23
3.1. Vergleich der Berechnungsmethoden	23
3.2. Sensitivitätsanalyse	24
4. Vergleich unterschiedlicher Studien	26
4.1. BuildTog Gebäude	26
4.1.1. Bremen-Findorff	26
4.1.2. Darmstadt-Kranichstein	28
4.2. Heizlastermittlung für Passivhäuser mit Energy Plus	30
5. Fazit.....	32
6. Anhang	1
Abbildungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	1
Literaturverzeichnis	2

1. Einleitung

Um die Klimaziele des Pariser Abkommens und des europäischen "Green Deals" zu erreichen, ist es von entscheidender Bedeutung, verstärkt auf energieeffizientes Bauen zu setzen. Die Förderung von Energieeffizienz ist eine der wichtigsten Maßnahmen, um auch Abhängigkeit von importierten fossilen Brennstoffen zu reduzieren und die Nutzung erneuerbarer Energien sowie die Versorgungssicherheit zu erhöhen. Jedoch wird die Bedeutung der Energieeffizienz in bestehenden Planungs- und Investitionsprogrammen sowohl auf EU-Ebene als auch darüber hinaus oft unterschätzt. (European Commission, 2023c) (European Commission, 2023a) Seit Juli 2021 liegt eine überarbeitete Version der Energieeffizienzrichtlinie der Europäischen Union vor, die der Energieeffizienz Priorität einräumt. (European Commission, 2023a) Ziel des "Green Deals" ist es, die jährlichen energetischen Renovierungsraten in den nächsten zehn Jahren zu verdoppeln. Neben der Verringerung der Emissionen werden diese Renovierungen die Lebensqualität der Menschen, die in den Gebäuden leben und sie nutzen, verbessern und dürfen viele zusätzliche grüne Arbeitsplätze im Bausektor schaffen. (European Commission, 2023c) Dadurch bietet der Gebäudesektor eine bedeutende Möglichkeit einen Beitrag zur Reduzierung des Energieverbrauchs zu leisten, da er einen hohen Anteil am Gesamtenergieverbrauch ausmacht. Laut dem deutschen Umweltbundesamt ist der Energieverbrauch im Gebäudesektor rückläufig, was auf verbesserte Gebäudestandards und witterungsbedingte Einflüsse zurückzuführen ist. Allerdings fällt der Rückgang des Energieverbrauchs geringer aus als zuvor prognostiziert. (Umweltbundesamt, 2023)

Die haustechnischen Anlagen gewinnen dadurch mehr Bedeutung, da die Kosten sowohl in Bezug auf die Errichtungskosten als auch beim technischen Gebäudebetrieb (Inspektionen, Wartung und Instandhaltung) und der Instandsetzung, laut den Interviewpartnern von (Floegl & Ipser, 2014), hoch sind. (Floegl & Ipser, 2014, S. 17) Um die Energieeffizienz der Anlagen sowie den Ressourcenverbrauch zu optimieren gibt es Normen für die Auslegung von Heizungsanlagen. Die bestehenden Normen weisen häufig eine begrenzte Flexibilität und Anpassungsfähigkeit auf, wodurch sie manchen Projekten nicht gerecht werden. Sie beruhen oft auf veralteten Baustandards und gehen von selten auftretenden ungünstigen Bedingungen aus. Ein Problem besteht darin, dass Anlagen häufig überdimensioniert sind. Der Betrieb erfolgt meist im ineffizienten Teillastmodus, insbesondere bei überdimensionierten Wärmepumpen, was zu häufigen Ein- und Ausschaltzyklen führen kann und die Wartungs- und Instandhaltungskosten erhöht. Die Überdimensionierung führt auch zu einem übermäßigen Ressourcenverbrauch für ungenutzte Anlagen, was im Hinblick auf die Nachhaltigkeit bedenklich ist. Zudem ist eine Überdimensionierung unwirtschaftlich, da höhere Investitions- und Folgekosten das Interesse der Investoren und Bauherren verringert. (Grim-Schlink, Preisler & Stipsits, 2021, S. 3f)

Für die Heizlastberechnung bieten die Austrian Standards mehrere Normen für die stationäre Berechnung. Die ÖNORM H 7500 ist eine Berechnung der Norm-Raumheizlast und Norm-Gebäudeheizlast und dient als Auslegungsgrundlage von Wärmebereitstellungs- und -abgabesystemen. Der erste Teil dient zur genaueren Berechnung der Normheizlast und wird für Gebäude mit einem mittleren U-Wert von $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angewendet. Der dritte Teil stellt die vereinfachte Berechnung der Gebäudeheizlast dar. (ÖNORM H 7500-1, S. 3) Die ÖNORM H 12831 bietet auch eine Normberechnung der Heizlast im stationären Verfahren. Diese Norm aus dem Jahr 2018 wurde zurückgezogen die Vorgängerversion aus dem Jahr 2003 gilt als veraltet und somit entspricht die ÖNORM H 7500 aus dem Jahr 2015 Stand der Technik. (ÖNORM H 12831-1, S. 3) Eine weitere Methode ist das dynamische Verfahren mittels Gebäudesimulation, welche interne und solare Gewinne, sowie thermodynamische Vorgänge berücksichtigt. Mit diesem Verfahren kann ein Projekt detaillierter dargestellt werden und die Auslegung erfolgt realitätsnahe. (Equa Simulation AB, 2017) Eine Mischung aus stationären und dynamischen Verfahren liefert das Passivhaus Planungspaket (PHPP), welches mit einem übersichtlichen Tool eine Heizlastberechnung für Passivhäuser bietet. (Passivhaus Institut, 2021)

Einen wichtigen Aspekt der Berechnung stellen die Klimadaten dar. In Zeiten des Klimawandels ist es besonders wichtig aussagekräftige Klimadaten für die Auslegungen der Heizungsanlagen zu verwenden, da diese Berechnungen für die künftige Nutzung der Gebäude entscheidend sind. Die Norm-Außentemperatur, welche von den stationären Berechnungsverfahren verwendet wird, ist der tiefste Zwei-Tages-Mittelwert der Lufttemperatur, der zehn Mal in 20 Jahren erreicht oder unterschritten wird. In der Klimatologie wird ein Zeitraum von mindestens 30 Jahren verwendet, um das Klima in Bezug auf durchschnittliche Bedingungen, Abweichungen und Extremwerte zuverlässig zu prognostizieren, da sich das Wetter ständig ändert. Die Auswahl des Bezugszeitraums ist von großer Bedeutung, da ein Extremfall den gesamten Durchschnittswert erheblich beeinflussen kann. Es gibt jedoch keine eindeutig richtige Wahl für den Bezugszeitraum. (Stangl et al., 2021, S. 17f) Somit stellt sich die Frage, wie gut die Norm-Heizlastberechnungen für die Zukunft geeignet sind.

1.1. Motivation

Die Hauptaufgabe der Heizungsanlage besteht darin, eine spezifische Zone zu temperieren und dabei das Verhältnis zwischen Wärmeproduktion und Wärmeabgabe so einzustellen, dass Menschen sich darin wohlfühlen. (Gräff, 2013, S. 629) Somit ist die Heizung der wichtigste Teil der Anlagentechnik in einem Gebäude. Die Raumtemperatur trägt stark zu der subjektiven Befindlichkeit der Bewohner bei. Diese Arbeit soll das Bewusstsein für die unterschiedlichen Heizlastberechnungsmethoden schaffen. Weiters soll die Erkenntnis geschaffen werden welche Einflüsse unterschiedliche Heizlastberechnungen für Niedrigstenergiegebäude haben, um eine Überdimensionierung der haustechnischen Anlagen zu vermeiden.

1.2. Forschungsfrage

In dieser Arbeit wird folgende Forschungsfrage behandelt:

Welche Auswirkung hat die Berechnung der Heizlast durch ein dynamisches Verfahren im Vergleich zum stationären Verfahren bei Niedrigstenergiehäusern?

Hypothesen:

1. Das stationäre Heizlastberechnungsverfahren rechnet mit hohen Sicherheitszuschlägen und Defaultwerten, daher sind die Heizungsanlagen oft zu groß.
2. Durch die Verwendung einer dynamischen Heizlastberechnung kann die Heizlast genauer auf ein Projekt bezogen berechnet werden, wodurch ein realistischer Wert geliefert werden kann.
3. Das stationäre Verfahren basiert auf historischen Klimadaten und ist somit nur bedingt aussagekräftig für zukünftige Anforderungen an Gebäude.

1.3. Methode

Die Arbeit gibt im ersten Teil einen Überblick über die aktuelle Situation der Normheizlastberechnung sowie die Beschreibung relevanter physikalischer Kennwerte. Weiters werden verschiedene Simulationsverfahren und das Passivhaus Planungshandbuch erklärt. Im dritten Teil werden die Einflussparameter der stationären bzw. der dynamischen Verfahren gegenübergestellt. Es folgt eine Zusammenfassung einzelner Ergebnisse aus diversen Studien.

1.4. Abgrenzung

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die rechtlichen Bestimmungen in Bezug auf den Niedrigstenergiehaus-Standard sowie den Passivhaus-Standard, da die ÖNORM H 7500 auf Gebäude mit mittleren U-Werten über $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ beschränkt ist und somit für Gebäude mit einem hohen Baustandard nicht geeignet ist. Trotzdem ist die ÖNORM H 7500 der Standard für die Heizlastberechnung in Österreich. Diese Arbeit gibt einen Überblick über die aktuellen Heizlastberechnungen und beschränkt sich auf Anwendung für Niedrigstenergiegebäude.

2. Definitionen und Grundlagen der Heizlastberechnung

In diesem Kapitel werden die unterschiedlichen Berechnungsmethoden der Heizlast miteinander verglichen. Zuerst wird jedoch der Niedrigstenergiehaus-Standard erläutert.

2.1. Niedrigstenergiehaus-Standard

Im Jahr 2010 führte die EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) den Begriff „nearly zero energy building“ bzw. nZEB ein. Ziel der EPBD ist, dass jeder Neubau ab 2020 den Niedrigstenergiehausstandard erfüllt. In der Neufassung des Europäischen Parlaments wird das Niedrigstenergiegebäude als ein Gebäude definiert, welches die Energie, die es benötigt, selbst produziert oder die Energie aus lokalen erneuerbaren Quellen bezieht. (Europäisches Parlament, 2022, S. 2)

Die EPBD verpflichtet die EU-Mitgliedsstaaten zur Einführung des Niedrigstenergiehaus-Standards. In Österreich ist dafür das Institut für Bautechnik (OIB) zuständig. Die rechtlich verbindliche Umsetzung dieser Standards erfolgt in den Bautechnikverordnungen der einzelnen Bundesländer. (Ploß, 2021)

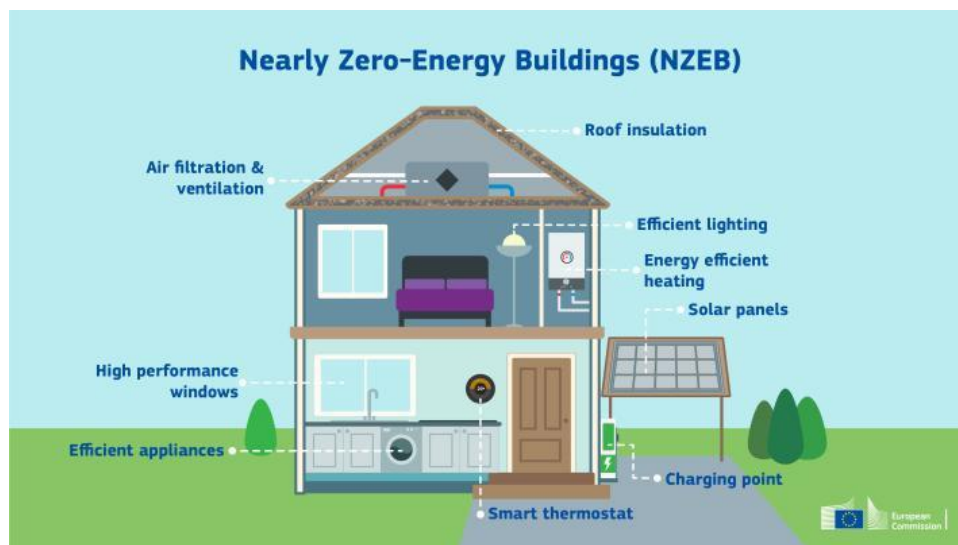


Abbildung 1 Niedrigstenergiehaus-Standard (European Commission, 2023b)

Es gelten folgende Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz für den Neubau ab 2020. (OIB 2014, S. 2)

Heizwärmebedarf	$HWB_{\max} = 16 \cdot (1 + 3,0 / l_c)$	[kWh/(m ² *a)]
		l_c Verhältnis A/V
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	$f_{GEE, \max} = 0,75$	[-]
Primärenergiebedarf	$PEB_{\max} = 160$	[kWh/(m ² *a)]
Kohlendioxidemissionen	$CO_{2\max} = 24$	[kg/(m ² *a)]

2.1.1. Heizlast eines Niedrigstenergiegebäudes

Um den Unterschied zwischen einem Bestandsgebäude und dem Niedrigstenergiehausstandard in Bezug auf die Heizlast zu verdeutlichen, wurde ein Bürogebäude in Shenyang in Bezug auf die Heizlast simuliert. Verglichen wurde das Gebäude im Nullenergiehausstandard und als Bestandsgebäude. Es wurde der 21. Jänner mit einer Außentemperatur von -22,3 °C um 6 Uhr und mit -4,2 °C um 13 Uhr gewählt. Die maximale Heizlast dieses Tages um 6 Uhr liegt bei dem Bestandsgebäude bei 116 kW und bei dem Nullenergiegebäude bei 22 kW. (Li, H. et al., 2015, S. 1506ff)

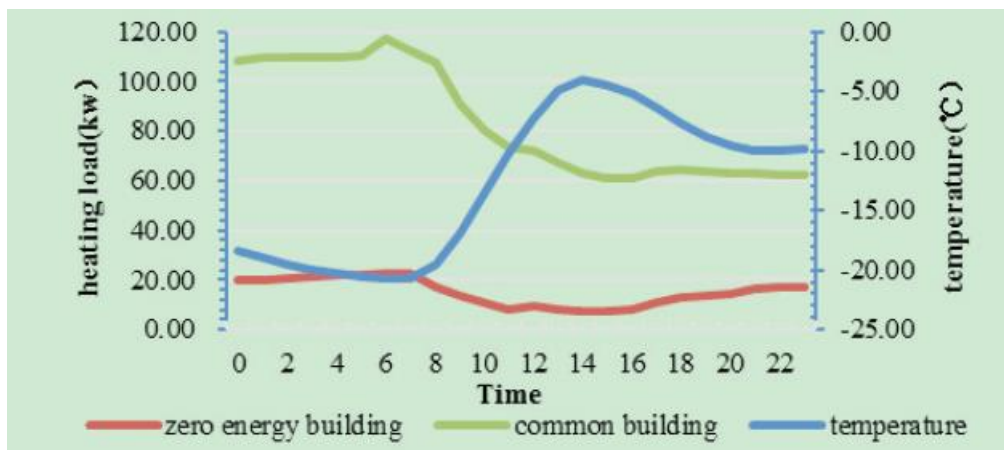


Abbildung 2 Heizlastvergleich nach (Li, H. et al., 2015, S. 1508)

Die Abbildung zeigt einen Heizlastvergleich der zwei verschiedenen Varianten in Abhängigkeit der Außentemperatur (blaue Kurve). Die rote Kurve stellt die den Heizlastverlauf des Nullenergiehausstandards dar, die grüne Kurve den Verlauf des Bestandsgebäudes. Man sieht deutlich den Unterschied der Heizlast zwischen einem Bestandsgebäude und dem Nullenergiehaus.

2.2. Heizlastnormen

In den folgenden Kapiteln werden die unterschiedlichen Heizlastberechnungsmethoden erläutert. Zuerst wird die ÖNORM H 7500 beschrieben, da diese Norm grundsätzlich in Österreich für die Heizlastberechnung verwendet wird. Es wird genauer auf den dritten Teil eingegangen, um die allgemeine Berechnungsmethode darzustellen. Danach folgt eine Beschreibung der Heizlastabschätzung der ÖNORM H 5056, welche für den Energieausweis relevant ist. Auf die ÖNORM H 12831-1 wird ebenfalls näher eingegangen. Zuletzt werden alternative Heizlastberechnungen nach dem PHPP und der Gebäudesimulation behandelt.

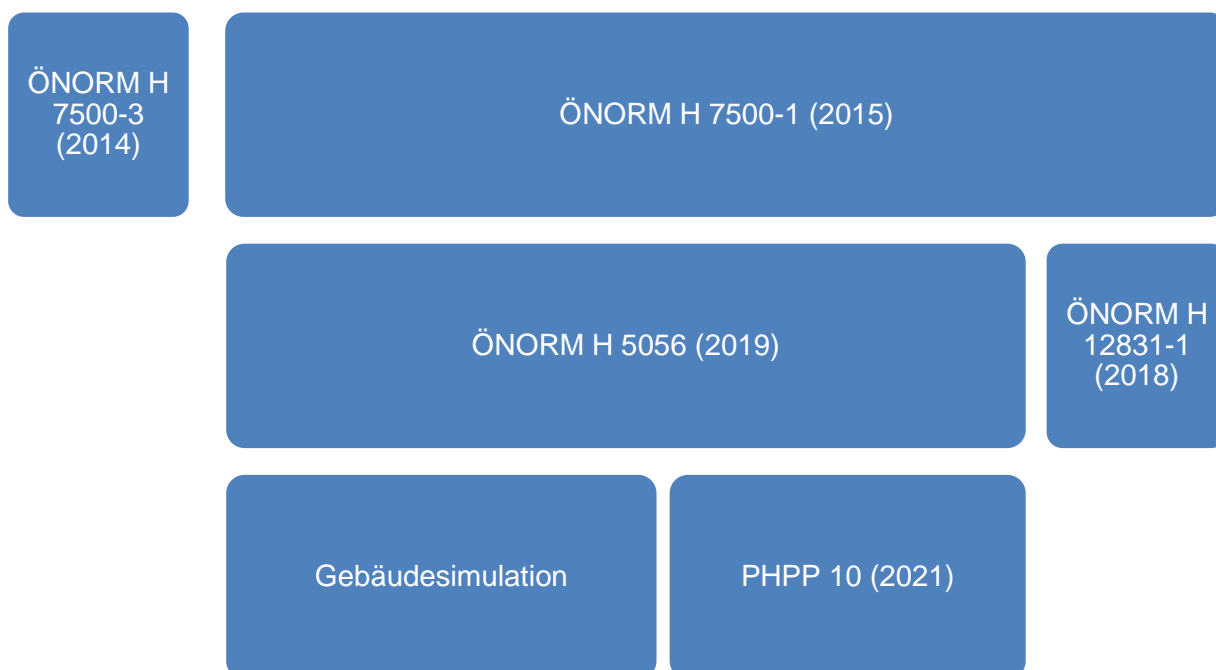


Abbildung 3 Darstellung der Heizlastberechnungsmethoden (eigene Darstellung)

Die Abbildung 3 zeigt folgende Heizlastberechnungsmethoden:

ÖNORM H 7500-1 Berechnung der Norm-Wärmeverluste und der Norm-Heizlast. Für Gebäude mit einem mittleren U-Wert von $\geq 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die Berechnung erfolgt stationär unter Annahme konstanter Stoffwerte (Temperatur, Kennwerte). (ÖNORM H 7500-1, S. 3)

ÖNORM H 7500-3 Ist die vereinfachte Berechnungsmethode nach der ÖNORM H 7500-1 und berechnet die Norm-Gebäudeheizlast. (ÖNORM H 7500-1, S. 3)

ÖNORM H 5056 Berechnung des Heiztechnikenergiebedarfs durch die Warmwasser- und Raumheizwärmebedarfe. Die Heizlast wird durch die Nennleistung des Heizungssystems abgeschätzt. (ÖNORM H 5056-1, S. 3)

ÖNORM H 12831-1	Derzeit nicht gültig, sonst würde sie die ÖNORM H 7500 ersetzen. Eine stationäre Heizlastberechnungsmethode mit Erweiterungen zur ÖNORM H 7500. (ÖNORM H 12831-1, S. 3)
Gebäudesimulation	Berechnet die Heizlast mit dynamischen Berechnungsmethoden.
PHPP	Ist eine stationäre Berechnungsmethode, welche auf Passiv- und Niedrigstenergiehäuser spezialisiert ist.

2.3. Heizlastberechnung nach ÖNORM H 7500-3

Die ÖNORM H 7500-3 dient zur vereinfachten Heizlastberechnung. Sie ist an die ÖNORM H 7500-1 angelehnt, welche für Gebäude mit einem mittleren U-Wert von $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ausgelegt ist. Zur Berechnung der Gebäudeheizlast werden Räume mit unterschiedlicher Norminnentemperatur, Mindestluftwechsel, n_{50} -Wert oder bei unterschiedlichen Bauweisen in Nutzungszonen unterschieden. Es werden nicht die einzelnen Räume berechnet, sondern das gesamte Gebäude. Ihr Anwendungsbereich umfasst die Überprüfung der Dimensionierung bestehender Wärmebereitstellungssysteme sowie eine schnelle Abschätzung der Gebäudeheizlast bei Neubauten. Die Gebäudeheizlast wird mithilfe des statischen Hüllflächenverfahrens berechnet, das sich nur auf die Verluste durch die Gebäudehülle in der konditionierten Zone bezieht. Aus diesem Grund sind für die Anwendung dieser Norm lediglich die Daten der Gebäudehülle erforderlich, die Warmwasserbereitung wird nicht berücksichtigt (ÖNORM H 7500-3, S. 3ff)

2.3.1. Randbedingungen

Temperaturen

Bei der ÖNORM H 7500-3 wird die Norm-Außentemperatur (θ_e) gemäß ÖNORM B 81110-5 als meteorologische Grundlage herangezogen. Die Norminnentemperatur (θ_{int}) beträgt $20 \text{ }^\circ\text{C}$. (ÖNORM H 7500-3, S. 7f)

Volumen

Es werden nur Räume für die Berechnung der Gebäudeheizlast verwendet, die konditioniert sind bzw. mit einem Wärmeabgabesystem versorgt werden können. Die Außenabmessung erfolgt durch die Bestimmungen der ÖNORM B 1800 und somit wird das Bruttovolumen für die Berechnung verwendet. (ÖNORM H 7500-3, S. 9ff)

Mindestluftwechsel

Der Mindestluftwechsel (n_{\min}) ist abhängig von der Gebäudenutzung. Beispielsweise beträgt n_{\min} in Einfamilienhäuser $0,4 \text{ h}^{-1}$ und in Bürogebäuden $1,2 \text{ h}^{-1}$. (ÖNORM H 7500-3, S. 17)

2.3.2. Transmissionswärmeverlust

Grundsätzlich wird unter folgenden Wärmeverlusten unterschieden:

- Wärmeverluste an die äußere Umgebung
- Wärmeverluste an nicht konditionierte Gebäudebereiche
- Wärmeverluste an das Erdreich
- Wärmefluss zwischen konditionierten Gebäudezonen unterschiedlicher Temperatur

Der Transmissionswärmeverluste können allgemein mit der Gleichung 1 für beliebige Wärmeverluste (x) berechnet werden. (ÖNORM H 7500-3, S. 13)

$$\Phi_{T,x} = H_{T,e} * (\theta_{\text{int}} - \theta_e) \quad [\text{W}] \quad (1)$$

$$\Phi_{T,x} \quad \text{Transmissionwärmeverlust} \quad [\text{W}]$$

$$H_{T,e} \quad \text{Transmissionswärmeverlustkoeffizient} \quad [\text{W/K}]$$

2.3.1. Lüftungswärmeverlust

Die Lüftungswärmeverluste berechnen sich aus den Wärmeverlusten der natürlichen Lüftung und einer eventuell vorhandenen mechanischen Lüftung. Dabei werden sowohl die Wärmeverluste aufgrund des hygienischen Mindestluftwechsels als auch durch Infiltration berücksichtigt. Für die Berechnung wird der größere der beiden Werte herangezogen. Die Lüftungswärmeverluste berechnen sich aus dem Lüftungswärmeverlustkoeffizient und den internen und externen Temperaturen. Es fließen die berechneten Werte des hygienischen Mindestluftwechsels und der Infiltration ein. (ÖNORM H 7500-3, S. 16ff)

$$\Phi_V = H_V * (\theta_{\text{int}} - \theta_e) \quad [\text{W}] \quad (2)$$

$$\Phi_V \quad \text{Lüftungswärmeverlust} \quad [\text{W}]$$

$$H_V \quad \text{Lüftungswärmeverlustkoeffizient} \quad [\text{W/K}]$$

2.3.2. Wärmebrücken

Der Wärmebrückenzuschlag kann entweder detailliert oder in Abhängigkeit des Baujahrs angenommen werden. Vor 1990 beträgt ΔU_{WB} 0,1 W/(m²K) und nach 1990 0,05 W/(m²K). (ÖNORM H 7500-3, S. 12)

2.3.3. Spezifische Wärmekapazität

Die wirksame spezifische Wärmekapazität wird je nach Gebäudemasse unterteilt. Diese wird nur berücksichtigt, wenn eine Aufheizleistung berechnet wird. (ÖNORM H 7500-3, S. 20)

- Leichte Gebäudemassen $c_{\text{wirk}} = 15 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$
- Mittelschwere Gebäudemassen $c_{\text{wirk}} = 35 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$
- Schwere Gebäudemassen $c_{\text{wirk}} = 50 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$

2.3.4. Aufheizleistung

Wenn der Heizbetrieb unterbrochen wird, beispielweise durch eine Nachtabenkung, ist es erforderlich, eine zusätzliche Aufheizleistung zur Gebäudeheizlast hinzuzufügen. Jedoch verwenden moderne Wärmebereitstellungssysteme häufig bereits eine entsprechende Regelung. In solchen Fällen entfällt die Notwendigkeit einer zusätzlichen Aufheizleistung. (ÖNORM H 7500-3, 18ff)

2.3.1. Gebäudeheizlast

Die Netto-Gebäudeheizlast setzt sich aus den Transmissionswärmeverlusten und den Lüftungswärmeverlusten des Gebäudes zusammen. (ÖNORM H 7500-3, S. 20)

$$\Phi_{\text{HL, Netto}} = \Phi_{\text{T}} + \Phi_{\text{V}} \quad [\text{W}] \quad (3)$$

$$\Phi_{\text{HL, Netto}} \quad \text{Nettogebäudeheizlast} \quad [\text{W}]$$

$$\Phi_{\text{T}} \quad \text{Transmissionswärmeverlust} \quad [\text{W}]$$

$$\Phi_{\text{V}} \quad \text{Lüftungswärmeverlust} \quad [\text{W}]$$

2.4. Heizlastberechnung nach ÖNORM H 5056

Die ÖNORM H 5056-1 wird verwendet, um den Heiztechnikenergiebedarf zu berechnen, der sowohl die Verluste der Warmwasserbereitung als auch die Verluste der Raumheizung umfasst. Zusätzlich werden die Erträge der Photovoltaik und Solarthermie sowie die Wärmerückgewinnung des Vorheizregisters berücksichtigt. Dies dient zur Erstellung eines Energieausweises gemäß OIB-Richtlinie 6. (ÖNORM H 5056-1, S. 6) (ÖNORM H 5056-1, S. 91)

2.4.1. Randbedingungen

Die Sollinnentemperatur eines konditionierten Raumes beträgt 22 °C. (ÖNORM B 8110-5, S. 3) Die Flächenbestimmung erfolgt nach ÖNORM B 1800. (OIB, S. 4)

2.4.2. Nennleistung

In der ÖNORM H 5056-1 wird die Heizlast durch die Nennleistung abgeschätzt. Die Nennleistung ist die höchste Dauerleistung des Heizungssystems laut Herstellerangaben. (ÖNORM H 5056-1, S. 47f)

$$P_{H,KN} = \frac{(L_T + L_V) * (\theta_{i,h} - \theta_{ne})}{1000} \quad [\text{kW}] \quad (4)$$

$P_{H,KN}$ Nennwärmeleistung des Heizkessels für Raumheizung

L_T Transmissionsleitwert [W/K]

L_V Lüftungsleitwert (ÖNORM B 8110-5) [W/K]

$\theta_{i,h}$ Solltemperatur des beheizten Raumes [°C]

θ_{ne} Normaußentemperatur [°C]

Der Lüftungsleitwert wird nach ÖNORM B 8110-5 mit der Luftwechselzahl für Fensterlüftung berechnet. (ÖNORM H 5056-1, S. 47f) Im Gegensatz zur ÖNORM H 7500 wird in der ÖNORM H 5056 die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage berücksichtigt. (ÖNORM H 5056-1, S. 90ff)

2.5. Heizlastberechnung nach ÖNORM H 12831-1

Die Heizlastberechnung gemäß ÖNORM H 12831-1 ist ein stationäres Verfahren, das verwendet wird, um die Heizlast einzelner Räume zu berechnen. Anhand der ermittelten Heizlasten der einzelnen Räume wird dann die Gesamtheizlast des Gebäudes ermittelt. (ÖNORM H 12831-1, S. 3)

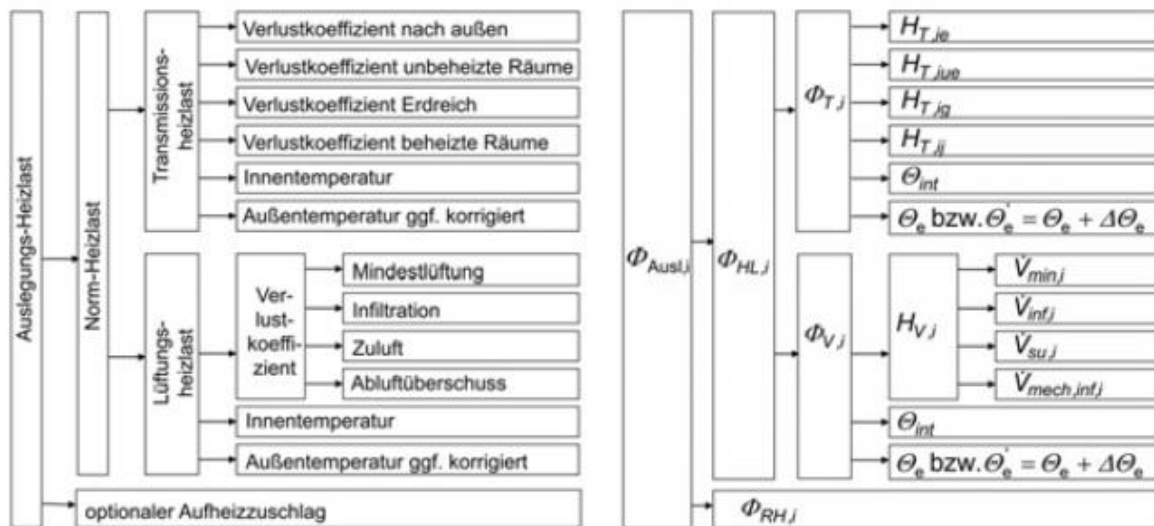


Abbildung 4 Zusammenhänge bei der ausführlichen Berechnung (Jagnow, 2013, S. 1188)

Die Abbildung 4 zeigt die Zusammenhänge der Heizlastberechnung nach ÖNORM H 12831-1. Die Auslegungsheizlast unterteilt sich in die Norm-Heizlast und den optionalen Aufheizzuschlag. Um die Norm-Heizlast berechnen zu können, berechnet man zuerst die Verlustkoeffizienten mit den Innen- und Außentemperaturen, um auf das Ergebnis der Transmissionsheizlast zu kommen. Für die Lüftungsheizlast werden neben den Verlustkoeffizienten auch die Innen- und Außentemperatur benötigt.

2.5.1. Randbedingungen

Temperaturen

Die Norm-Außentemperatur der ÖNORM B 8110-5 wird herangezogen. Die Innentemperatur wird nach Nutzung den einzelnen Räumen zugeordnet. (ÖNORM H 12831-1, S. 22f)

Mindestluftwechsel

Der Mindestluftwechsel ist bei Wohnräumen sowie Lagerräumen mit $0,5 \text{ h}^{-1}$ und bei Räumen mit erhöhter Nutzung wie Küchen, Büros und Sanitärräumen bei $1,0$ bzw. 2 h^{-1} anzusetzen. (ÖNORM H 12831-1, S. 16f)

Volumen

Die Bauteilflächen werden als Nettoflächen angesetzt. Die Außenbauteilabmessungen beziehen sich auf die Außenkante. (ÖNORM H 12831-1, S. 5ff)

2.5.2. Transmissionswärmeverlust

Die Transmissionswärmeverluste berechnen sich durch die Innen- und Außentemperatur und den Wärmeverlusten der einzelnen Zonen. Transmissionswärmeverluste werden mit der Gleichung 10 oder dem Anhang D aus der ÖNORM EN 12831-1:2018 berechnet. (Jagnow, 2013, S. 1189) (ÖNORM H 12831-1, S. 12ff)

2.5.3. Lüftungswärmeverlust

In der ÖNORM EN 12831-1 2018 wird die Wärmerückgewinnung der mechanischen Lüftungsanlage im Gegensatz zur Vorgängerversion 2003 miteinberechnet. (Grim-Schlink et al., 2021, S. 12) Die Lüftungswärmeverluste werden durch die Berechnungsmethoden der ÖNORM EN 12831-1:2018 im Abschnitt 6.3.3 berechnet.

2.5.4. Wärmegewinne

In der nationalen Norm werden solare oder interne Gewinne nicht berücksichtigt. (ÖNORM H 12831-1, S. 22) In der ÖNORM EN 12831-1:2018 werden Wärmegewinne, wenn diese gleichzeitig unter Norm Außenbedingungen auftreten, berücksichtigt. Die Vorgängernorm aus dem Jahr 2003 berücksichtigt die Gewinne nicht. (Grim-Schlink et al., 2021, S. 12)

2.5.5. Wärmebrücken

Die Wärmebrückenkoeffizienten werden je nach Baujahr und Minimierung der Wärmebrücken wie folgt berücksichtigt:

vor 1990 und alle anderen Gebäude	0,10 W/(m ² K)
nach 1990	0,05 W/(m ² K)
Gebäude mit innenliegender Wärmedämmung, welche von Massivbauteilen durchstoßen werden	0,15 W/(m ² K)
Gebäude, die eine gute Minimierung der Wärmebrücken aufweisen	0,02 W/(m ² K)

Mit einem entsprechenden Nachweis sind auch bessere Werte möglich. (ÖNORM H 12831-1, S. 11)

2.5.6. Spezifische Wärmekapazität

Die wirksame spezifische Wärmekapazität wird je nach Gebäudemasse nach (ÖNORM H 12831-1, S. 15) wie folgt unterteilt:

- Leichte Gebäudemassen $c_{\text{wirk}} = 15 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$
- Mittelschwere Gebäudemassen $c_{\text{wirk}} = 35 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$
- Schwere Gebäudemassen $c_{\text{wirk}} = 50 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$

Die spezifische Wärmekapazität ist nur relevant, wenn die Aufheizleistung berechnet wird.

2.5.1. Aufheizleistung

Nur wenn die Aufheizleistung gleichzeitig unter Normaußenbedingungen auftritt, wird sie berücksichtigt. In der Vorgängernorm 2003 wurde dies bei allen Räumen mit unterbrochenem Heizbetrieb einbezogen. (Grim-Schlink et al., 2021, S. 12) Es besteht jedoch die Möglichkeit, dies optional mit dem Auftraggeber zu vereinbaren. (Jagnow, 2013, S. 1192)

2.6. Heizlastberechnung nach Simulation

Die dynamische Gebäudesimulation bietet eine alternative Möglichkeit zur Heizlastberechnung. Die Verwendung von Informationen der Räume in einer Simulation ermöglicht realistischere Ergebnisse, die in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber genauer eingegrenzt werden können. Dabei werden Referenz-Klimadatenätze berücksichtigt und verschiedene Betriebsbedingungen untersucht, um zu berechnen, ob der Komfort unter verschiedenen Bedingungen gewährleistet werden kann. Die Simulation kann auch genutzt werden, um die Dimensionierung der Haustechnik entsprechend den Komfortanforderungen zu berechnen. Die Simulation ist jedoch komplex und erfordert genaue Eingabedaten, um Baustandards, interne Wärmequellen, Klimadaten und Verluste genau abbilden zu können. Eine Änderung der Eingabedaten hat auch Auswirkungen auf das Ergebnis. Um den Heizbedarf zu simulieren, wird zunächst das Gebäude in der Simulationssoftware modelliert und der Heizenergiebedarf unter Berücksichtigung der Komfortbedingungen berechnet. Anschließend wird das Heizungssystem in Kombination mit der Wärmeabgabe modelliert, wobei auch Gleichzeitigkeitsfaktoren berücksichtigt werden können. Das Ergebnis zeigt, ob das Heizungssystem zu einem bestimmten Zeitpunkt den Komfortanforderungen nicht mehr gerecht wird. Dies ermöglicht die Überprüfung, ob das Heizungssystem richtig dimensioniert ist. Da sich das Klima ständig verändert, ist es wichtig, Klimaprognosen mit einzubeziehen. Insbesondere bei Wärmepumpen ist der Kühlbedarf von Bedeutung, weshalb auch ungünstige Bedingungen simuliert werden sollten. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Simulation die Normberechnung nicht ersetzt und lediglich als Hilfsmittel im Planungsprozess dient. (Grim-Schlink et al., 2021, S. 34ff)

2.6.1. KEP-IYTE-ESS

Die KEP-IYTE-ESS Software ist ein Gebäudeenergiesimulations-Tool. Es berücksichtigt den gesamten Gebäudebereich, teilt ihn jedoch in Zonen auf. Dabei werden Wetterdaten vom Nationalen Meteorologischen Institut der entsprechenden Städte verwendet. Die Software gibt dem Benutzer zwei Ergebnisse: den jährlichen Energieverbrauch pro Quadratmeter und die jährlichen Treibhausgasemissionen pro Quadratmeter. Um aus diesen Ergebnissen die Heizlastergebnisse zu erhalten, berechnet die Software 17 zusätzliche Berechnungsmethoden. (KEP-SDM, 2008, S. 118)

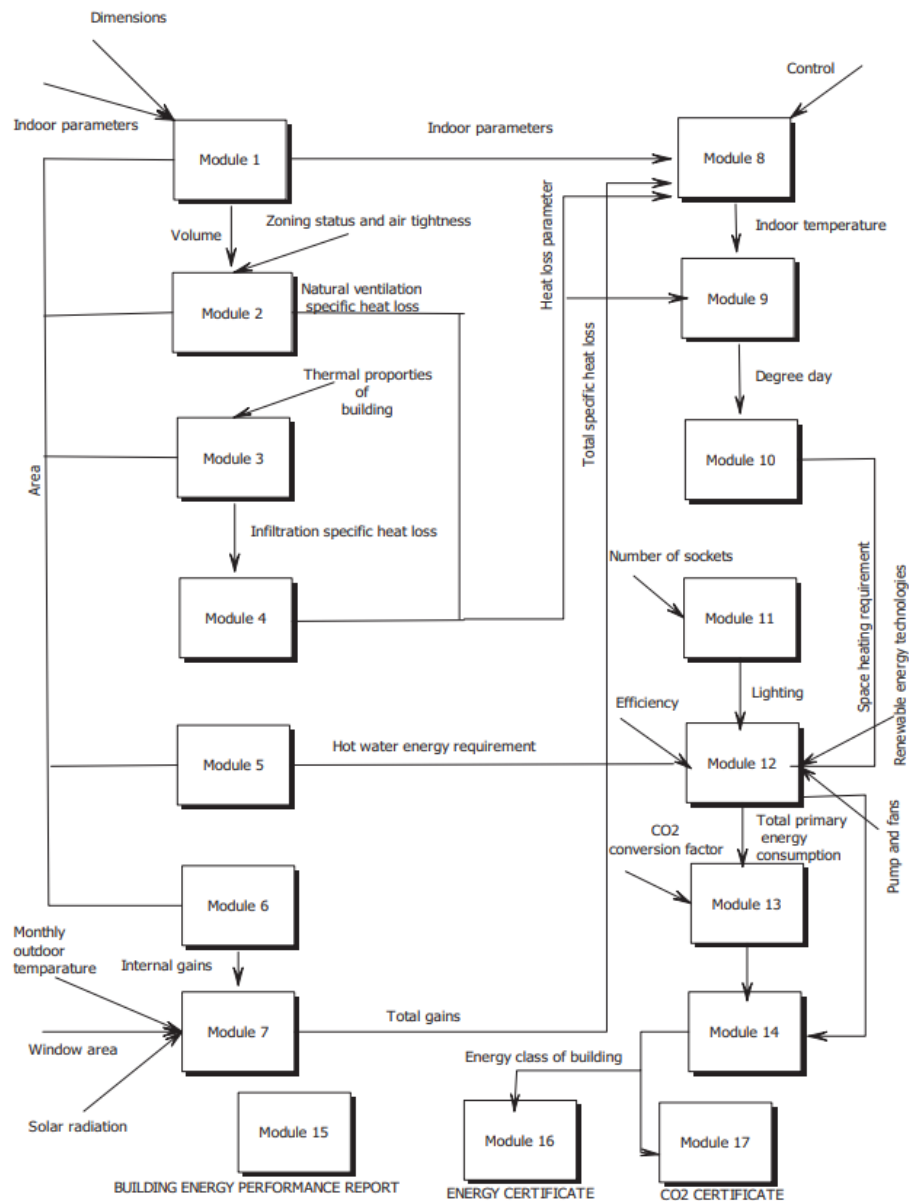


Abbildung 5 Eingabeparameter (Turhan, Kazanasmaz, Uygun, Ekmen & Akkurt, 2014, S. 118)

Die Abbildung zeigt, die 17 Berechnungsmethoden der Software, damit die Heizlast für ein Gebäude berechnet werden kann. Es werden folgende Eingabedaten nach (Turhan et al., 2014, S. 118) berücksichtigt:

- Geometrie
- Interne und solare Gewinne
- Lüftungsrate
- Wärmeverlust
- Spezifische Wärmeverluste und Wärmeverlustparameter
- Warmwasser
- Mittlere Innentemperatur
- Gradtagszahlen

- Raumwärmebedarf
- Beleuchtungsenergiebedarf
- Gesamt – und Primärenergieverbrauch
- CO₂ Emissionen
- Energie – und CO₂ Zertifikate

2.6.2. EnergyPlus

Dieses Simulationstool rechnet in 15 Minutenschritten. Folgende Parameter werden im Gegensatz zu stationären Berechnungen verwendet (Januševičius, Jaraminienė & Misevičiūtė, 2012, S. 4)

- Thermische Masse
- Optische Eigenschaften der Verglasung
- Akkumulation von Wärmegewinnen
- Einfluss von Wind und Feuchtigkeit auf das Gebäude

Die EnergyPlus Software ist dafür ausgelegt, die Temperatur- und Komfortbedingungen zu bestimmen. (Europäisches Parlament, 2022, S. 69) Die Klimadaten werden von ASHRAE bezogen. Interne Gewinne beinhalten Geräte, Personen und die Beleuchtung. (Bigladder Software, 2017)

2.6.3. IDA ICE

IDA ICE ist eine detaillierte, dynamische und multizonale Simulationssoftware.

Klimadaten

Es gibt mehrere Möglichkeiten zur Eingabe der Klimadaten.

1. In Bezug auf die Bemessung von Kühl- oder Heizlasten werden für statistische Zwecke sogenannte Auslegungstage verwendet, bei denen es sich um extrem heiße oder kalte Wetterbedingungen handelt. Diese Daten stammen aus einer ASHRAE-Datenbank.
2. Benutzer haben die Möglichkeit, vereinfachte Auslegungstagdaten einzugeben. Diese speziellen Daten werden auch genutzt, um Auslegungsdaten aus früheren Versionen von IDA ICE zu übernehmen.
3. Für umfassende Ganzjahressimulationen werden jährlich ermittelte Klimadaten verwendet, die diese eine Darstellung normaler Wetterbedingungen liefern und oft im Stundentakt erfasst werden. (Equa Simulation AB, 2017)

Wärmeverluste und Wärmebrücken

Lüftungswärmeverluste werden durch Lüftung und Infiltration in der Zeit der maximalen Heizzufuhr berechnet. (Equa Simulation AB, 2018, S. 49ff) Der Gesamtverlustfaktor in den Wärmebrücken der Zone wird als Summe der Verlustfaktoren in den Brücken berechnet. Die Größen der Elemente werden standardmäßig aus der Geometrie der Zone ermittelt. Zusätzliche Verluste können auch berücksichtigt werden. (Equa Simulation AB, 2017)

Wärmegewinne

Als interne Gewinne werden die Raumausstattung [W/m^2], Bewohner [Personen/ m^2] und die Beleuchtung [W/m^2] berücksichtigt. Für diese Parameter können Zeitpläne hinterlegt werden. (Equa Simulation AB, 2017, S. 22) Für die Bewohner wird auch der MET und CLO-Faktor berücksichtigt. Die Raumausstattung unterteilt sich je nach Energieträger in elektrisch, fossil und Fernwärme. Bei der Beleuchtung wird auch die Lichtausbeute in [lm/W] erfasst. (Equa Simulation AB, 2023)

Heizlastsimulation

Es gibt eine eigene Simulation nur für die Heizlast in der IDA ICE Software. Es können ein paar Einstellungen wie den Anteil der internen Gewinne, der Klimadaten und den Zeitpunkt, auf den die Simulationsergebnisse berechnet werden sollen, extra definiert werden. Als Ergebnis werden mehrere Tabellen und Diagramme präsentiert. (Equa Simulation AB, 2023)

2.7. Heizlastberechnung nach PHPP

Die Heizlastberechnung nach dem PHPP wird für die Berechnung von Passivhäusern verwendet. Aufgrund der Tatsache, dass Passivhäuser eine geringe Heizleistung aufweisen und das herkömmliche Normverfahren diese Leistung um etwa das Dreifache überschätzt, hilft die Verwendung des PHPP-Verfahrens dabei, die Heizlast realistischer zu berechnen und abzubilden. (Bisanz, S. 1) Dabei bezieht diese Heizlastberechnung, im Gegensatz zur Normberechnung, die solaren und internen Wärmegewinne ein. (Passivhaus Institut, 2012, S. 108)

2.7.1. Randbedingungen

Klimadaten und Temperaturen

Es werden laut (Bisanz, S. 1) zwei Szenarien für die Berechnungsmethode berücksichtigt. Ein kalter, sonniger Wintertag und ein mäßig kalter Tag ohne solare Gewinne.

- Szenario 1: tiefere Außentemperatur und höhere Einstrahlungswerte
- Szenario 2: höhere Außentemperatur und geringere Einstrahlungswerte

Kalter, klarer Tag		Moderater, trüber Tag	
Transmissionswärmeverluststrom	Solare Wärmegewinne	Transmissionswärmeverluststrom	Solare Wärmegewinne
+	+	+	+
Lüftungswärmeverluststrom	Interne Wärmequellen (Pers. und Geräte)	Lüftungswärmeverluststrom	Interne Wärmequellen (Pers. und Geräte)
Wärmeverlustströme - Wärmegewinnströme		Wärmeverlustströme - Wärmegewinnströme	
= Heizleistung kalter Tag		= Heizleistung trüber Tag	
Heizlast = max (Heizleistung kalter Tag; Heizleistung trüber Tag)			

Abbildung 6 Tabellenblatt Heizlast Wetterlagen (Passivhaus Institut, 2012, S. 114)

Im PHPP wird zwischen den zwei Wetterlagen unterschieden. Dabei werden für die zwei Szenarien die Wärmeverlustströme (Transmissionswärmeverluststrom und Lüftungswärmeverluststrom) sowie die Wärmegewinne (solare Wärmegewinne und interne Wärmegewinne) bilanziert. Der höhere Wert dieser zwei Tage ergibt dann die Heizlast. (Passivhaus Institut, 2012, S. 114)

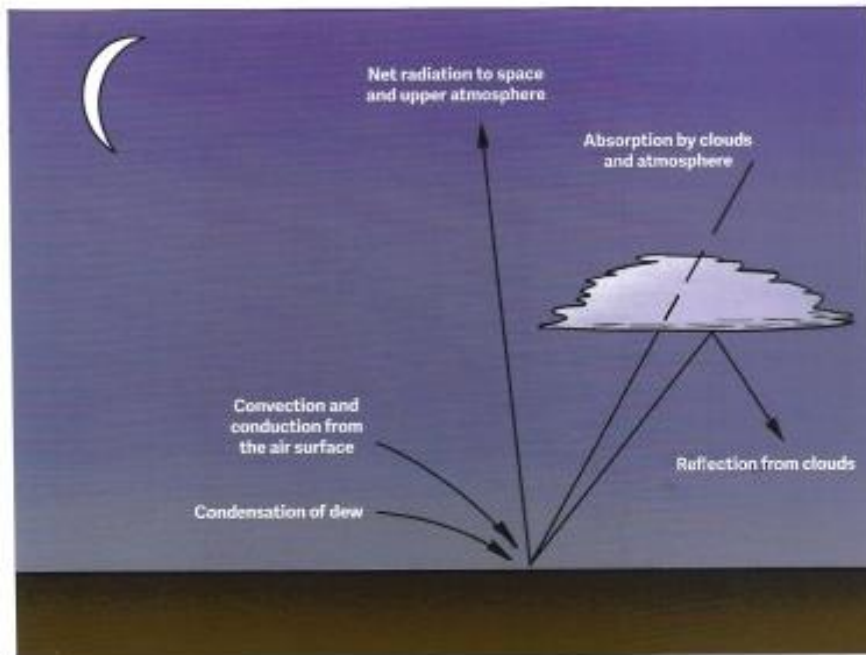


Abbildung 7 Reflexion und Radiation (Pagen, 2022, S. 17)

Bei bedecktem Himmel kann die Strahlung des Bodens nicht über die Atmosphäre entweichen. Damit wird der Abkühlungsprozess verlangsamt und Tau oder Frost kann nur bei klarem Himmel entstehen. (Pagen, 2022, S. 17) Bei klarem Himmel sind die Temperaturen geringer, jedoch gibt es solare Erträge. Somit sind die zwei oben genannten Wetterlagen realistisch.

Im PHPP gibt es für die Klimadaten, welche durch dynamische Simulation ermittelt werden, ein eigenes Tabellenblatt. Das PHPP gibt viele Klimadatensätze für verschiedene Orte an, damit wird die mittlere Außentemperatur nach Monat sowie die Solarstrahlung für jede Himmelsrichtung angegeben werden.

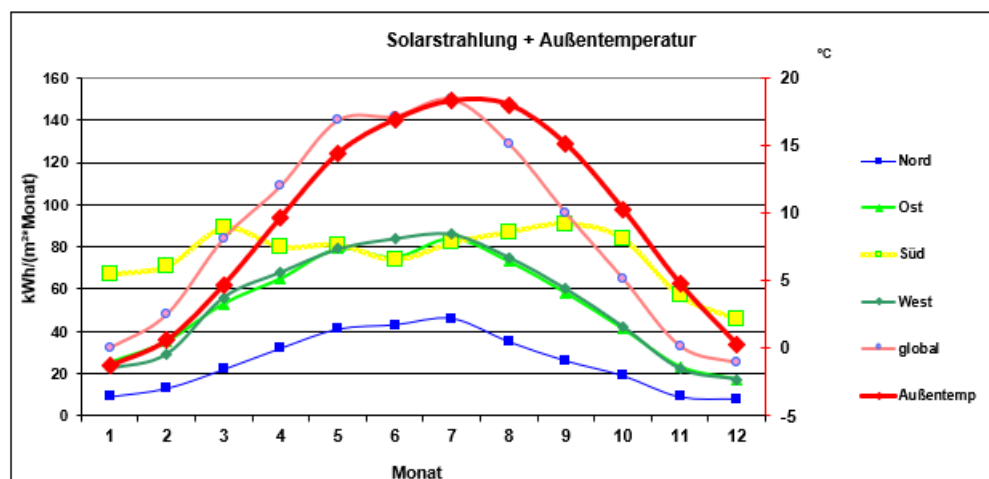


Abbildung 8 Solarstrahlung und Außentemperatur (Passivhaus Institut, 2021)

In der Abbildung 8 sieht man ein Liniendiagramm von Salzburg. Hier wird die Außentemperatur pro Monat angegeben sowie die Solarstrahlung je nach Himmelsrichtung.

Im PHPP wird die Innenraumtemperatur mit 20°C angesetzt. (Passivhaus Institut, 2012, S. 93)

Volumen

Die Bauteilmaße, die im PHPP verwendet werden, sind Außenmaße. Im PHPP wird oft die Energiebezugsfläche verwendet. Diese Fläche bezieht sich auf die Nutzfläche der thermischen Hülle des Gebäudes. Anhand der Nutzung der einzelnen Zonen werden diese unterschiedlich gewichtet. (Passivhaus Institut, 2012, S. 37ff)

Mindestluftwechsel

Der Mindestluftwechsel soll 0,3 h⁻¹ nicht unterschreiten. (Passivhaus Institut, 2012, S. 212)

2.7.2. Interne Wärmequellen

Hier wird ein Standardwert von 1,6 W/m² angenommen, damit das Gebäude auch mit einer geringeren Personenanzahl beheizt werden kann. (Passivhaus Institut, 2012, S. 116)

2.7.3. Wärmeverluste

Die Wärmeverluste berechnen sich aus der Summe der Bauteilkennwerte und den Kennwerten des Lüftungswärmeverlustes. (Passivhaus Institut, 2012, S. 116)

$$P_v = \sum (A_i * U_i * f_T * \Delta\theta_1 \text{ bzw. } \Delta\theta_2) + V_L * n_L * c_{LUFT} * \Delta\theta_1 \text{ bzw. } \Delta\theta_2 \text{ [W]} \quad (5)$$

A_i	Bauteilfläche	[m ²]
U_i	Bauteil U-Wert	[W/(m ² K)]
f_T	Faktor, normalerweise 1,0	
$\Delta\theta_1$	Temperaturdifferenz des Bauteils zur Wetterlage 1	[K]
$\Delta\theta_2$	Temperaturdifferenz des Bauteils zur Wetterlage 2	[K]
V_L	Luftvolumen	[m ³]
n_L	Energetisch wirksamer Luftwechsel	[h ⁻¹]
c_{LUFT}	Wärmekapazität der Luft	[Wh/(m ³ K)]

2.7.4. Wärmegewinne

Die Wärmegewinne ergeben sich aus den Kennwerten der lichtdurchlässigen Öffnungen, der internen Wärmelast und der Energiebezugsfläche. (Passivhaus Institut, 2012, S. 117)

$$P_G = \sum (A_{F,i} * g_i * r_i * G_1 \text{ bzw. } G_2) + p_i * A_{EB} \quad [W] \quad (6)$$

$A_{F,i}$	Fensterfläche	[m ²]
g_i	Gesamtenergiedurchlassgrad	[%]
r_i	Reduktionsfaktor (Verschattung)	[-]
G_1	orientierungsabhängige Solareinstrahlung für Wetterlage 1	[kWh/m ²]
G_2	orientierungsabhängige Solareinstrahlung für Wetterlage 2	[kWh/m ²]
p_i	Interne spezifische Wärmelast	[W/m ²]
A_{EB}	Energiebezugsfläche	[m ²]

2.7.5. Maximale Heizwärmelast

Die maximale Heizlast berechnet sich durch den Abzug der Wärmeverluste von den Wärmegewinnen. Da die Verluste und Gewinne für beide Wetterlagen berechnet werden, wird am Ende der maximale Wert herangezogen. (Passivhaus Institut, 2012, S. 117)

$$P_H = \max (P_v - P_G) \quad (7)$$

P_v	Wärmeverluste
P_G	Wärmegewinne

Der Warmwasserbedarf wird im PHPP als Standardwert mit 25 Litern pro Person auf 60 °C angesetzt. (Passivhaus Institut, 2012, S. 141)

2.7.6. Mit der Zuluft transportierbare Heizwärmelast

Da ein klassisches Passivhaus mit der Zuluft beheizbar ist, gibt es im Handbuch Berechnungsmethoden, um die mit der Zuluft transportierbare Heizwärmelast und die Beheizbarkeit über die Zuluft zu ermitteln. (Passivhaus Institut, 2012, 117&118)

3. Vergleich unterschiedlicher Parameter

In diesem Kapitel werden die, in den Grundlagen erwähnten, Heizlastberechnungsmethoden in einer Tabelle unter ausgewählten Parametern miteinander verglichen. Weiters wird eine Sensibilitätsanalyse, bezogen auf die Heizlastberechnung, beschrieben.

3.1. Vergleich der Berechnungsmethoden

	Normberechnung	Simulation	PHPP
Allgemein	Stationär, H7500-1 raumweise, H7500-3 eine Zone, H 12831 mehrere Zonen	Dynamisch, Zonen nach Bedarf	Stationär, eine Zone
Eingabe	Viele Defaultwerte Minimaler Eingabe- aufwand	Detaillierung der Eingabe- hängt vom Nutzer ab, hoher Aufwand	Kaum Defaultwerte erhöhter Eingabeauf- wand
Flexibilität	Keine bis minimal	Maximal	Genug für Wohnbau
Anwendung	H 7500 für Gebäude U-Wert $\geq 0,5$ W/(m ² K) H 12831 grundsätzlich für alle Gebäude	Für alle Gebäude	Spezialisiert auf Pas- siv- und Niedrigs- tenergiegebäude
Volumen	H 7500-1 Netto H 7500-3 Brutto H 5056 Brutto	Netto	Energiebezugsfläche netto
Klimadaten	ÖNORM B 8110-5	Aus verschiedenen Quellen	Klimadaten hinterlegt und Meteonorm
Wärmege- winne	Werden nicht berück- sichtigt	Intern und solar	Intern und solar
Wärmerück- gewinnung der Lüftungs- anlage	H 5056 wird berück- sichtigt, H 7500 wird nicht berücksichtigt	Wird berücksichtigt	Wird berücksichtigt
Wärmebrü- cken	Wärmebrücken zu- schlag	In mehreren Stufen angeben	Wärmebrücken zu- schlag

Speicherfähigkeit	Defaultwert abhängig von Gebäudemasse	Wird auf Basis der Wärmekapazität und der Rohdichte berechnet	Wird auf Basis der Wärmekapazität und der Rohdichte berechnet
Einarbeitung	4-8 h	75-100h	10-15 h
Eingabe EFH	1,5-2 h	4,5-6,5 h	6-8 h
Kosten einmalig	2000€	340€	2000€

Tabelle 1 Vergleich der Berechnungsmethoden - Eigene Darstellung in Anlehnung an (Equa, 2015) Flexibilität, Klimadaten, Wärmegewinne, Wärmebrücken, Einarbeitung, Eingabe EFH und Kosten einmalig, (ÖNORM H 7500-3)(Grim-Schlink et al., 2021) (Passivhaus Institut, 2012) (Oberroither, 2017) Allgemein, Eingabe, Volumen, Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage verwendet.

Die Heizlastberechnung nach Norm ist konservativ und verwendet hohe Defaultwerte. Das kann zur Überdimensionierung der Heizungsanlage führen. Trotz allem ist die Normberechnung einfach und wenig aufwendig. Das Passivhaus Planungspaket ist vor allem bei Gebäuden mit niedrigem Heizwärmebedarf genau und besonders für diese Gebäude entwickelt. Das PHPP-Tool verwendet Simulationen, validierte Messwerte und Erfahrungen sowie Defaultwerte. Damit ist das Tool übersichtlich, benutzerfreundlich und lieferte realistische Werte. Die Simulationsprogramme liefern viele Ergebnisse bezogen auf das gesamte Gebäude sowie auf einzelne Zonen. Damit kann man viele Szenarien simulieren. Diese Programme sind jedoch kompliziert und man braucht viel Erfahrung. (Equa, 2015)

3.2. Sensitivitätsanalyse

Das nicht nur die Berechnungsmethode, sondern auch die Eingabedaten entscheidend für das Ergebnis ist, sieht man in den folgenden Abbildungen. Die Studie (Turhan et al., 2014) verglich nicht nur die Berechnungsmethoden sondern auch die Wichtigkeit der Eingabeparameter. Sie führte eine Sensitivitätsanalyse durch, um die kritischen und wichtigen von den weniger einflussreichen Parametern zu unterscheiden.

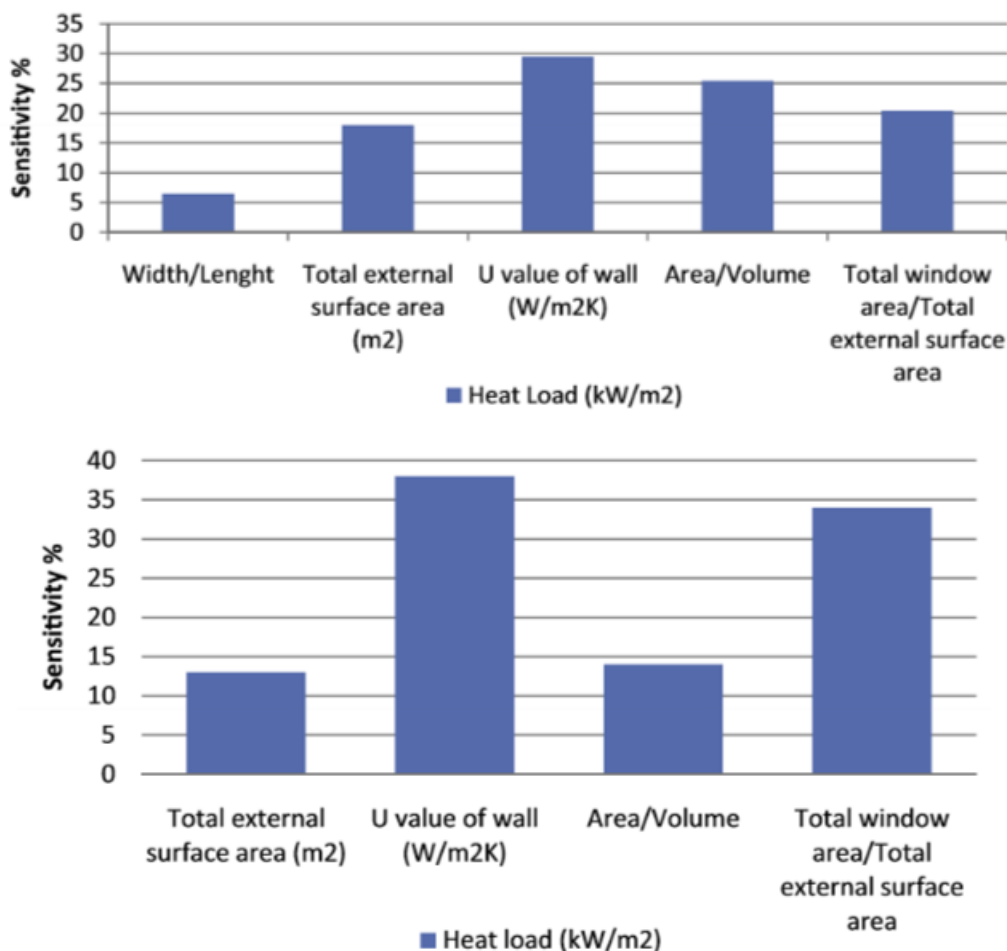


Abbildung 9 Sensibilitätsanalyse Ergebnisse von fünf bzw. vier Eingabeparameter (Turhan et al., 2014, S. 124)

In Abbildung 9 wird die Analyse des Empfindlichkeitsmodells dargestellt. Zuerst wurden fünf Parameter untersucht, um die Wichtigkeit zu analysieren. Die obere Abbildung zeigt, dass das Verhältnis von Fläche zu Volumen, die Gesamtaußenfläche, der U-Wert der Wände und das Verhältnis von Gesamtfensterfläche zu Gesamtaußenfläche die Heizlast am meisten beeinflussen. (Turhan et al., 2014, S.124)

Die Abbildungen zeigen, dass die Genauigkeit der Eingabedaten ein wichtiger Aspekt in der Heizlastberechnung ist. Um eine dynamische Simulation von Gebäuden durchzuführen, sind detaillierte Gebäude- und Umweltparameter als Eingangsdaten notwendig. Es ist jedoch oft schwierig und zeitaufwendig, solche Parameter für bestehende Gebäude zu beschaffen und manchmal sogar unmöglich. Wenn nicht genügend Eingangsdaten verfügbar sind, kann dies zu ungenauen Simulationsergebnissen führen. (Turhan et al., 2014, S. 124)

4. Vergleich unterschiedlicher Studien

Dieses Kapitel bezieht sich auf verschiedene Studien in Bezug auf die Heizlast. Es werden Studien beschrieben, die die Berechnungsergebnisse mit Monitoringergebnissen vergleichen und somit eine Aussage über Realitätsnähe der Berechnungsmethoden treffen können.

4.1. BuildTog Gebäude

In dieser Studie wurden die Monitoringergebnisse von zwei Passivhäusern mit den Berechnungen verglichen. Die untersuchten Gebäude werden mit Fernwärme versorgt. Der Fernwärmeeanschluss sorgt für die Beheizung und der Warmwasserversorgung. Es wurden zentrale Lüftungsgeräte verbaut. Für die Datenerfassung zeichnet ein zentraler Messrechner Daten auf. Die zentrale Haustechnik und Messwerte aus den Wohnungen werden erfasst. (Peper, 2021b, S. 4) (Peper, 2021a, S. 4)

4.1.1. Bremen-Findorff

Dieses Passivhaus hat 16 Wohnungen, welches insgesamt 1476 m² Wohnfläche beinhaltet. (Peper, 2021b, S. 4)

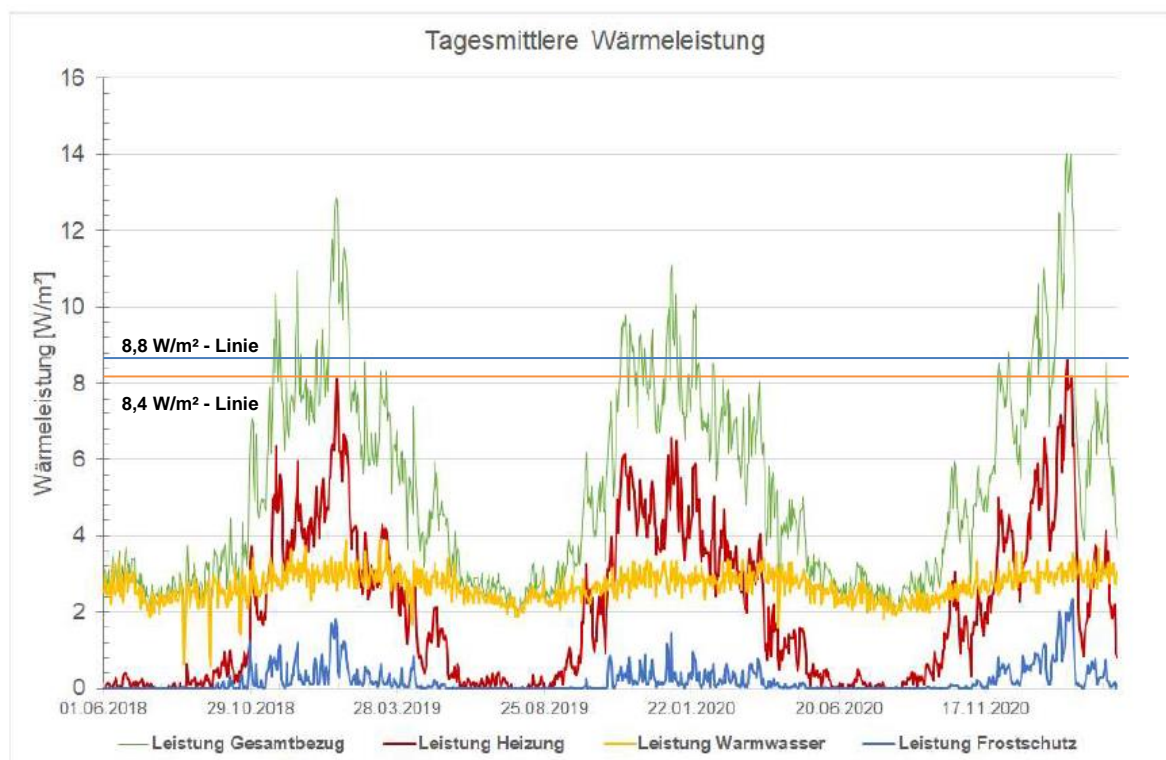


Abbildung 10 Spezifische Leistung der Wärmeanwendungen als Tagesmittelwerte im Verlauf der drei Messjahre. (Peper, 2021b, S. 23)

In Abbildung 10 sind die tagesmittleren Messwerte der vier verfügbaren Wärmehähler zu sehen, die für die punktuelle Beheizung des Gebäudes mit einer Heizleistung von 8 W/m^2 eingesetzt wurden. Die PHPP-Berechnung der Zertifizierung ergab, dass bei einer Raumtemperatur von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ eine Heizleistung von $8,4 \text{ W/m}^2$ und bei einer gemessenen Raumtemperatur von $20,9 \text{ }^\circ\text{C}$ im Winter 2019/2020 eine Heizleistung von $8,8 \text{ W/m}^2$ erforderlich ist. Diese Ergebnisse stimmen mit den Messwerten überein. (Peper, 2021b, S. 23) Der Warmwasserbedarf wird im PHPP als Standardwert mit 25 Litern pro Person auf $60 \text{ }^\circ\text{C}$ angesetzt. (Passivhaus Institut, 2012, S. 141)

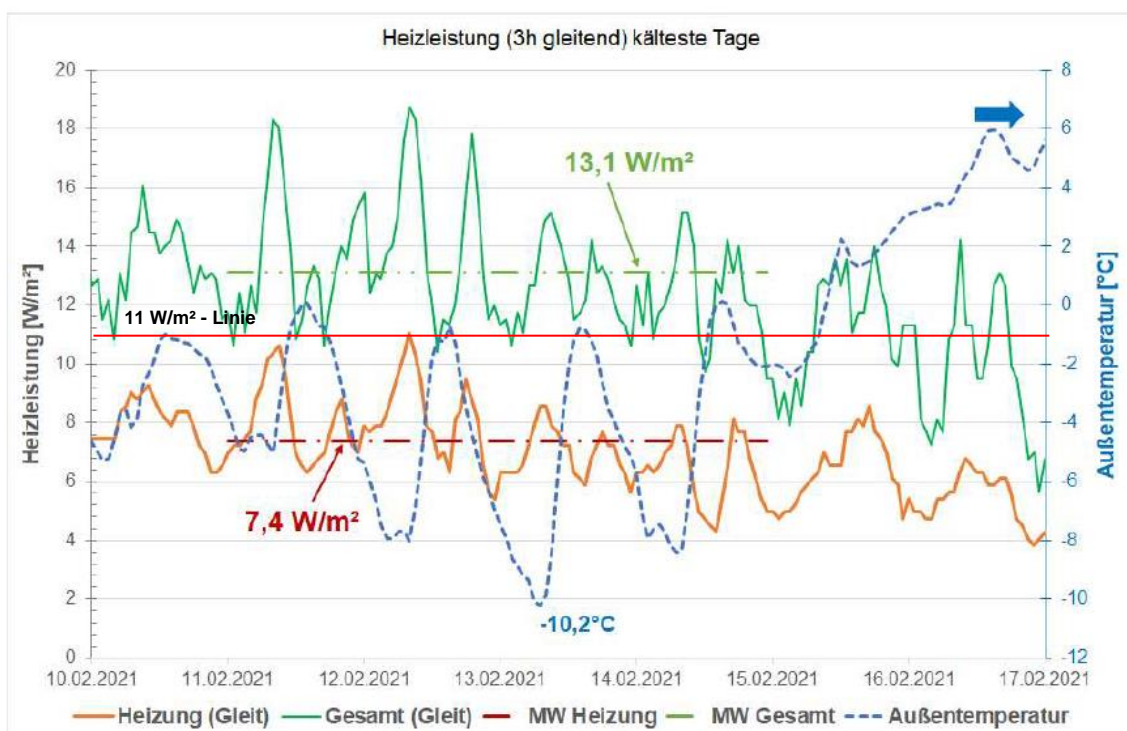


Abbildung 11 Heizleistungen (3h-Mittelwert) im Zeitraum der niedrigsten Temperatur (Peper, 2021b, S. 24)

Um das Verhalten der Heizleistung während der Kälteperiode im Februar 2021 zu analysieren, wurden die gleitenden 3-Stunden-Mittelwerte der Stundendaten betrachtet. Die Abbildung zeigt die Heizleistung der Heizung und den Mittelwert sowie die Versorgung aller thermischen Anwendungen im gesamten Gebäude und den Mittelwert davon. Dabei ergaben sich sehr niedrige Messwerte, wobei in zwei Spitzen maximal 11 W/m^2 erreicht wurden. Über die gesamte Kälteperiode hinweg lag der Mittelwert lediglich bei $7,4 \text{ W/m}^2$. (Peper, 2021b, S. 24)

4.1.2. Darmstadt-Kranichstein

Das Passivhaus umfasst 37 Wohnungen mit einer Wohnfläche von 3495 m². (Peper, 2021a, S. 4)

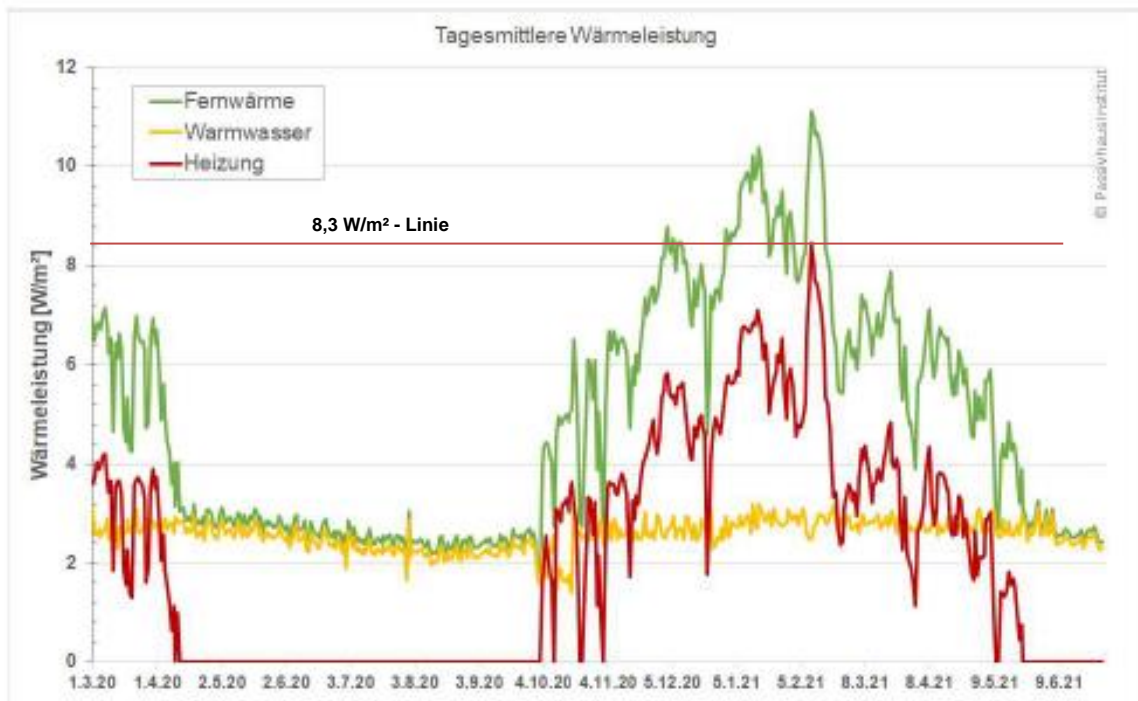


Abbildung 12 Spezifische, tagesmittlere Heizleistungen der drei Wärmezähler (Peper, 2021a, S. 13)

Die Grafik in Abbildung 12 zeigt die täglichen Durchschnittswerte der drei verfügbaren Wärmezähler. Üblicherweise erfordert die Beheizung des Gebäudes eine Heizleistung, die weit unterhalb von 8 W/m² liegt, jedoch wird diese Leistung einmalig kurzzeitig überschritten. Die PHPP-Berechnung der Zertifizierung ergab, dass eine Heizleistung von 9,1 W/m² bei einer Raumtemperatur von 20 °C und von 9,6 W/m² bei einer erhöhten Raumtemperatur von 21,0 °C erforderlich ist, was mit den gemessenen Werten übereinstimmt. (Peper, 2021a, S. 13)

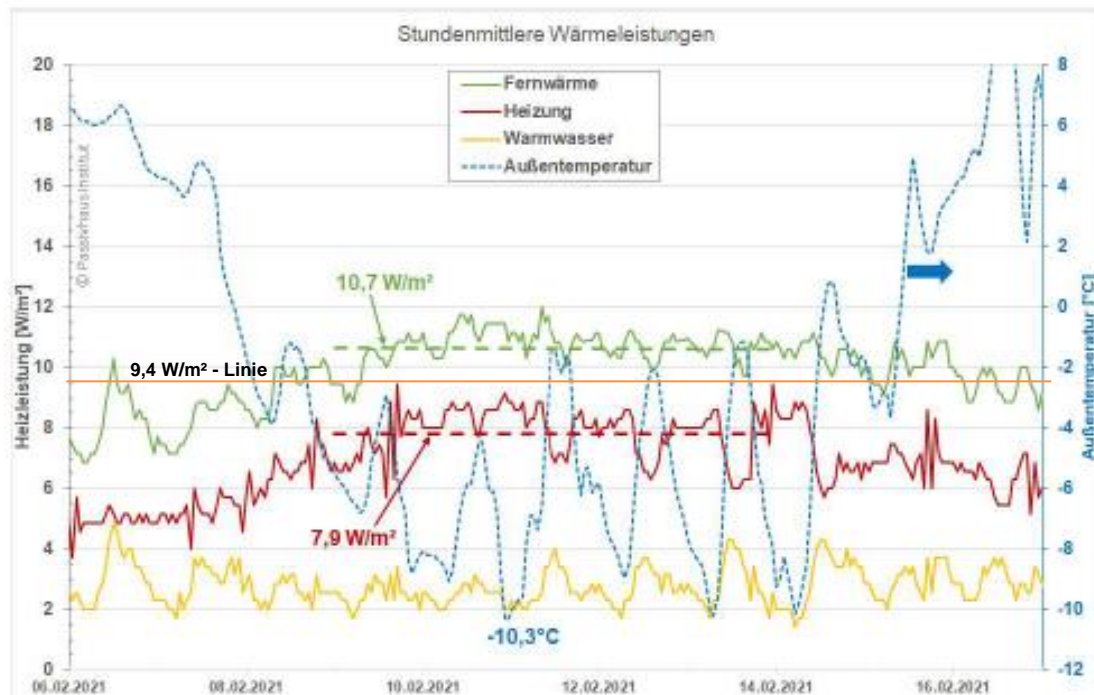


Abbildung 13 Spezifische, stundenmittlere Heizleistung für Fernwärme, Heizung und Warmwasserbereitung. (Peper, 2021a, S. 15)

Während der Kälteperiode um den Zeitpunkt mit der niedrigsten Außentemperatur, die vom 9. bis zum 15. Februar 2021 dauerte, wurden die Stundenmittelwerte der Heizleistung untersucht und in Abbildung 13 dargestellt. Obwohl die Heizleistung in zwei Spitzen den maximalen Wert von $9,4 \text{ W/m}^2$ erreicht, zeigen die Messwerte insgesamt sehr niedrige Werte, was auf die hohe thermische Qualität des Gebäudes hinweist. Der Mittelwert der Heizleistung während der gesamten Kälteperiode beträgt lediglich $7,9 \text{ W/m}^2$. (Peper, 2021a, S. 15)

4.2. Heizlastermittlung für Passivhäuser mit Energy Plus

Die Studie von (Januševičius et al., 2012) beschäftigt sich mit den verschiedenen Berechnungsmethoden der Heizlast. Es wird zwischen Normberechnungen, der Berechnung mittels PHPP und der Gebäudesimulation unterschieden. Als Normberechnung wird die STR 2.09.04:2008 aus Litauen verwendet. (Januševičius et al., 2012) Die nationalen Regelungen entsprechen der Normheizlastberechnung in Litauen die Berechnungen sind vergleichbar mit der ÖNORM H 7500. (STR 2.09.04:2008)

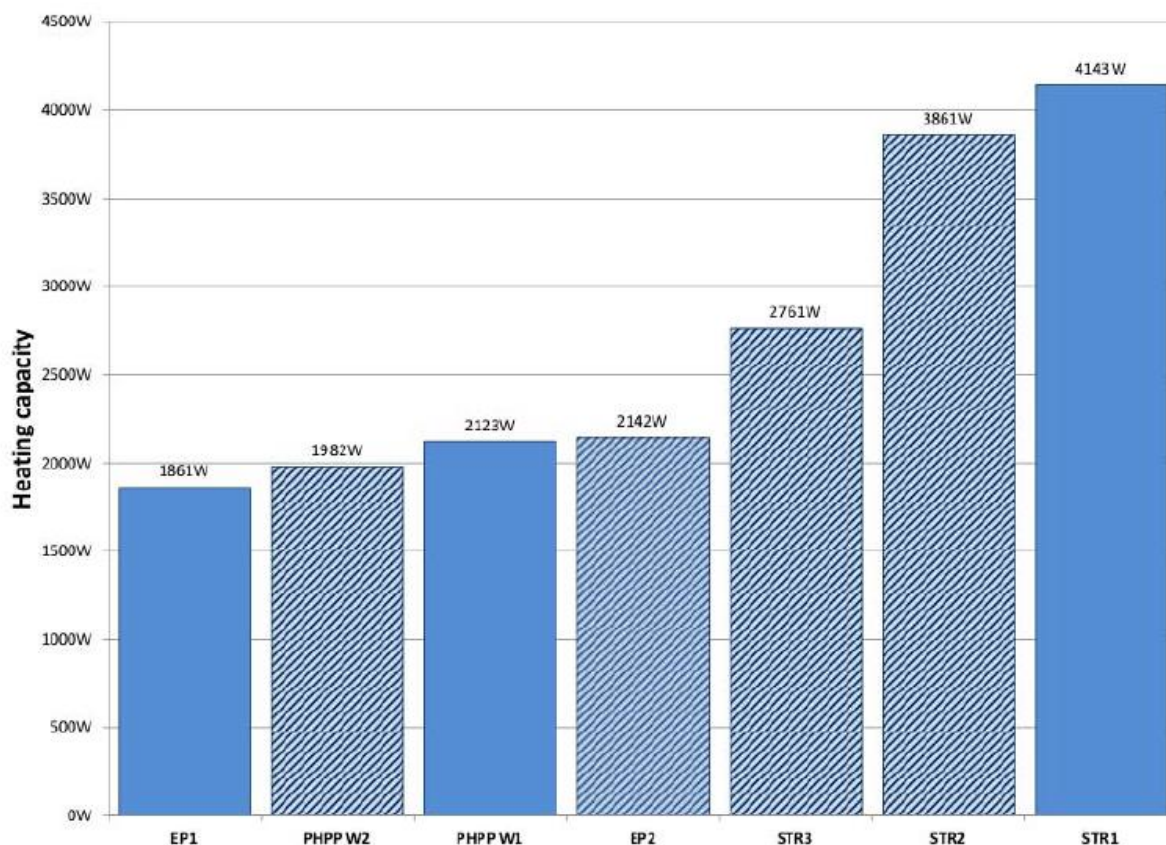


Abbildung 14 Vergleich von evaluierten Heizlastergebnissen (Januševičius et al., 2012)

Die Abbildung zeigt die Ergebnisse verschiedener Heizlastberechnungen nach (Januševičius et al., 2012)

- STR1 Heizlastberechnung nationale litauische Regelungen
- STR2 STR1 mit internen Gewinnen
- STR3 STR1 mit korrigierter Infiltrationsberechnung nach EN ISO 13790
- PHPP W1 Heizlast nach W1 Wetter (Außentemperatur -19,3 °C)
- PHPP W2 Heizlast nach W2 Wetter (Außentemperatur -14 °C)
- EP1 Heizlast nach EnergyPlus
- EP2 Heizlast nach EnergyPlus ohne interne Gewinne

In der Abbildung 14 ist zu erkennen, dass das Standardverfahren STR1 die höchste Heizlast aufweist. Wenn die internen Gewinne, wie in STR2 berechnet, miteinbezogen werden, dann wird die Heizlast in diesem Beispiel um 7 Prozent reduziert. Bei korrigierter Infiltrationsberechnung nach EN ISO 13790 (STR3) macht die Heizlast zwei Drittel der Normberechnung (STR1) aus. Wenn man die Heizlastberechnung laut PHPP berechnet, dann ist das Ergebnis von PHPP W1 um fast die Hälfte geringer und PHPP W2 um mehr als die Hälfte geringer. Die Heizlastergebnisse von Energy Plus fallen am geringsten aus bzw. liegen zwischen den Normberechnungen und dem PHPP-Verfahren.

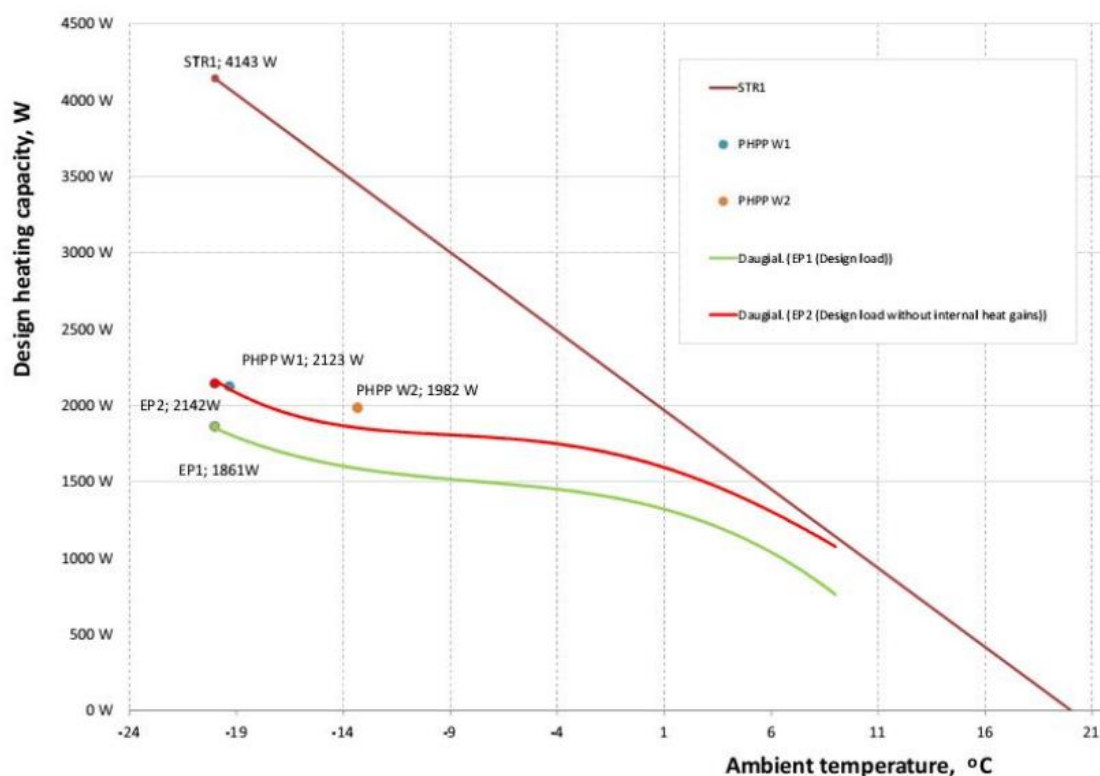


Abbildung 15 Auslegungsheizlast zur Umgebungstemperatur (Januševičius et al., 2012)

Die Abbildung zeigt die Auslegungsheizlast in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur. Die stationäre Berechnung rechnet mit einem linearen Verlauf. Das PHPP-Verfahren berechnet zwei Wetterlagen und die EnergyPlus Software zeigt einen nicht linearen Verlauf, einmal mit und ohne interne Gewinne.

5. Fazit

Die Normberechnung ist eine stationäre Methode mit vielen Defaultwerten, um den Eingabeaufwand zu verringern. Sie dient dem Nachweis für Behörden und ermöglicht den Vergleich vieler Gebäude. Allerdings ist sie nicht flexibel oder auf individuelle Projekte anwendbar. Sie verwendet historische Klimadaten der letzten 20 Jahre und berücksichtigt keine innere oder solare Wärmegewinne. Die ÖNORM H 7500 ist für einen mittleren U-Wert von $\geq 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ausgelegt, weshalb sie für den Niedrigstenergiehausstandard (U-Werte zwischen $0,1 - 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) nicht geeignet und weicht häufig von der Realität ab. Im Gegensatz dazu erfordert das PHPP-Verfahren selbst in der stationären Version mit Defaultwerten mehr Wissen für die Eingabe. Es ist ein übersichtliches Werkzeug für Passivhäuser, das simulierte Klimadaten verwendet und mit zwei Wetterlagen rechnet. Es berücksichtigt auch innere und solare Wärmegewinne sowie die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlagen. und erfordert jedoch einen höheren Eingabeaufwand. Die Gebäudesimulation ist dynamisch und ermöglicht die Berechnung vieler Parameter für verschiedene Zonen. Es ist sehr detailliert, was jedoch auch zu hoher Fehleranfälligkeit führen kann. Die Simulation eignet sich für detaillierte Entscheidungen und verwendet simulierte Klimadaten aus verschiedenen Quellen. Die Softwares enthält wenige Defaultwerte, allerdings ist hierfür viel Aufwand und Wissen erforderlich, da kleine Parameter große Auswirkungen haben können.

Die verschiedenen Studien zeigen, dass sich das PHPP-Verfahren bewährt hat und realitätsnahe Ergebnisse liefert, da die Wärmeströme detaillierter analysiert werden. Trotzdem gilt auch für dieses Verfahren wie für die Gebäudesimulation, dass es für extreme Wettersituationen ein erhöhtes Risiko gibt. Deshalb ist die Auswahl der Klimadaten sowie die wichtigsten Parameter (U-Wert und Fensterfläche) entscheidend, da die Gebäudesimulation auf diese Faktoren sensibel ist. (Zavrl & Stegnar, 2017, S. 59) (Januševičius et al., 2012)

Es ist erkennbar, dass die Normberechnung wichtig für die Heizlastabschätzung ist, jedoch ist es für den Neubau vor allem für Niedrigstenergiehäuser und Passivhäuser wichtig, dass mittels PHPP und Gebäudesimulation eine weitere Abschätzung gemacht wird. Somit ist die Wahrscheinlichkeit der Überdimensionierung geringer. Dadurch wirken sich die Gebäudesimulation und das PHPP-Tool positiv auf die Heizungsanlagendimensionierung aus.

6. Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Niedrigstenergiehaus-Standard (European Commission, 2023b)	5
Abbildung 2 Heizlastvergleich nach (Li, H. et al., 2015, S. 1508)	6
Abbildung 3 Darstellung der Heizlastberechnungsmethoden (eigene Darstellung).....	7
Abbildung 4 Zusammenhänge bei der ausführlichen Berechnung (Jagnow, 2013, S. 1188).....	12
Abbildung 5 Eingabeparameter (Turhan, Kazanasmaz, Uygun, Ekmen & Akkurt, 2014, S. 118)	16
Abbildung 6 Tabellenblatt Heizlast Wetterlagen (Passivhaus Institut, 2012, S. 114)	19
Abbildung 7 Reflexion und Radiation (Pagen, 2022, S. 17).....	20
Abbildung 8 Solarstrahlung und Außentemperatur (Passivhaus Institut, 2021)	20
Abbildung 9 Sensibilitätsanalyse Ergebnisse von fünf bzw. vier Eingabeparameter (Turhan et al., 2014, S. 124)	25
Abbildung 10 Spezifische Leistung der Wärmeanwendungen als Tagesmittelwerte im Verlauf der drei Messjahre. (Peper, 2021b, S. 23).....	26
Abbildung 11 Heizleistungen (3h-Mittelwert) im Zeitraum der niedrigsten Temperatur (Peper, 2021b, S. 24)	27
Abbildung 12 Spezifische, tagesmittlere Heizleistungen der drei Wärmezähler (Peper, 2021a, S. 13).....	28
Abbildung 13 Spezifische, stundenmittlere Heizleistung für Fernwärme, Heizung und Warmwasserbereitung. (Peper, 2021a, S. 15).....	29
Abbildung 14 Vergleich von evaluierten Heizlastergebnissen (Januševičius et al., 2012)	30
Abbildung 15 Auslegungsheizlast zur Umgebungstemperatur (Januševičius et al., 2012)	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Vergleich der Berechnungsmethoden - Eigene Darstellung in Anlehnung an (Equa, 2015) Flexibilität, Klimadaten, Wärmegewinne, Wärmebrücken, Einarbeitung, Eingabe EFH und Kosten einmalig, (ÖNORM H 7500-3)(Grim-Schlink et al., 2021) (Passivhaus Institut, 2012) (Oberroither, 2017) Allgemein, Eingabe, Volumen, Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage verwendet.	24
---	----

Literaturverzeichnis

- Bigladder Software. (2017). *EnergyPlus Version 8.8 Documents*, The Board of Trustees of the University of Illinois and the Regents of the University of California through the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Zugriff am 31.05.2023. Verfügbar unter <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-8/index.html>
- Bisanz, C. Heizlastauslegung im Niedrigenergie- und Passivhaus. *Fachinformation PHI-1999/2*, 1999.
- Equa (2015, Oktober). *Vergleich von Aufwand und Nutzen verschiedener Bewertungsverfahren für hocheffiziente Gebäude. OIB RL 6 –PHPP –IDA ICE*. 10. EQUA Fachtag Gebäudesimulation, Salzburg.
- Equa Simulation AB. (2017). *IDA Early Stage Building Optimization. ESBO user guide (2.2)*. Schweden.
- Equa Simulation AB. (2018). *IDA ICE Getting Started. Getting Started with IDA Indoor Climate and Energy*. Schweden.
- Equa Simulation AB. (2023) IDA ICE [Computer software]: Equa.
- Europäisches Parlament (Hrsg.). *Revision of the Energy Performance of Buildings Directive: Fit for 55 package. EU Legislation in Progress*.
- European Commission. (2023a). *Energy efficiency first principle. One of the key principles of the EU energy policy intended to ensure secure, sustainable, competitive and affordable energy supply in the EU*. Zugriff am 17.05.2023. Verfügbar unter https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-first-principle_en
- European Commission. (2023b). *Nearly zero-energy buildings. The EU has proposed to move from the current nearly zero-energy buildings to zero-emission buildings by 2030*. Zugriff am 17.05.2023. Verfügbar unter https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_en
- European Commission. (2023c). *Renovation wave. Renovating the EU building stock will improve energy efficiency while driving the clean energy transition*. Zugriff am 17.05.2023. Verfügbar unter https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en
- Floegl, H. & Ipser, C. (2014). LANGFRISTIG LEISTBARES WOHNEN IN NIEDERÖSTERREICH. *Department für Bauen und Umwelt Krems*.
- Gräff, V. (2013). Anforderungen an Heizanlagen. In K.-J. Albers & H. Recknagel (Hrsg.), *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik* (76. Auflage, S. 629). Essen: Vulkan.
- Grim-Schlink, M., Preisler, A. & Stipsits, A. (2021). Heizlast optimieren. Studie: Strategien zur Vermeidung von Überdimensionierung bei Wärmepumpen. *e7 Energy Innovation Engineering*. Energieplanung Stadt Wien.

- Jagnow, K. (2013). Berechnung und Auslegung der Heizungsanlagen. In K.-J. Albers & H. Recknagel (Hrsg.), *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik* (76. Auflage, S. 1184-1251). Essen: Vulkan.
- Januševičius, K., Jaraminienė, E. & Misevičiūtė, V. (2012). HEATING LOAD DETERMINATION FOR PASSIVE BUILDINGS IN LITHUANIAN CLIMATE CONDITIONS. *Vilnius Gediminas Technical University*.
- KEP-SDM. (2008). Dwelling Energy Performance-Standard Assessment Procedure.
- Li, H., Zhang, R., Feng, G., Huang, K. & Cao, C. (2015). Simulation and Comparison of Heating and Cooling Load between a Zero-energy Building and a Common Building in Severe Cold Region. *Procedia Engineering*, 121, 1505-1509.
- Oberroither, S. (2017). *Vergleich Heizlast-Energieausweis*. Bachelorarbeit, FH Salzburg. Salzburg.
- OIB. OIB Leitfaden. Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. In OIB (Hrsg.), *Österreichisches Institut für Bautechnik*. Verfügbar unter <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019/oib-richtlinie-6-leitfaden>
- OIB 2014. Nationaler Plan. OIB - Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“ gemäß Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU. In OIB (Hrsg.), *Österreichisches Institut für Bautechnik*. Verfügbar unter <https://www.oib.or.at/de/guidelines/oib-richtlinie-6-nationaler-plan>
- ÖNORM B 8110-5 (2019). *ÖNORM B 8110-5 Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile*. Wien: Austrian Standards International.
- ÖNORM H 12831-1 (2018). *ÖNORM H 12831-1 Heizungssysteme in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast - Nationale Festlegungen und nationale Erläuterungen zu ÖNORM EN 12831-1*. Wien: Austrian Standards International.
- ÖNORM H 5056-1 (2019). *ÖNORM H 5056-1 Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Teil 1: Heiztechnikenergiebedarf*. Wien: Austrian Standards International.
- ÖNORM H 7500-1 (2015). *ÖNORM H 7500-1 Heizungssysteme in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast für Gebäude mit einem mittleren U -Wert $\geq 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ - Nationale Ergänzung zu ÖNORM EN 12831*. Wien: Austrian Standards International.
- ÖNORM H 7500-3 (2014). *ÖNORM H 7500-3 Heizungssysteme in Gebäuden - Teil 3: Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der Norm-Gebäudeheizlast*. Wien: Austrian Standards International.
- Pagen, D. (2022). *Unterstanding the sky. The weather book for sports pilots* (2. Aufl.). Beddingham, UK: Cross Country International.
- Passivhaus Institut (Hrsg.). (2012) Passivhaus Projektierungs-Paket [Themenheft]. *Passivhaus Institut, 2012* (für qualitätsgeprüfte Passivhäuser und EnerPHit-Modernisierungen).
- Passivhaus Institut. (2021) PHPP [Computer software].

STR 2.09.04:2008 (2008). *PASTATO ŠILDYMO SISTEMOS GALIA. ŠILUMOS POREIKIS ŠILDYMUJ.*
Vilnius: LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTRO.

Peper, S. (2021a). BuildTog Darmstadt-Kranichstein Monitoring. Endbericht. *Passivhaus Insitut.*

Peper, S. (2021b). Passivhaus BuildTog Bremen-Findorff Energetische Untersuchung. Endbericht.
Passivhaus Insitut.

Ploß, M. (Energieinstitut Vorarlberg, Hrsg.). (2021). *Vorschlag zur Definition des Standards „Niedrigstenergiehaus“ in der Bautechnikverordnung 2021.* Zugriff am 17.05.2023. Verfügbar unter <https://www.energieinstitut.at/vorschlag-zur-definition-des-standards-niedrigstenergiehaus-in-der-bautechnikverordnung-2021-2/>

Stangl, M., Michl, C., Fromayer, H., Hiebl, J., Orlik, A., Höfler, A. et al. (2021). Klimastatus Bericht Österreich 2020.

Turhan, C., Kazanasmaz, T., Uygun, I. E., Ekmen, K. E. & Akkurt, G. G. (2014). Comparative study of a building energy performance software (KEP-IYTE-ESS) and ANN-based building heat load estimation. *Energy and Buildings, 85*, 115-125.

Umweltbundesamt. (2023). *Indikator: Energieverbrauch für Gebäude.* Zugriff am 17.05.2023. Verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-energieverbrauch-fuer-gebaeude#die-wichtigsten-fakten>

Wan, K. K., Li, D. H., Liu, D. & Lam, J. C. (2011). Future trends of building heating and cooling loads and energy consumption in different climates. *Building and Environment, 46* (1), 223-234.