

Wissenschaftlicher Endbericht

HL-(N)ZEB

Heizlastberechnung für Niedrigstenergiegebäude

Im Auftrag von:

**ZAB Zukunftsagentur Bau GmbH
&
Fachverband Steine-Keramik**

Verfasser:

Fachhochschule Salzburg GmbH
DI Dr. Markus Leeb
DIⁱⁿ Patricia Reindl, BSc
Michael Branz, BSc

In Kooperation mit:

RGK e.U.
Ing. Arne Komposch

HL-(N)ZEB

Heizlastberechnung für Niedrigstenergiegebäude

Im Auftrag von:

ZAB Zukunftsagentur Bau GmbH



Fachverband Steine-Keramik



Projektleitung (seitens der FH Salzburg GmbH):

DI Dr. Markus Leeb (02/2024 bis 08/2025)

DIⁱⁿ Patricia Reindl, BSc (ab 09/2025)

Projektmitarbeiter*innen (seitens der FH Salzburg GmbH):

Michael Branz, BSc

In Kooperation mit:

RGK e.U.

Ing. Arne Komposch



Inhaltsverzeichnis

1	Projektbeschreibung und Ziel	4
2	Relevanz und Bedeutung	5
3	Normen und Standards	9
3.1	Andere Berechnungsansätze in EU-Ländern	9
3.2	ÖNORM 7500-1 Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast für Gebäude mit einem mittleren U-Wert $\geq 0,5 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$	10
3.2.1	Raumweise Heizlastberechnung	11
3.2.2	Hauptkomponenten der Norm-Heizlast	11
3.2.3	Bauteilabmessungen	13
3.3	ÖNORM H 7500-3 Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der Norm-Gebäudeheizlast	13
4	Testgebäude & Datenerhebung	15
4.1	Kategorisierung der Testgebäude	16
5	Monitoringdaten	19
5.1	Migration der Monitoringdaten und Projektverzögerungen	19
5.2	Entwicklung einer automatisierten Schnittstelle	19
6	Berechnungsweisen	21
6.1	ÖNORM H 7500-1	21
6.1.1	Erkenntnisse im Projektverlauf	24
6.2	ÖNORM H 7500-3	24
6.2.1	Automatisierte Berechnung mit MATLAB	24
6.3	PHPP	25
6.3.1	Anwendung im Projektverlauf	25
6.4	Dynamische Gebäudesimulation IDA ICE	26
6.4.1	Klimadaten und Randbedingungen	26
6.4.2	Geometrische Modellierung	27
6.4.3	Bauteile und thermische Eigenschaften	27
6.4.4	Anlagentechnik und Randbedingungen	28
6.4.5	Interne Gewinne und Nutzung	28
6.4.6	Simulationsdurchführung und Auswertung	28
6.4.7	Projektspezifische Herausforderungen und Vereinheitlichung	29
6.5	Alternative Berechnungsweise wpplus	29
7	Ergebnisse und Datenanalysen	31
7.1	Randbedingungen der Datengrundlage	31
7.2	Monitoringdaten Analyse	31
7.2.1	Monitoring Analyse der maximalen Heizleistungen im Betrachtungszeitraum	33

7.2.2	Monitoring Analyse für die minimalen Außentemperaturen im Betrachtungszeitraum	39
7.3	Gesamtergebnisse der unterschiedlichen Methoden	43
7.3.1	Einfluss der Art der Lüftung auf die verschiedenen Berechnungsmethoden	50
7.4	Normierte Gebäudekennlinien aus Monitoring und Simulation	52
7.5	Ergebnisse der Einzelgebäude	56
7.5.1	Testgebäude 02 (Bauweise leicht; RLT: nein)	57
7.5.2	Testgebäude 20 (Bauweise mittelschwer; RLT: ja)	58
7.5.3	Testgebäude 10 (Bauweise schwer; RLT: ja)	60
8	Vertiefte Datenanalyse	62
8.1	Testgebäude 02 (Bauweise leicht; RLT: nein)	63
8.2	Testgebäude 07 (Bauweise mittelschwer; RLT: ja)	67
8.3	Testgebäude 08 (Bauweise schwer; RLT: ja)	71
8.4	Normaußentemperatur Klimadatenanalyse	74
9	Vorschläge zur Verbesserung der Norm-Heizlastberechnung für sanierte oder neue Gebäude	76
9.1	Empfehlung dynamischer Gebäudesimulationen als gleichwertiges Nachweisverfahren	76
9.2	Berücksichtigung von Wärmegewinnen	76
9.3	Berücksichtigung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung	77
9.4	Berücksichtigung der thermischen Speichermasse durch eine bauweiseabhängige Anpassung der Auslegungstemperatur	77
9.5	Anpassung der Normaußentemperatur	78
10	Diskussion und Ausblick	79
11	Verzeichnisse	83
11.1	Abkürzungsverzeichnis	83
11.2	Abbildungsverzeichnis	83
11.3	Tabellenverzeichnis	92
12	Literaturverzeichnis	93
13	Anhang	96
13.1	Monitoring Analyse - minimale Außentemperaturen im Betrachtungszeitraum	96
13.2	Normierte Gebäudekennlinien aus Simulation und Monitoring	104
13.3	Ergebnisse der Einzelgebäude	106
13.4	Vertiefte Datenanalysen	116
13.5	Normaußentemperatur Klimadatenrecherche	154

1 Projektbeschreibung und Ziel

Die Auslegung der Wärmebereitstellungs- bzw. Wärmeabgabesysteme eines Gebäudes, erfolgt über die Berechnung der Heizlast, welche anhand unterschiedlicher standardisierter Verfahren durchgeführt werden kann. Der Anwendungsfall entscheidet über die eingesetzten Verfahren, welche verschiedene Werte und Faktoren einsetzen. Auf europäischer Ebene, werden in der EN 12831-1 – mit dem aktuellen Entwurf der ÖNORM EN 12831-1:2025 – Verfahren zur Berechnung der Raumheizlast definiert (Austrian Standards International 2025 05 01). National wird die Norm-Heizlastberechnung durch die ÖNORM H 7500-1 als gesetzlich zitierte Ergänzungsnorm (für Gebäude mit einem mittleren U-Wert $\geq 0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) geregelt, während die ÖNORM H 7500-3 das vereinfachte Verfahren insbesondere für bestehende Gebäude bereitstellt (Austrian Standards International 2014 07 01, 2015 02 15). Das Projekt HL-(N)ZEB untersucht vorrangig diese beiden nationalen Berechnungsweisen sowie die Heizlastabschätzung aus dem Energieausweis als Referenzmethoden. Diese werden in Korrelation mit Ergebnissen aus dynamischen Gebäudesimulationen, alternativen Berechnungsansätzen sowie realen Monitoringdaten gesetzt. Die Abweichungen der unterschiedlichen Berechnungsmethoden sollen identifiziert und bewertet werden, um Vorschläge zur Adaptierung der standardisierten Heizlastberechnungen zu formulieren.

Normative Heizlastberechnungen basieren derzeit auf einem rein verlustorientierten Ansatz, bei dem solare und interne Wärmegewinne nicht berücksichtigt werden. Das Gebäude wird vereinfacht als unbewohnt, ohne interne Lasten und unabhängig von der realen Orientierung (solare Architektur) betrachtet.

Für Bestandsgebäude mit hohen thermischen Verlusten ist dieser Ansatz in der Regel ausreichend. Bei energieeffizienten Niedrigstenergie- und Nullenergiegebäuden ((N)ZEB) mit optimierter Gebäudehülle und -technik zeigt sich jedoch, dass die tatsächlich benötigte Heizleistung zumeist deutlich von der berechneten Norm-Heizlast abweicht.

Die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Dimensionierung von Wärmebereitstellungssystemen sowie deren technische und wirtschaftliche Konsequenzen werden in Kapitel 2 näher betrachtet.

Die Ziele des Projekts sind:

- Identifikation der Haupteinflussfaktoren bei der Heizlastberechnung, mit besonderem Fokus auf jene Faktoren, die bei effizienten Niedrigstenergiegebäuden mit Flächenheizungssystemen zusätzlich an Einfluss gewinnen.
- Klare Darstellung der Abweichungen zwischen der berechneten theoretischen Heizlast (bzw. Kühllast) laut Norm, den Simulationsergebnissen sowie den Monitoringdaten aus dem realen Betrieb typischer Neubauten.
- Erarbeitung von Vorschlägen für eine realitätsnähere Abbildung der Heizlast in der Normenberechnung für Niedrigstenergiegebäude mit Flächenheizungssystemen, die zugleich als Speichersensoren dienen.
- Aufzeigen alternativer Berechnungsverfahren sowie deren Relevanz.
- Nutzung des Energieausweises als zusätzliche Datenquelle zur Ergänzung der Heizlastberechnung (z.B. Heizgradtage, Solarstrahlungsbilanz)

2 Relevanz und Bedeutung

Feldstudien aus dem D-A-CH-Raum, wie Optimus, OptiPower 'Heizlast optimieren', zeigen, dass installierte Wärmeleistungen häufig deutlich über dem tatsächlichen Bedarf liegen. Typische Überdimensionierungen bewegen sich im Bereich von etwa 40-80 %, bei gewerblichen Gebäuden können diese auch deutlich darüber liegen. Eine wesentliche Ursache liegt in der praktischen Anwendung der normativen Heizlastberechnung. (Wolff 2006; Bosshard und Wemhöner 2023; Grim-Schlink et al. 2020)

Die Norm-Heizlast stellt eine theoretische Obergrenze unter ungünstigen Randbedingungen dar, wird in der Praxis jedoch häufig als Ausgangswert für die Dimensionierung herangezogen. Darauf aufbauend werden zusätzliche Zuschläge angesetzt, wodurch es zu einer weiteren Erhöhung der installierten Leistungen kommt. Zudem wird zumeist die Summe raumweiser Heizlasten zur Dimensionierung des Wärmebereitstellungssystems herangezogen, obwohl hier die Gebäudeheizlast maßgeblich ist. Erfahrungen aus Planungspraxis und begleitendem Monitoring weisen darauf hin, dass der reale Wärmebedarf im Neubau typischerweise etwa 10-40 % unter der rein verlustbasierten Normheizlast liegt. Dadurch war es möglich die Investitionskosten für Wärme- und Kältebereitstellung stark zu mindern. Eine pauschale Übertragung dieser Relationen ist jedoch nicht möglich, da insbesondere solare Gewinne stark von der Gebäudegeometrie, der Orientierung sowie den standortabhängigen Klimabedingungen abhängen.

Die aus obiger Systematik resultierende Überdimensionierung der Anlagentechnik führt zu erhöhten Investitionskosten sowie zu einem ineffizienten Betrieb. Insbesondere beim Einsatz von Wärmepumpen (WP) wirkt sich dies nachteilig aus, da häufige Taktung sowohl die Effizienz als auch die Lebensdauer der Systeme reduziert. Gleichzeitig werden wirtschaftliche und technische Rahmenbedingungen für den Einsatz erneuerbarer Wärmebereitstellungssysteme erschwert.

Vor diesem Hintergrund adressiert die Gegenüberstellung von normativen Berechnungsverfahren, dynamischen Gebäudesimulationen und Monitoringdaten ein zentrales Problem der Planungspraxis. Während die Norm-Heizlast eine vereinfachte, verlustbasierte Betrachtung darstellt, zeigen Simulationen und reale Messdaten, dass die tatsächlich erforderlichen Heizleistungen – insbesondere bei Niedrigstenergiegebäuden – deutlich darunter liegen.

Der systematische Vergleich dieser Ansätze ermöglicht eine realitätsnähere Bewertung der erforderlichen Heizleistungen und schafft die Grundlage für eine angepasste Interpretation der normativen Verfahren. Daraus können Ansätze zur Weiterentwicklung der bestehenden Berechnungsmethoden abgeleitet werden, die sowohl die technische Auslegungssicherheit als auch wirtschaftliche und betriebliche Aspekte berücksichtigen.

Langfristig eröffnet eine bedarfsgerechtere Dimensionierung Potenziale zur Reduktion von Investitionskosten, zur Steigerung der Energieeffizienz sowie zur Verbesserung der Systemlebensdauer. Gleichzeitig können innovative Gebäudekonzepte und Wärmesysteme realitätsnäher bewertet und in ihrer Anwendung gestärkt werden.

Zitat aus der OptiPower-Studie:

„Moderne Wärmepumpen und Kältemaschinen können ihre Heizleistung durch den Einsatz eines Frequenzumrichters (Inverter) und damit einer Veränderung der Drehzahl des Verdichters an den Bedarf anpassen. Durch die stufenlose Inverterregelung können sie typischerweise 30 bis 100 % ihrer Nennleistung zur Verfügung stellen. Wird jedoch die 30 %-Grenze unterschritten, was bei einer stark überdimensionierten Anlage schnell der Fall sein kann, geht die Wärmepumpe in den Ein-/Aus-Betrieb über. Dieser Betriebszustand ist energetisch ineffizient (niedrigere Jahresarbeitszahl) und führt aufgrund der hohen Beanspruchung zu einer verkürzten Lebensdauer des Gerätes: Abschätzungen am Beispiel einer invertergeregelten Luft-Wasser-Wärmepumpe haben gezeigt, dass die in der Realität praktizierte Überdimensionierung die Lebensdauer teilweise um 20 bis 40 % verkürzt und den Energieverbrauch teilweise um 30 % erhöht.“ (Bosshard und Wemhöner 2023)

Im Bereich der erneuerbaren Wärmeversorgung für Neu- und Altbau stellen modulierende Wärmepumpen den Stand der Technik dar. Diese sollen systemisch mit ihrem verfügbaren Modulationsband den gleitenden Heizlastverlauf über die Heizperiode abbilden. Der Großteil der Wintertage liegt dabei im mittleren Lastbereich (vergleiche mittlere Außentemperatur in der Heizperiode) und die Auslegungslasten werden entsprechend dem Vorliegen der Norm-Außentemperatur (NAT) hingegen nur äußerst selten erreicht.

Abbildung 2-1 zeigt den zeitlich massiv dominierenden Anteil der Teillast im typischen mittleren Heizlastbereich von 40-60 % der Auslegungslast. Hier soll die Wärmepumpe bei optimaler Dimensionierung im ebenfalls mittleren Leistungsbereich modulierend durchlaufen. Im Teillastbereich um die 50 Hz Inverterfrequenz ist die Effizienz am höchsten und die optimale Lebensdauer zu erwarten¹. Für Kälteperioden bis zur NAT kann die passend dimensionierte Wärmepumpe bis zur maximalen Leistung hochmodulieren; in milden Winterphasen bzw. nahe der Heizgrenze im Herbst und Frühjahr kann sie bis zur Minimalleistung heruntermodulieren. An der Heizgrenze geht sie unter ihrer Minimalleistung in einen taktenden Betrieb über. Dort erfolgt die Anpassung an den aktuellen geringen Bedarf per Pulsweitenmodulation mit minimaler Wärmeabgabe über das Verhältnis von Ein- zu Aus-Zeiten. Wie bereits in den obigen Feldstudien angemerkt, ist auch die Betrachtung des vorherrschenden Teillastfalls entscheidend, um die passende Leistungsklasse für den Wärmeerzeuger bzw. die Wärmepumpe auszuwählen. Ein oft zitierter 'Angstzuschlag' ist hier nicht notwendig: Typischerweise können mit 50 % der installierten Leistung 80-90 % des jährlichen Heizwärmebedarfs geliefert werden (Leeb 2018). In der folgenden Grafik entspricht dies der orangenen Fläche unter der gestrichelten 50 % Linie.

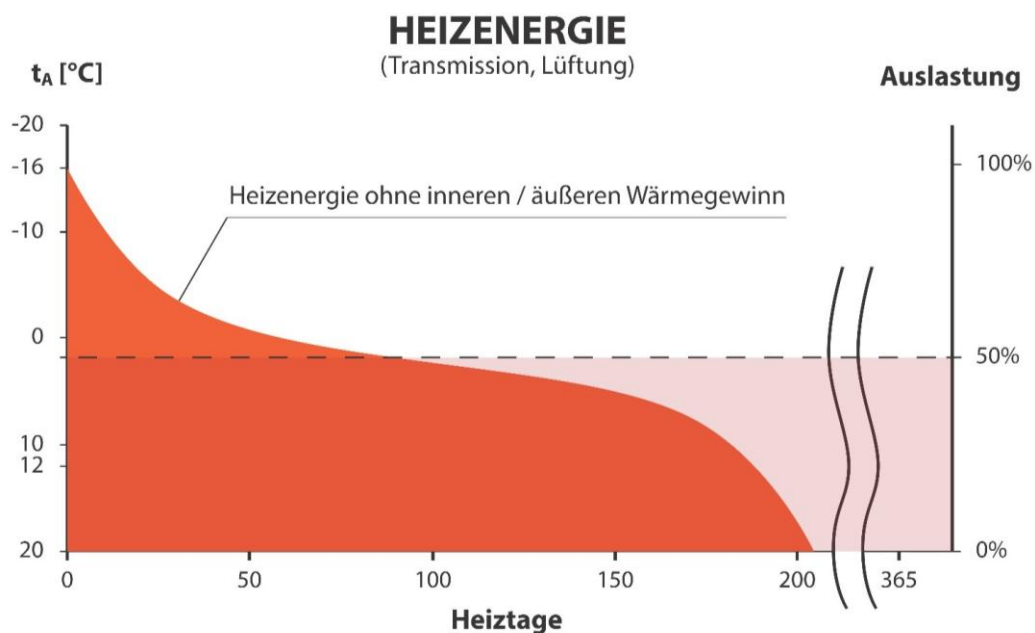


Abbildung 2-1 Saisonaler Heizlastverlauf Referenzgebäude (Quelle: wpplus/NIBE Wärmepumpen 2026)

¹ <https://www.idm-energie.at/waermepumpen-effizienz/teillast/>

Abbildung 2-2 zeigt ein Monitoring zweier Einfamilienhäuser in der kältesten Woche im Winter 2018. Beide weisen eine idente Normheizlast von 7,5 kW auf, einmal wurde eine modulierende Wärmepumpe der kleinsten Leistungsklasse mit 1,5-7,5 kW Leistung installiert, einmal die nächstgrößere mit 3-12 kW Leistung. Die ockerfarbene Kurve zeigt die Verdichtterfrequenz an, die proportional zur thermischen Leistung ist. Der grüne und der rote Pfeil stellen die Bandbreite des Modulationsbereichs dar, 20-120 Hz bei der kleineren, 30-105 Hz bei der größeren Wärmepumpe. Während die kleinere Wärmepumpe in der kältesten Winterwoche modulierend durchläuft, ist die größere bereits im taktenden Betrieb außerhalb ihrer unteren Modulationsgrenze. Im langjährigen Durchschnitt erreicht die kleinere Wärmepumpe ein Start-/Laufzeitverhältnis von 1:10, während die größere bei 1:1 liegt und damit im gleichen Zeitraum zehnmal so viele Starts leisten muss.

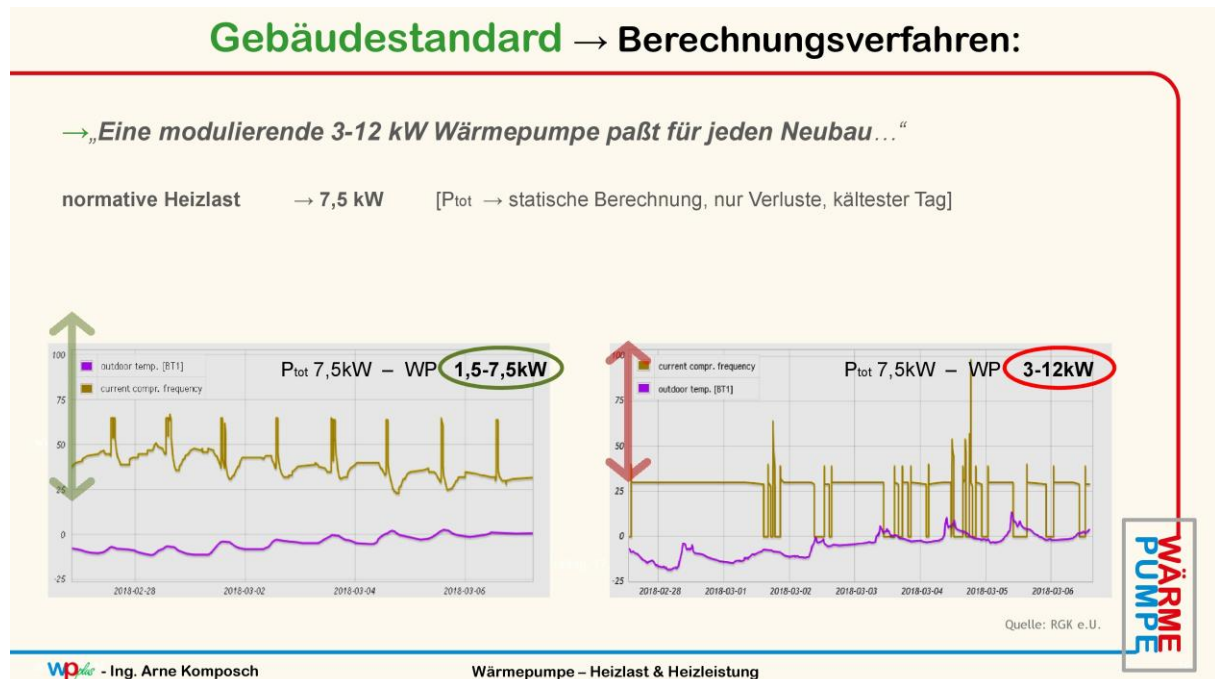


Abbildung 2-2 Monitoring Referenz-Einfamilienhäuser (Quelle: eigene Darstellung wpplus)

3 Normen und Standards

Für die forschungsrelevanten Grundlagen werden insbesondere die Normen ÖNORM H 5056-1, ÖNORM B 8110-6-1, ÖNORM H 7500-1 sowie ÖNORM H 7500-3 berücksichtigt. (Austrian Standards International 2025b 10 15, 2024b 03 01, 2014 07 01, 2015 02 15)

Die ÖNORM H 5056 definiert in Teil 1 die Berechnung des Heiztechnikenergiebedarfs auf Basis der Nutzungsprofile von Warmwasser- und Heizwärmebedarfs. Mit Teil 2 wird zusätzlich eine Validierung entsprechender Softwareberechnungen ermöglicht. (Austrian Standards International 2024b 03 01, 2025c 10 15)

Die EN ISO 9972 (n_{50}) fließt als Referenz für die Ableitung der Infiltrationsvolumenströme in die Lüftungswärmeverluste ein und wird mit vorliegenden Mess- bzw. Richtwerten abgeglichen. (Austrian Standards International 2016 03 15)

Für fehlende Materialkennwerte werden Tabellenwerte gemäß ÖNORM 8110-7 herangezogen, um eine konsistente Modellierung in den Simulationen sicherzustellen. (Austrian Standards International 2013 03 15)

Die ÖNORM EN 12831-1 liegt aktuell lediglich als Normentwurf vor und kann in ihrer finalen Fassung von der derzeitigen Version abweichen. Im Rahmen des Projekts wird hierzu eine kommentierte Stellungnahme mit Anpassungsvorschlägen ausgearbeitet (Austrian Standards International 2025 05 01).

Die ÖNORM B 8110-5 sowie die ÖNORM EN 16798-1 bilden die Grundlage für die Einbeziehung von internen Wärmegewinnen innerhalb der dynamischen Gebäudesimulation. Die darin festgelegten Zeitpläne sowie Lasten, durch Nutzer und Geräte, werden entsprechend der zugehörigen Gebäudekategorie in der Simulation eingesetzt (Austrian Standards International 2025a 10 15, 2024a 03 01).

3.1 Andere Berechnungsansätze in EU-Ländern

Ein aus Schweden stammender methodischer Zugang bietet auch für die Anwendung in Österreich ein hohes Potenzial. In der schwedischen Praxis ist es etabliert, die Normaußentemperatur unter Berücksichtigung der thermischen Trägheit von Gebäuden anzupassen (Karlsson und Andersson 2016). Dadurch wird die Fähigkeit eines Gebäudes, Wärme zwischenspeichern, systematisch in die Bemessung einbezogen. Basis dieses Verfahrens sind regional erfasste extreme Wetterereignisse, die als sogenannte DVUT-Werte (Dimensionierende vinterutetemperatur) ausgewiesen werden und in zwölf Stufen gegliedert sind. Die Ermittlung dieser Kennwerte erfolgt gemäß den Vorgaben der Norm ISO 15927-5 (Austrian Standards International 2012 04 01).

Die DVUT beschreibt dabei die gemittelte Außentemperatur über einen Zeitraum von zwölf Tagen. Ein derartiges Ereignis tritt statistisch etwa dreißig Mal innerhalb von drei Jahrzehnten auf. Damit ist die angesetzte Eintrittswahrscheinlichkeit rund doppelt so hoch wie jene, die den österreichischen Normen zugrunde liegt (Austrian Standards International 2025a 10 15, S. 5). Abhängig von der Bauweise werden unterschiedliche Zeitintervalle angenommen: Sehr leichte Gebäude werden mit einer Dauer von 25 Stunden bewertet (1-Tages-DVUT), während für leichte Passivhäuser 120 Stunden angesetzt werden (5-Tages-DVUT). Schwere Gebäude mit wirksamer Wärmedämmung werden hingegen über 300 Stunden betrachtet, was einer 12-Tages-DVUT entspricht (Samer und Olsson 2019, S. 17–19).

Ein Vergleich der unterschiedlichen Zeiträume zeigt, dass bei einer Auswertung über zwölf Tage gegenüber einer eintägigen Betrachtung eine durchschnittliche Absenkung der relevanten Außentemperatur um 4,25 K möglich ist (Austrian Standards International 2012 04 01).

Die derzeit angewandten normativen Verfahren zur Heizlastberechnung erfassen überwiegend ausschließlich Wärmeverluste infolge von Transmission und Lüftung. Erkenntnisse aus praktischen An-

wendungen sowie aus Monitoringprojekten deuten jedoch darauf hin, dass insbesondere bei NZEBs solare Gewinne und interne Wärmequellen einen wesentlichen Beitrag zur Wärmebilanz leisten und regelmäßig einen Anteil von etwa 20–40 % erreichen.

3.2 ÖNORM 7500-1 Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast für Gebäude mit einem mittleren U-Wert $\geq 0,5 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$

Die ÖNORM H 7500-1 dient der detaillierten, raumweisen Betrachtung von Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten und liefert damit eine konservative Bezugsgröße für den Methodenvergleich ausgewählter Testgebäude. Dieser Standard definiert Verfahren zur Berechnung der Norm-Wärmeverluste sowie Norm-Heizlast von Gebäuden mit einem mittleren U-Wert $\geq 0,5 \text{ [W/(m}^2\text{K)]}$, für festgelegte Standardfälle und unter der Berücksichtigung bestimmter Auslegungsbedingungen.

Neben der Bedingung eines mittleren U-Wert $\geq 0,5 \text{ [W/(m}^2\text{K)]}$, gelten alle Gebäude mit folgenden Kriterien als Standardfälle:

- Annahme eines stationär beheizten Zustands unter Norm-Bedingungen sowie konstanter Stoffwerte.
- Die Raumhöhe beträgt maximal 5 [m] bzw. haben jene Räume mit einer Raumhöhe über 5 [m], eine Netto-Raumfläche von maximal 30 m².
- Lufttemperatur und operative Temperatur können als identisch angenommen werden.

Die einzelnen Berechnungsverfahren innerhalb dieser Norm sind weitgehend in einer Weise ausgelegt, sodass sich im Gesamtbild ein statisches Berechnungsmodell abbildet. Charakteristisch für dieses Modell ist, dass die Berechnung auf wenigen, jedoch zentralen Eingangsparametern basiert, die sich in mehreren Teilschritten der Heizlastermittlung wiederholen und einen starken Einfluss auf das Gesamtergebnis haben.

Zu diesen zentralen Eingangsparametern zählen u.a. folgende:

- Norm-Außentemperatur T_e
 - Definiert als das tiefste Zweitagesmittel der Außentemperatur, das zehnmal innerhalb von zwanzig Jahren erreicht oder unterschritten wird. (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 9)
- Das Jahresmittel der Außentemperatur $T_{m,e}$
 - Wird entweder anhand eines Diagramms abgelesen oder über eine Gleichung bestimmt. (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 9)
- Norm-Innentemperatur T_{int}
 - Sind einerseits nach Gebäudetypologie und zusätzlich in Raumarten kategorisiert. (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 9–11)

Die Norm-Außentemperatur geht durchgehend in alle maßgeblichen Berechnungsschritte der Norm-Heizlast ein und beeinflusst damit sowohl die Transmissions- als auch die Lüftungswärmeverluste am wesentlichsten. Hier ist zu beachten, dass sich die Werte der Datei „OIB-Richtlinie 6, NAT Excel“ auf eine Periode der Jahre 1981-2000 beziehen und somit keine aktuellen Klimadaten verwenden. (Austrian Standards International 2025a 10 15)

3.2.1 Raumweise Heizlastberechnung

Ein wesentlicher Unterschied dieses Verfahrens im Vergleich zu vereinfachten Methoden liegt in der raumweisen Berechnung unter Berücksichtigung folgender Aspekte:

- Die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste werden für jeden Raum separat ermittelt.
- In jedem Berechnungsschritt werden sämtliche Bauteile eines Raumes einzeln betrachtet.
- Die Ergebnisse werden nicht pauschalisiert, sondern konsequent bauteil- und raumbezogen berechnet.

Die raumweise Heizlast dient im Gegensatz zur Gebäudeheizlast der Auslegung der Wärmeabgabesysteme (Heizflächen, Wärmesenke) mit der Möglichkeit einzelnen Räumen unterschiedliche Zieltemperaturen zuzuweisen. Dies erfordert einen entsprechend höheren Erfassungs- und Rechenaufwand.

3.2.2 Hauptkomponenten der Norm-Heizlast

Die Norm-Heizlast setzt sich aus zwei Hauptanteilen zusammen:

Transmissionswärmeverluste

Die Transmissionswärmeverluste werden je nach Art des angrenzenden Bereichs in mehrere Kategorien unterteilt. Diese Differenzierung ist zentraler Bestandteil der ÖNORM H 7500-1.

a) Transmissionswärmeverluste an die Außenluft

Dieser Anteil betrifft alle Bauteile, die direkt an die Außenluft grenzen, insbesondere:

- Außenwände
- Fenster und Außentüren
- Dachflächen (bei Außenluftkontakt)

Die Berechnung erfolgt je Bauteil mit den jeweiligen U-Werten und der Temperaturdifferenz zwischen Raum und NAT (Norm-Außentemperatur). (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 16–17)

b) Transmissionswärmeverluste an unbeheizte bzw. unkonditionierte Bereiche

Diese Wärmeverluste betreffen Bauteile, welche an Räume ohne Beheizung oder Konditionierung angrenzen wie z.B.:

- Fußböden über unkonditionierten Kellerräumen
- Decken unter unkonditionierten Dachräumen
- Wände zu unbeheizten Garagen oder Nebenräumen

Für diese Bauteile wird außer der NAT auch die Temperatur des angrenzenden unbeheizten Bereichs in Form eines Reduktionsfaktors berücksichtigt, der normativ bestimmt ist. (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 17–18)

c) Transmissionswärmeverluste an das Erdreich

Ein weiterer wesentlicher Anteil, in welchem zusätzlich zwischen erdberührten Wänden und erdberührten Fußböden unterschieden wird. Dieser Teil der Berechnung ist im Vergleich zu den zuvor genannten Transmissionsverlusten deutlich differenzierter aufgebaut.

Die untergeordneten Parameter sind umfangreicher, da:

- Das thermische Verhalten des Erdreichs berücksichtigt wird,
- Unterschiedliche Einflussfaktoren (z. B. Geometrie, Tiefe, Randbedingungen) einfließen,
- Die vereinfachte Annahme einer direkten Kopplung an die Außenluft nicht zulässig ist.

Dadurch stellt die Berechnung der Transmissionswärmeverluste an das Erdreich einen komplexeren und rechnerisch aufwendigeren Berechnungsschritt innerhalb der ÖNORM H 7500-1 dar. (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 18–20)

Norm-Lüftungswärmeverluste

Der zweite große Bestandteil der Norm-Heizlastberechnung nach ÖNORM H 7500-1 sind die Lüftungswärmeverluste. Analog zu den Transmissionswärmeverlusten werden auch diese raumweise ermittelt. Grundsätzlich berücksichtigt die Norm hierbei zwei unterschiedliche Ursachen für Luftaustausch, wobei jedoch nur die größere der beiden Komponenten für die Berechnung der Lüftungswärmeverluste maßgebend ist.

d) Hygienischer Mindest-Luftvolumenstrom

Die erste Komponente ist der hygienische Mindest-Luftvolumenstrom. Dieser ergibt sich aus der hygienischen Mindest-Luftwechselzahl, welche abhängig von der Raumkategorie festgelegt ist.

Typische Raumkategorien sind beispielsweise:

- Aufenthalts- und Wohnräume
- Küchen
- Sanitärräume

Die entsprechenden Mindest-Luftwechselzahlen sind tabellarisch in der Norm definiert und stellen normative Mindestanforderungen an die Raumlüftung dar, um hygienische Bedingungen sicherzustellen. (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 21–23)

Der hieraus resultierende Luftvolumenstrom ergibt sich aus:

- Der vorgegebenen Luftwechselzahl und
- Dem Raumvolumen des jeweiligen Raumes.

e) Luftvolumenströme infolge Infiltration durch die Gebäudehülle

Die zweite relevante Komponente der Lüftungswärmeverluste sind die Luftvolumenströme infolge Infiltration, also Luftundichtigkeiten der Gebäudehülle.

Diese Luftvolumenströme basieren auf mehreren normativ vorgegebenen Parametern und tabellarischen Annahmen. Eine zentrale Rolle spielt dabei:

- Die Luftwechselrate bei 50 Pa Druckdifferenz (n_{50})

Dieser Wert kann angesetzt werden:

- Auf Basis von Messwerten (z. B. Blower-Door-Test)
- Gemäß Richtlinienwerten
- Anhand der tabellarischen Werte der ÖNORM, sofern keine Messung vorliegt

Aus der Luftwechselrate bei 50 Pa wird gemäß den normativen Vorgaben der effektive Infiltrations-Luftvolumenstrom für den Heizlastfall abgeleitet.

Für beide Komponenten – hygienischer Mindest-Luftvolumenstrom und Infiltrations-Luftvolumenstrom – bestimmt das Raumvolumen maßgeblich die Höhe der resultierenden Luftvolumenströme und damit die entsprechenden Lüftungswärmeverluste. Entscheidend ist, dass nicht beide Luftvolumenströme addiert werden. Stattdessen gilt für die Lüftungswärmeverluste, in der Berechnung den Luftvolumenstrom je Raum heranzuziehen, welcher einen höheren Wert ergibt. Damit wird sichergestellt, dass sowohl hygienische Mindestanforderungen eingehalten werden und gleichzeitig keine unrealistisch hohen Lüftungswärmeverluste angesetzt werden. (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 23–24)

Die Lüftungswärmeverluste nach ÖNORM H 7500-1 folgen damit einem klar deterministischen und konservativen Ansatz. Durch die raumweise Betrachtung und die Wahl des jeweils höheren Luftvolumenstroms wird sichergestellt, dass sowohl bauliche Undichtheiten als auch hygienische Anforderungen angemessen in der Heizlastauslegung berücksichtigt werden.

3.2.3 Bauteilabmessungen

Die Ermittlung von Wand-, Decken- und Bodenflächen erfolgt raumweise und abhängig von den angrenzenden Bauteilen. Dadurch ergeben sich – selbst bei gleicher Gebäudegeometrie – merkliche Unterschiede in den angesetzten Transmissionsflächen. Die Norm definiert unterschiedliche Vorgehensweisen zur Bestimmung der Außenwandflächen, abhängig von den seitlich angrenzenden Bauteilen. Grenzt eine Außenwand auf der einen Seite an eine weitere Außenwand und auf der anderen Seite an eine Innenwand, wird für die Ermittlung der Außenwandfläche das Gesamtmaß bis zur äußeren Bauteilkante (Außenmaß) angesetzt, während die angrenzende Innenwand nicht in das Längenmaß einbezogen wird. Grenzt dieselbe Außenwand hingegen links und rechts ausschließlich an Innenwände, wird für die Ermittlung der Wandfläche ausschließlich das Innenmaß herangezogen. Diese Differenzierung führt dazu, dass allein durch die Raumlage innerhalb des Gebäudes unterschiedliche Transmissionsflächen entstehen, obwohl die betrachtete Außenwand geometrisch identisch ist. Als weiteres maßgebendes Abmessungskriterium ist die Geschosshöhe, definiert als Abstand von der Fußbodenoberkante (FOK) des unteren Geschosses bis zur Fußbodenoberkante (FOK) des darüberliegenden Geschosses. Dadurch werden Deckenstärken, Estrichaufbauten und unterschiedliche Konstruktionshöhen konsistent in der Flächenermittlung berücksichtigt. (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 12–15)

3.3 ÖNORM H 7500-3 Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der Norm-Gebäudeheizlast

Die Norm-Gebäudeheizlast nach ÖNORM H 7500-3 wird angewendet, um den Heizleistungsbedarf der gesamten Gebäudeeinheit zu ermitteln und daraus die Dimensionierung des Wärmeerzeugers bzw. der Wärmepumpe abzuleiten. Weiters, um bei bestehenden Wärmebereitstellungssystemen diesen zu überprüfen oder für einen Tausch des Systems zu ermitteln. Dieser Standard definiert die Grundlagen zur Berechnung der Norm-Heizlast nach dem Hüllflächenverfahren für Gebäude (unter definierten Auslegungsbedingungen) und liefert als vereinfachtes Verfahren die konservative Bezugsgröße für den Methodenvergleich. (Austrian Standards International 2014 07 01, S. 3)

Der wesentliche Unterschied zur detaillierten raumweisen Betrachtung nach ÖNORM H 7500-1, ergibt sich im vereinfachten Verfahren in der hier angewendeten Zonierung des Gebäudes. Dies kann erforderlich sein, wenn Bereiche des Gebäudes unterschiedliche Bauweisen, Norm-Innentemperaturen oder Mindestluftwechsel-Zahlen aufweisen. Für die im Projekt untersuchten Einfamilienhäuser ist eine derartige Unterteilung nicht nötig und dadurch können alle konditionierten Bereiche jedes Gebäudes

als eine Berechnungszone betrachtet werden. Die Ermittlung der Hüllflächen erfolgt anhand der Abmaße in den Einreichplänen sowie den Geometrieausdrücken der Energieausweise, unter Berücksichtigung der normativen Bestimmungen. (Austrian Standards International 2014 07 01, S. 8–11)

Die Norm-Gebäudeheizlast nach ÖNORM 7500-3 setzt sich ebenfalls aus den zwei Hauptkomponenten Transmissionswärmeverluste und Lüftungswärmeverluste zusammen. Unter Berücksichtigung des Hüllflächenverfahrens werden die Wärmeverluste durch Transmission an die äußere Umgebung, nicht konditionierte Gebäudebereiche, das Erdreich und die Lüftungswärmeverluste – anstatt raumweise – für die ermittelten Berechnungszonen berechnet. (Austrian Standards International 2014 07 01, S. 11–20)

4 Testgebäude & Datenerhebung

Um die verschiedenen Berechnungsweisen mit realen Betriebsdaten vergleichen zu können, werden 23 Einfamilienhäuser mit Baujahr zwischen 2014 und 2023 aus Österreich als Testgebäude ausgewählt. Die notwendigen Daten werden vom Projektpartner und TGA-Planungsbüro wpplus zur Verfügung gestellt. Dieses ist auf die haustechnische Planung von Wärmequellen, Wärmepumpen, Wärmesenken für Einfamilienhäuser und deren Betriebsoptimierung spezialisiert und monitort eine relevante Anzahl an Projekten im Realbetrieb. Mit Zustimmung der Bauherrschaft werden jeweils Energieausweise, Planunterlagen sowie der Zugang zu den Monitoringdaten zur Verfügung gestellt. Der Energieausweis dient dabei insbesondere als Grundlage für energetische und standortspezifische Kennzahlen, gebäudespezifische Stammdaten sowie Informationen zu den verwendeten Aufbauten. Die Planunterlagen ermöglichen die exakte Erfassung der Gebäudekubatur und bilden damit die Basis für die geometrische Modellierung in den Berechnungs- und Simulationsverfahren. Die Monitoringdaten liefern darüber hinaus Einblicke in das reale Betriebsverhalten und den tatsächlichen Bedarf der Gebäude und erlauben eine direkte Gegenüberstellung mit den berechneten und simulierten Ergebnissen.

Zur Auswahl der Gebäude werden folgende Rahmenbedingungen gesetzt, um eine entsprechende Vergleichbarkeit der Testgebäude gewährleisten zu können:

- 23 Gebäude (keine außergewöhnlichen Gebäude – Standardgebäude)
- Verschiedene Bauweisen:
 - Holzriegelbau
 - Massivbau
- Mittlere solare Architektur (soll Standardgebäude abbilden)
- Eine charakteristische Länge (lc-Wert) von 0,8 bis 2,0 m (Mittelwert v. Auswahl ZEUS-Daten: 1,43 m)
- Mittlerer U-Wert von 0,18 bis 0,28 W/m²K (Mittelwert v. Auswahl ZEUS-Daten: 0,23 W/m²K)
- Fensterflächenanteil in Außenwänden von 11,7 % bis 21,7 % (lt. Untersuchung der ZEUS-Daten im Buch ZAB, EZFH ab 2010: 16,7 %)
- HWB zwischen 10 und 50 kWh/m²a (Energieeffizienzklassen A+, A und B)

Die Gebäude stellen somit einen relevanten Querschnitt typischer Neubauten nach aktuellem Niedrigstenergiestandard (NZEB) in Österreich dar. Auch die örtliche Verteilung wurde berücksichtigt, um die Breite an Standortbedingungen vom alpinen Raum bis zur pannonischen Ebene abzubilden.

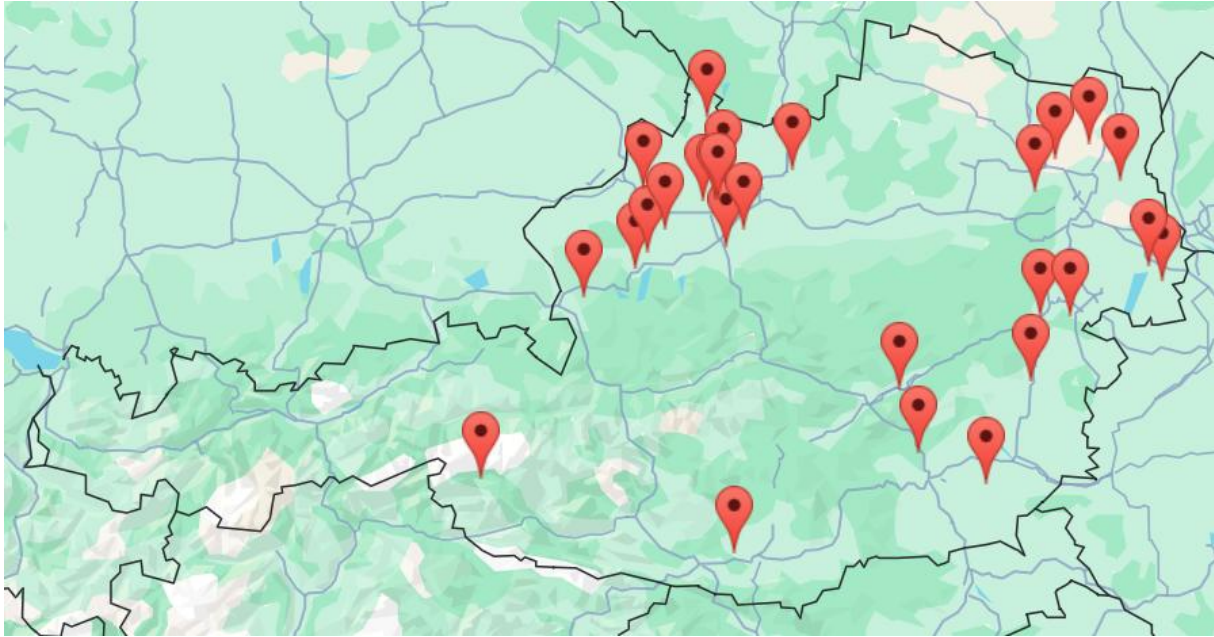


Abbildung 4-1 Übersicht HL-(N)ZEB Testgebäude Standorte (Quelle: Google Maps [2026])

4.1 Kategorisierung der Testgebäude

Die Stammdaten der 23 Testgebäude werden in einer strukturierten Excel-Datenbasis geführt. Die relevanten Parameter und zugehörigen Kürzel sind in Tabelle 1 und die Daten der Testgebäude in Tabelle 2 aufgelistet. Für die im Projekt durchgeführten Vergleiche, Gegenüberstellungen und Analysen erfolgt eine Kategorisierung der Testgebäude. Dabei werden die Gebäude zunächst anhand ihrer Bauweise im EA in drei übergeordnete Klassen (leicht, mittelschwer, schwer) eingeteilt und zusätzlich hinsichtlich Vorhandenseins einer kontrollierten Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung (RLT mit WRG) differenziert. Durch die Kombination dieser beiden Merkmale ergeben sich insgesamt sechs Kategorien, welche im weiteren Verlauf der Auswertung zur Strukturierung der Ergebnisse und zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit herangezogen werden:

- Bauweise leicht, RLT: nein
- Bauweise leicht, RLT: ja
- Bauweise mittelschwer, RLT: nein
- Bauweise mittelschwer, RLT: ja
- Bauweise schwer, RLT: nein
- Bauweise schwer RLT: ja

Tabelle 1 Testgebäude Stammdaten Parameter und Kürzel

Parameter	Kürzel
Testgebäude ID	Testgeb-ID
Bauweise	-
Vorkommen einer kontrollierten Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung	RLT mit WRG
Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung	WRG _{eta}
Luftwechsel laut Energieausweis	n_{air}
Charakteristische Länge	l_c
Fensterflächenanteil in Außenwänden	$f_{Fenster}$
Brutto-Grundfläche	BGF
Kompaktheit	A/V
Norm-Außentemperatur	NormAT
Seehöhe	m ü. M.
Mittlerer U-Wert	U_{mean}
Spezifischer Transmissionswärmeverlust	LEK _T
Heizwärmebedarf	HWB
Nennwärmeleistung Wärmepumpe	P_{WP}
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	COP _{WP}
Baujahr	-

Tabelle 2 Auflistung der relevanten Testgebäude Stammdaten

Testgeb ID	Bauweise	RLT mit WRG	WRG _{eta}	n _{air} [1/h]	l _c	f _{Fenster} [%]	BGF [m²]	A/V	NormAT [°C]	m ü. M. [m]	U _{mean} [W/m²K]	HWB [kWh]	P _{WP} [kW]	Baujahr
01	leicht	ja	0.73	0.4	1.38	11.5	191.93	0.73	-15.3	331	0.21	5651	7.6	2016
02	leicht	nein		0.4	1.41	14.3	214.00	0.71	-15.4	311	0.22	8725	9.52	2016
03	leicht	nein		0.4	1.36	10.5	202.00	0.73	-12.3	535	0.21	9967	8.56	2016
04	schwer	nein		0.4	1.48	12.3	261.28	0.68	-16.3	350	0.21	10729	11.2	2017
05	leicht	nein		0.4	1.34	13.6	201.00	0.74	-14.6	469	0.21	7869	8.85	2017
06	leicht	nein		0.4	1.35	13.4	219.00	0.74	-15.4	340	0.19	8025	9.46	2018
07	mittelschwer	ja	0.68	0.4	1.59	12.3	325.99	0.63	-13.3	526	0.2	6432	6	2017
08	schwer	ja	0.91	0.13	1.39	16.7	227.00	0.72	-14.3	508	0.27	6934	9.47	2017
09	mittelschwer	ja	0.7	0.232	1.33	18.4	206.00	0.75	-14	220	0.2	7578	8.96	2018
10	schwer	ja	0.7	0.224	1.61	11.8	287.00	0.62	-13.9	206	0.15	3994	8.92	2015
11	schwer	nein		0.4	1.38	15.2	224.00	0.72	-14.1	444	0.22	9305	6	2017
12	mittelschwer	nein		0.4	1.51	17.8	296.00	0.66	-12.9	129	0.22	8801	11.82	2017
13	schwer	ja	0.76	0.4	1.37	12.2	196.90	0.73	-12	386	0.23	6111	7.83	2018
14	mittelschwer	nein		0.4	1.35	13.6	176.00	0.74	-14.3	323	0.2	6786	11.6	2014
15	schwer	ja	0.73	0.151	1.67	8.0	317.00	0.6	-12.9	180	0.19	5905	3.3	2017
16	schwer	ja	0.86	0.4	1.38	18.2	330.00	0.72	-15.2	607	0.21	10420	9.7	2016
17	schwer	nein		0.4	1.40	16.3	194.00	0.71	-15	638	0.26	9333	9.43	2016
18	schwer	nein		0.4	1.37	14.5	218.00	0.73	-13.5	755	0.22	8732	9.47	2016
19	schwer	ja	0.63	0.4	1.58	20.7	380.56	0.63	-12.8	114	0.2	5527	11.4	2016
20	mittelschwer	ja	0.84	0.4	1.37	16.6	198.20	0.73	-14.5	1183	0.21	6213	3.3	2018
21	schwer	ja	0.78	0.158	1.26	17.5	252.00	0.8	-16	480	0.24	9497	11.13	2016
22	leicht	ja	0.75	0.28	1.46	7.6	263.20	0.68	-13.8	231	0.19	7874	8.02	2023
23	mittelschwer	nein		0.4	1.31	10.3	237.03	0.76	-13.1	546	0.23	11672	-	2017

5 Monitoringdaten

In allen ausgewählten 23 Testgebäuden sind modulierende Wärmepumpensysteme installiert, die ihre Betriebsdaten online in dasselbe übergeordnete Monitoring-Netzwerk speichern. Dies stellt grundsätzlich einen großen Vorteil dar, weil für alle Gebäude dieselbe Plattform für den Datenzugriff und die Datenauswertung genutzt werden kann. Dadurch liegen homogene Datenformate, vergleichbare Zeitstempel und konsistente Parameterbezeichnungen vor. Die Wärmepumpen verfügen über dezidierte Wärmemengenzähler nach dem Vortex Prinzip. Die zur Wärmemengenzählung genutzten integrierten Temperatursensoren werden vom Regler zyklisch kalibriert, um auch bei geringen Spreizungen durch Niedertemperaturanwendung und Teillastbetrieb eine hohe Datengüte zu bieten.

5.1 Migration der Monitoringdaten und Projektverzögerungen

Im Verlauf des Projekts müssen die Monitoringdaten von einer auslaufenden Plattform auf das neue Monitoring-Portal myUplink Pro migriert werden. Dieser Prozess unter Einbeziehung der Nutzer verläuft für einen Großteil der Gebäude nicht fristgerecht und teilweise unter externen Rahmenbedingungen, wodurch die Migration nicht im vorgesehenen Zeitraum abgeschlossen werden kann. Der Datenzugriff ist dadurch zeitweise nur eingeschränkt möglich, was den geplanten Beginn der Auswertungen deutlich verzögert.

Durch den zeitlichen Verzug entsteht zusätzlicher Zeitdruck im Hinblick auf den erforderlichen Datenexport. Der manuelle Export der Monitoringdaten ist ausschließlich in Wochenintervallen möglich und erfordert jeweils einen separaten Exportvorgang. Aufgrund der systemseitigen Einschränkung des Monitoring-Portals auf einen Rückblick von etwa zweieinhalb Jahren wären mehrere Dutzend Einzel-Exports erforderlich, wodurch sich bei insgesamt 23 Gebäuden ein sehr zeitintensiver und zugleich fehleranfälliger Prozess ergibt. Ein ausschließlich manueller Export in der erforderlichen Datenqualität erweist sich unter diesen Rahmenbedingungen als praktisch nicht realisierbar.

Der Plattformwechsel kann für insgesamt 21 Testgebäude erfolgreich durchgeführt werden, während die Umstellung bei zwei Testgebäuden aufgrund externer Umstände nicht erfolgen kann.

5.2 Entwicklung einer automatisierten Schnittstelle

Zur Lösung der beschriebenen Einschränkungen wird eine automatisierte Schnittstelle in Form eines API-basierten Datenzugriffs eingesetzt.

Die Schnittstelle ermöglicht einen direkten und automatisierten Zugriff auf die Monitoringdaten sowie den gleichzeitigen Export aller relevanten Parameter für sämtliche Gebäude in einem konsistenten Datenformat. Darüber hinaus erfolgt eine automatisierte Weiterverarbeitung der Rohdaten, insbesondere die Überführung der ereignisbasierten Messwerte auf ein einheitliches Stundenraster sowie die Ermittlung der Heizleistung auf Grundlage der Wärmemengenzählerdaten mittels stündlicher Differenzbildung.

Die Anwendung dieser Schnittstelle reduziert den manuellen Aufwand erheblich und schafft zugleich eine reproduzierbare und strukturierte Datenbasis für die weiteren Analysen.

Die exportierten Rohdatensätze liegen nicht in festen Zeitintervallen vor, sondern sind ereignisbasiert aufgezeichnet. Das bedeutet, dass jeweils dann ein neuer Messpunkt gespeichert wird, wenn ein Sensor eine relevante Änderung registriert. Diese Form der Datenerfassung führt zu ungleichmäßigen Zeitabständen, einer je nach Parameter stark variierenden Datendichte sowie zu einer eingeschränkten Vergleichbarkeit zwischen einzelnen Messgrößen. Für die geplanten Auswertungen ist jedoch eine einheitliche zeitliche Auflösung erforderlich. Die Rohdaten werden daher aufbereitet und auf ein einheitliches Zeitraster, insbesondere Stundenwerte, transformiert.

Dabei kommen in Abhängigkeit von der jeweiligen Messgröße, der zugrunde liegenden physikalischen Einheit sowie der physikalischen Sinnhaftigkeit unterschiedliche Verfahren zur Anwendung, wie beispielsweise Mittelwertbildung, zeitgewichtete Integration oder Interpolation.

Die Datenaufbereitung und -bereinigung stellt damit einen wesentlichen Arbeitsschritt innerhalb der Monitoringauswertung dar und bildet die Grundlage für alle weiteren Analysen.

6 Berechnungsweisen

Der Methodenrahmen umfasst:

- (a) Normverfahren nach ÖNORM H 7500-1 und H 7500-3,
- (b) dynamische Gebäudesimulation mit IDA ICE,
- (c) die praxiserprobte Abschätzung auf Basis standortspezifischer Volllaststunden und der Hottinger-Zahl sowie
- (d) die Anwendung des Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP).

Ziel ist die konsistente Gegenüberstellung der Ergebnisse je Testgebäude und die Ableitung von Einflussfaktoren und Abweichungen zwischen Norm-Heizlast, Simulations-Heizlast und Monitoring.

6.1 ÖNORM H 7500-1

Das detaillierte Verfahren zur raumweisen Berechnung der Norm-Heizlast und Auslegung der Wärmesenken, nach den in Kapitel 3.2 beschriebenen Prinzipien, wird als oberer Referenzwert für ausgewählte Gebäude (Testgebäude 01, 02, 10 und 17) im Projekt anhand einer eigens entwickelten Excel Berechnungsmappe angewendet. Die Dateistruktur ist in verschiedene Tabellenblätter unterteilt um die – für alle Berechnungsschritte – unveränderlichen Stammdaten, normierte Tabellenwerte, die Transmissionswärmeverluste sowie die Lüftungswärmeverluste (wie in Kapitel 3.2.2 beschrieben) übersichtlich und einzeln für die Norm-Gebäudeheizlast zu verbinden. Die Dateistruktur, das Berechnungsschema und ausgewählte Formeln nach ÖNORM H 7500-1, sind in Tabelle 3 angeführt.

Tabelle 3 Dateistruktur und Berechnungsschema nach ÖNORM H 7500-1

Tabellenblatt	Funktion, Berechnungsschema und Formeln	Referenz
Gebäudeübersicht	In diesem Tabellenblatt befindet sich die Auflistung der – unveränderlichen Parameter – Norm-Außentemperatur (T_e) und das konditionierte Bruttovolumen (V_b) für die 23 Testgebäude, um in den nötigen Berechnungsschritten direkt referenziert genutzt werden zu können.	
Hüllflächen	In diesem Tabellenblatt werden die Transmissionswärmeverluste an die Außenluft für alle Außenwand-, Außendeckenbauteile, Fenster und Türen berechnet. Berechnungsschritte: 1) Den Bauteilen wird die Raumart und damit die Sollinnentemperatur zugeordnet. 2) Aus den Bauteilmaßen errechnet sich die Gesamtflächen. 3) Von der Gesamtfläche von z.B. Außenwänden werden die zugehörigen Fensterflächen subtrahiert. 4) Aus den Bauteil U-Werten und dem pauschalen Wärmebrückenzuschlag ergeben sich die korrigierten U-Werte ($U_{c,k}$). 5) Aus den oberen Einzelkomponenten errechnen sich die Transmissionswärmeverlust-Koeffizienten der beheizten Räume. 6) Anhand der Differenz aus Norm-Rauminnentemperatur und Standort Norm-Außentemperatur ergeben sich die Transmissionswärmeverluste nach außen.	1) (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 10–11) 2) & 3) (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 11–13) 4) (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 15–16) 5) und 6) (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 16–17)
Unkonditioniert	In diesem Tabellenblatt werden die Wärmeverluste an unbeheizte Räume wie u.a. Keller- oder Dachräume bestimmt. Berechnungsschritte: 1) Den Bauteilen wird die konditionierte und die angrenzende unbeheizte Raumart zugeordnet. 2) Daraus ergeben sich wieder die Sollinnentemperaturen und die notwendigen Temperaturwerte in nicht konditionierten Räumen, zur Bestimmung des Temperatur-Reduktionsfaktors. 3) Aus den Bauteilmaßen errechnen sich Bauteilflächen. 4) Aus den Bauteil U-Werten und dem pauschalen Wärmebrückenzuschlag ergeben sich die korrigierten U-Werte ($U_{c,k}$). 5) Aus den oberen Einzelkomponenten errechnen sich die Transmissionswärmeverlust-Koeffizienten 6) Anhand der Differenz aus Norm-Rauminnentemperatur und Standort Norm-Außentemperatur ergeben sich die Wärmeverluste an unbeheizte Räume	1) und 2) (Austrian Standards International 2015 02 15, 10-11; 18) 3) (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 11–13) 4) (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 15–16) 5) und 6) (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 17)

Erdreich	In diesem Tabellenblatt werden die Wärmeverluste an das Erdreich berechnet. Berechnungsschritte: 1) Für die erdanliegenden Bauteile wird die konditioniert Raumart zugeordnet und bestimmt ob es sich um eine erdanliegende Wand oder einen erdanliegenden Boden handelt. 2) Daraus resultieren die Sollinnentemperatur der konditionierten Bezugsräume. 3) Infolgedessen müssen die äquivalenten U-Werte eines erdberührten Fußbodens oder einer erdberührten Wand ermittelt werden. 4) Für die Berechnung der äquivalenten U-Werte sind je nach Fall Perimeterlänge, wirksame Gesamtdicke der Bodenplatte, wärmetechnische Eigenschaften des Erdreichs, Wärmeübergangswiderstände und der Abstand Unterkante Bodenplatte bis angrenzende Geländeoberkante relevant, die aus den vorliegenden Energieausweisen oder Tabellenwerten definiert werden. 5) Zusätzliche Korrekturfaktoren betreffen die jährliche Schwankung der Außentemperatur, der Temperatur-Reduktionsfaktor und der Einfluss des Grundwassers. 6) Gemeinsam mit den oberen Einzelkomponenten und den Korrekturfaktoren errechnen sich die Transmissionswärmeverlust-Koeffizienten 7) Unter Berücksichtigung der Differenz aus Norm-Rauminnentemperatur und Standort Norm-Außentemperatur ergeben sich die Wärmeverluste an das Erdreich	1) und 2) (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 10–11) 3) – 7) (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 18–20)
Lüftung	In diesem Tabellenblatt werden die Norm-Lüftungswärmeverluste berechnet. Berechnungsschritte: 1) Für die einzelnen konditionierten Räume werden die Raumvolumina bestimmt und der Raumtyp definiert. 2) Daraus werden die Sollinnentemperatur der konditionierten Bezugsräume bestimmt, die normierten Mindestluftwechsel-Zahlen festgelegt und bei innen liegenden Sanitärräumen wird zusätzlich ein Temperaturreduktionsfaktor berechnet. 3) Zusätzlich werden der Abschirmungskoeffizient nach Gebäudestandort, Höhenkorrekturfaktor und Luftwechselrate bei 50 Pa Druckdifferenz benötigt. 4) Je Raum wird der hygienische Mindest- und der Luftvolumenstrom in Folge Infiltration gerechnet. 5) Für die Ermittlung der Lüftungswärmeverlust-Koeffizienten wird je Raum das höhere Zwischenergebnis aus hygienischem Mindest- oder Infiltrationsluftvolumenstrom herangezogen. 6) Schließlich ist es mittels der Differenz aus Norm-Rauminnentemperatur und Standort Norm-Außentemperatur möglich, den Norm-Lüftungswärmeverlust je Raum zu berechnen.	1) und 2) (Austrian Standards International 2015 02 15, 10-11; 22-23) 3) (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 23–24) 4) – 6) (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 21–23)
Gesamtergebnisse	In diesem Tabellenblatt werden die Teilergebnisse aus den Tabellenblättern „Hüllflächen“, „Unkonditioniert“, „Erdreich“ und „Lüftung“ je Gebäude zur Norm-Gebäudeheizlast aufsummiert.	(Austrian Standards International 2015 02 15, S. 27)
Parameter	In diesem Tabellenblatt befinden sich die normierten Tabellenwerte und zusätzliche Kennzahlen aus den Energieausweisen.	(Austrian Standards International 2015 02 15)

6.1.1 Erkenntnisse im Projektverlauf

Im Rahmen der Durchführung der Norm-Heizlastberechnungen nach ÖNORM H 7500-1 für insgesamt vier Testgebäude, werden mehrere auffällige Aspekte identifiziert, welche den Einfluss einzelner Parameter auf das Berechnungsergebnis deutlich hervorheben.

Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, beeinflusst die Norm-Außentemperatur sowohl die Transmissions- als auch die Lüftungswärmeverluste direkt. Die projektinternen Berechnungen zeigen, dass bereits geringe Änderungen dieses Parameters zu einer deutlichen Veränderung der resultierenden Norm-Heizlast führen. Diese Beobachtung ist für die spätere Diskussion von Standortklima, DVUT-Konzepten und energetischer Trägheit bedeutsam (vgl. Kapitel 3.1).

Ebenfalls bestätigt sich die hohe Sensitivität der in Kapitel 3.2.2 beschriebenen Lüftungswärmeverluste gegenüber der Zuordnung von Raumkategorien und den daraus resultierenden Luftwechselzahlen. (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 22–23)

Die Auswertungen zeigen, dass bereits die Wahl einer erhöhten Luftwechselzahl – sei es durch eine fehlerhafte Zuordnung der Raumkategorie oder durch bewusst konservative Annahmen – einen signifikanten Einfluss auf das Berechnungsergebnis haben kann.

Darüber hinaus zeigt sich, dass auch die Ermittlung der Bauteilabmessungen einen wesentlichen Einfluss auf die berechneten Transmissionswärmeverluste besitzt. Bereits unterschiedliche Flächenansätze bei gleicher Gebäudegeometrie führen zu abweichenden Ergebnissen.

Die korrekte und normkonforme Zuordnung der Raumkategorien sowie eine sorgfältige Interpretation der zugrunde liegenden normativen Vorgaben stellen somit eine wesentliche Anforderung an die Anwendung des Berechnungsverfahrens dar.

6.2 ÖNORM H 7500-3

Wie in Kapitel 3.3 beschrieben, dient das vereinfachte Hüllflächenverfahren nach ÖNORM H 7500-3 zur Berechnung der Norm-Heizlast von Gebäuden unter definierten Auslegungsbedingungen. Infolgedessen ist dieses Verfahren die zweite normative Referenz, um die Streuung zwischen detaillierter Berechnung (ÖNORM H 7500-1), vereinfachter Gebäudeheizlastrechnung (ÖNORM H 7500-3) und Simulation transparent zu machen.

6.2.1 Automatisierte Berechnung mit MATLAB

Die Berechnung der Norm-Gebäudeheizlast $P_{H7500-3}$ aller 23 Testgebäude erfolgt im Projekt auf Basis einer kombinierten Daten- und Skriptstruktur. Als Datengrundlage dient eine strukturierte Excel-Datei, während die eigentliche Berechnung mithilfe mehrerer aufeinander aufbauender MATLAB-Skripte umgesetzt wird.

Die Excel-Datenbasis umfasst sämtliche für das Verfahren erforderlichen Eingangsparameter auf Gebäudeebene. Dazu zählen insbesondere geometrische Kenngrößen, thermische Eigenschaften der Bauteile, Randbedingungen für angrenzende Bereiche sowie Lüftungstechnische und standortspezifische Parameter. Die Daten sind dabei nach thematischen Bereichen gegliedert und werden jeweils gebäudespezifisch zugeordnet.

Im ersten Schritt werden die in den Tabellenblättern enthaltenen Daten eingelesen und zu einer strukturierten Gebäudedatenbasis zusammengeführt. Diese enthält alle relevanten Eingangsparameter in gebündelter Form und bildet die Grundlage für die weiteren Berechnungsschritte.

Darauf aufbauend erfolgt die automatisierte Berechnung der Norm-Gebäudeheizlast gemäß den in Kapitel 3.3 beschriebenen normativen Ansätzen. Die Berechnungsschritte werden für alle betrachte-

ten Gebäude automatisiert durchgeführt und die Ergebnisse in die zugrunde liegende Excel-Datenstruktur zurückgeführt. (Austrian Standards International 2014 07 01)

6.3 PHPP

Das Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP) ist ein vom Passivhaus Institut entwickeltes und zertifiziertes Planungstool zur energetischen Bilanzierung von Gebäuden. Es handelt sich dabei um ein Excel-basiertes Berechnungswerkzeug, das für die Planung energieeffizienter Neubauten sowie für die Bewertung von Bestandsgebäuden und Sanierungen eingesetzt wird. Das PHPP dient insbesondere der Erstellung einer vollständigen Energiebilanz eines Gebäudes und liefert die notwendigen Nachweise für die Zertifizierung als Passivhaus-, EnerPHit oder weiteren Effizienzstandards. (Feist et al. 2022)

Auf Basis der eingegebenen Gebäudedaten werden unter anderem folgende Kenngrößen berechnet:

- Jährlicher Heizwärmebedarf
- Maximale Heizlast
- Kühlbedarf und Übertemperaturhäufigkeit
- Primärenergiebedarf sowie erneuerbarer Primärenergiebedarf

Die Berechnungen erfolgen auf Grundlage einer vereinfachten, aber physikalisch fundierten Energiebilanz, die auf Monatswerten basiert und typische klimatische Randbedingungen berücksichtigt. (Jgrovesmith 2026)

Das PHPP ist als strukturierte Excel-Arbeitsmappe aufgebaut, in der alle relevanten Eingangsparameter in thematisch gegliederten Tabellenblättern erfasst werden. Dazu zählen unter anderem geometrische Gebäudedaten, Bauteileigenschaften, Fenster- und Verschattungsparameter, Lüftungssysteme sowie haustechnische Komponenten.

Basierend auf diesen Eingaben wird eine durchgängige Energiebilanz des Gebäudes erstellt, bei der Änderungen einzelner Parameter unmittelbar Auswirkungen auf die Gesamtbilanz haben. Dadurch ermöglicht das PHPP eine iterative Optimierung des Gebäudekonzepts bereits in der Planungsphase.

Im Rahmen des vorliegenden Projekts wird das PHPP als dritte Berechnungsweise neben den normativen Verfahren nach ÖNORM H 7500-1 und ÖNORM H 7500-3 für ausgewählte Gebäude (Testgebäude 01, 02, 10 und 17) eingesetzt.

Während die beiden normativen Ansätze primär zur Bestimmung der Norm-Heizlast dienen, ermöglicht das PHPP eine ganzheitliche energetische Bewertung des Gebäudes auf Basis einer erweiterten Energiebilanz. Dadurch kann das PHPP als zusätzliche Referenz herangezogen werden, um Unterschiede zwischen normativen Heizlastansätzen und einer bilanzierten Gebäudeenergiebewertung zu analysieren. Die konkrete Anwendung des PHPP im Projekt erfolgt auf Basis der vorhandenen Gebäude- und Eingangsdaten der Testgebäude. Die Vorgehensweise bei der Dateneingabe sowie die getroffenen Annahmen werden im folgenden Abschnitt beschrieben.

6.3.1 Anwendung im Projektverlauf

Aus der Gesamtheit, der im PHPP zur Verfügung stehenden Funktionen, werden im Projekt gezielt jene Module genutzt, die für die Ermittlung der Heizlast relevant sind. Die Bearbeitung erfolgt dabei in einer strukturierten Abfolge von Eingaben, die schrittweise zu einer vollständigen energetischen Beschreibung des Gebäudes führen.

Zu Beginn wird ein geeigneter Klimadatensatz durch Auswahl von Land und Region festgelegt. Dabei handelt es sich nicht um standortspezifische Messdaten, sondern um repräsentative Klimazonen, die charakteristische Randbedingungen wie Außentemperaturen und solare Einstrahlung abbilden.

Darauf aufbauend werden die wärmetechnischen Eigenschaften der Gebäudehülle definiert. Hierzu

werden die aus den Energieausweisen bekannten Baukonstruktionen hinsichtlich ihrer thermischen Kennwerte, ihrer Lage und ihrer Anbindung an die Umgebung (Außenluft, Erdreich) beschrieben.

Die Flächeneingabe (im Tabellenblatt „Flächen“) erfolgt anhand der vorliegenden Einreichpläne sowie der im EA (Energieausweis) enthaltenen geometrischen Angaben, wobei der korrekten Ermittlung der Energiebezugsfläche eine zentrale Bedeutung zukommt, da sämtliche Berechnungsergebnisse im PHPP unmittelbar darauf basieren. Im Anschluss an die Flächenermittlung erfolgt die Definition der relevanten Wärmebrücken. Eine durchgeführte Recherche auf Basis der Fachliteratur „Neuer Wärmebrücken-katalog“ (Schoch 2023) zeigt, dass die dort angeführten Wärmebrücken-kennwerte nicht unmittelbar auf die im Projekt untersuchten Konstruktionen übertragbar sind. Aufgrund der unzureichenden Datengrundlage für eine detaillierte Bestimmung der Wärmebrücken wird im PHPP ein pauschaler Zuschlag von 0,05 [W/mK] angesetzt. Dieser Ansatz entspricht einer in den Normverfahren zulässigen Vereinfachung unter Annahme einer wärmebrückenoptimierten Bauweise. Die Verwendung desselben Zuschlags in den Berechnungen nach ÖNORM H 7500-1 sowie ÖNORM H 7500-3 stellt eine methodische Konsistenz zwischen den betrachteten Berechnungsansätzen sicher (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 16) (Austrian Standards International 2014 07 01, S. 12–13).

Ergänzend werden gebäudespezifische Randbedingungen wie Eigenschaften erdberührter Bauteile, verwendete Komponenten (z.B. Fenster, Verglasung, Lüftungssysteme und Wärmepumpen) sowie deren Ausrichtung und Einbausituation definiert. Die Beschreibung der Fenstergeometrie und deren Orientierung ermöglicht insbesondere die Berücksichtigung solarer Gewinne, während zusätzliche Angaben zu Verschattungselementen eine realistischere Abbildung der solaren Einflüsse ermöglichen. Für die Lüftung werden sowohl der Infiltrationsluftwechsel als auch – sofern vorhanden – die Auslegung mechanischer Lüftungsanlagen berücksichtigt.

Alle zuvor definierten Eingangsgrößen fließen in die abschließende energetische Bilanzierung ein. Dabei werden die einzelnen Beiträge zu Transmissions-, Lüftungswärmelast sowie solarer und interner Wärmeleistung zusammengeführt und zur Ermittlung der resultierenden Heizwärmelast des Gebäudes ausgewertet.

6.4 Dynamische Gebäudesimulation IDA ICE

Die dynamische Gebäudesimulation wird im Projekt mit der Software IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) durchgeführt. Dabei handelt es sich um ein simulationsbasiertes Berechnungsverfahren, bei dem das thermische Verhalten von Gebäuden auf Basis instationärer Randbedingungen über den zeitlichen Verlauf abgebildet wird. Im Gegensatz zu stationären oder vereinfachten Verfahren werden dabei insbesondere zeitabhängige Effekte wie solare Gewinne, thermische Speichereffekte und dynamische Anlagenreaktionen berücksichtigt. Die Arbeitsumgebung ist in mehrere Teilbereiche gegliedert, welche entweder aufeinander aufbauen oder der Eingabe, Auswertung und Kontrolle der Simulation dienen.

6.4.1 Klimadaten und Randbedingungen

Die Simulationen basieren auf standortspezifischen Klimadatensätzen mit stündlicher Auflösung (8760 Werte pro Jahr). Diese enthalten insbesondere Außenlufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit sowie direkte und diffuse solare Einstrahlung. Die verwendeten Klimadaten stammen aus zwei Quellen. Die meteorologischen Größen Außenlufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit werden aus dem Datensatz „INCA-v1 (1 h): Meteorologische Analysedaten für Österreich“ über das Datenportal von GeoSphere Austria bezogen (GeoSphere Austria 2021). Die solaren Einstrahlungswerte werden aus dem Datensatz „CAMS solar radiation time-series“ über den Atmosphere Data Store entnommen (Copernicus Atmosphere Monitoring Service 2020). Die Daten werden für die Jahre 2022 – 2025 über eine API-Schnittstelle abgerufen und zu jährlichen Klimadatensätzen

zusammengeführt. Dadurch wird die Durchführung mehrjähriger Simulationen ermöglicht. In Kombination mit den Standortparametern (Breitengrad, Längengrad, Seehöhe und Ausrichtung) können solare Gewinne und Verschattungseffekte im Modell entsprechend berücksichtigt werden.

6.4.2 Geometrische Modellierung

Die Gebäudegeometrie wird auf Grundlage der Einreichpläne detailliert nachgebildet. Das Simulationsmodell umfasst das gesamte Gebäudevolumen und bildet die einzelnen Räume als thermische Zonen ab. Der geometrische Detailgrad ist hoch, sodass auch komplexe Geometrien wie schräge Wände oder mehrgeschossige Verbindungen berücksichtigt werden. Eine Besonderheit in der Modellierung stellen Stiegenhäuser dar. Handelt es sich um offene Stiegenhäuser, welche also praktisch einen Luftwechsel in zwei oder mehr Geschossen verursachen, werden diese entsprechend als eine Zone über die Geschosse mit einer Öffnung modelliert, um diesen Luftwechsel nachzubilden. Das Gebäudemodell erhält auch Fenster sowie Außentüren und zwischen den Räumen liegende Innentüren. In Abbildung 6-1 wird die Visualisierung des dreidimensionalen Simulationsmodells eines ausgewählten Testgebäudes veranschaulicht.

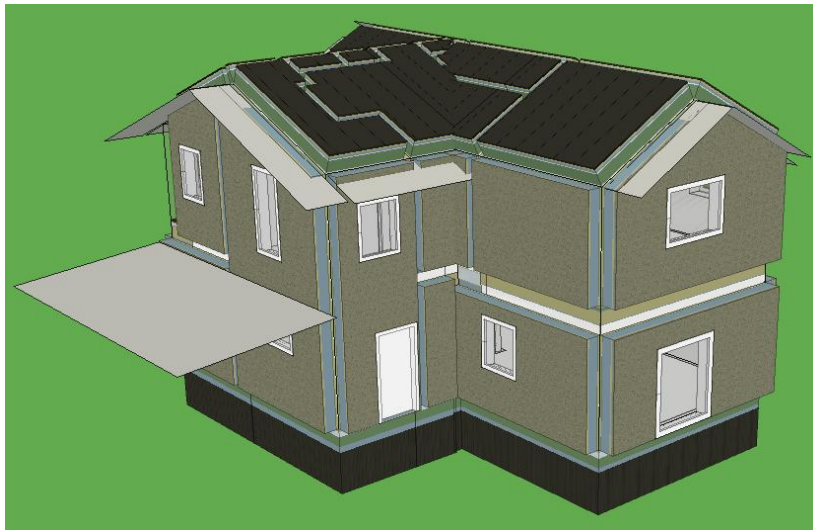


Abbildung 6-1 IDA ICE Simulationsmodell 3-D Visualisierung

6.4.3 Bauteile und thermische Eigenschaften

Die thermischen Eigenschaften der Gebäudehülle werden auf Basis der im Energieausweis enthaltenen Baukonstruktionen definiert. Hierzu werden die einzelnen Schichtaufbauten übernommen und thermisch charakterisiert. Die Materialkennwerte werden anhand tabellierter Bemessungswerte nach ÖNORM B 8110-7 sowie ergänzend aus der Materialdatenbank baubook² zugeordnet (Austrian Standards International 2013 03 15). Zur Reduktion von Redundanzen werden die Materialbezeichnungen aus den Energieausweisen vereinheitlicht und in einer projektspezifischen Datenstruktur zusammengeführt.

² <https://www.baubook.at/zentrale/>

6.4.4 Anlagentechnik und Randbedingungen

Ein wesentlicher Bestandteil des Simulationsmodells ist das Anlagenmodell. Darin werden die relevanten Komponenten der Wärmeversorgung definiert.

Dazu zählen:

- Die WP (Wärmepumpe) mit entsprechender Nennwärmeleistung P_{WP} gemäß Tabelle 2
- Der Warmwasserspeicher gemäß Energieausweis
- Die Wärmequelle (Erdreichwärmetauscher)
- Die Vorlauftemperatur der wassergeführten Heizelemente gemäß Angaben zur Raumheizung in den EA

Für Gebäude mit raumluftechnischen Anlagen wird zusätzlich ein Standard-Lüftungsmodell integriert. Dabei wird der Wärmerückgewinnungsgrad WRG_{eta} gemäß Tabelle 2 und die Zulufttemperatur entsprechend den Klimadaten angesetzt. In den jeweiligen Zonen werden die Zu- und Abluftvolumenströme ebenfalls gemäß Tabelle 2 definiert. Die Infiltration für das gesamte Gebäude – unabhängig von raumluftechnischen Anlagen – kann abhängig von der Datenlage entweder über die Luftdichtheit bei 50 Pa oder über einen konstanten Luftwechsel angesetzt werden.

Die Sollinnentemperatur T_{int} aller konditionierten Zonen wird einheitlich mit 20 °C angesetzt und entspricht den normativen Vorgaben gemäß ÖNORM H 7500-3 (Austrian Standards International 2014 07 01, S. 8).

Nach der Einstellung des Anlagenmodells werden in den konditionierten Zonen die Parameter der wassergeführten Heizelemente (bauteilintegrierte Flächenheizung) definiert. Für die Simulation dieser Systeme sind insbesondere die Auslegungsleistung in W/m^2 , das Temperaturdelta zwischen Vorlauf- und Rücklauftemperatur sowie die Einbautiefe in der Baukonstruktion maßgebend.

6.4.5 Interne Gewinne und Nutzung

Interne Wärmegewinne werden auf Basis der Belegungspläne für Energieberechnungen von Wohngebäuden gemäß ÖNORM EN 16798-1 angesetzt. Diese legen Richtwerte für interne Lasten fest, welche sich mit 2,8 W/m^2 auf Nutzer und 2,4 W/m^2 auf Geräte aufteilen. In IDA ICE werden diese internen Einträge als zeitabhängige Wärmequellen modelliert und über die in der Norm definierten Nutzungsprofile gewichtet (Austrian Standards International 2024a 03 01, S. 84–85).

6.4.6 Simulationsdurchführung und Auswertung

Die Simulation wird jeweils für ein vollständiges Jahr mit stündlichem Intervall durchgeführt. Ziel der Auswertung ist die Bestimmung der notwendigen Heizleistung zur Einhaltung der definierten Sollinnentemperatur. Hierzu wird ein iterativer Ansatz angewendet, bei dem die Leistungsparameter der wasserführenden Heizelemente so angepasst werden, dass die Norm-Innentemperatur (aus Kapitel 6.4.4) über den gesamten Simulationszeitraum eingehalten wird. Als Bewertungsgröße dienen die Stunden, in denen die Solltemperatur nicht erreicht wird. Die resultierende Leistungsabgabe der wasserführenden Heizelemente wird anschließend exportiert und für die weitere Analyse der Heizlastverläufe verwendet.

Die zugrunde liegende Berechnung basiert auf einem dynamischen Simulationsansatz, bei dem das thermische Verhalten des Gebäudes und der Anlagensysteme als gekoppelte Gleichungssysteme beschrieben und zeitabhängig gelöst wird. Dabei werden alle relevanten physikalischen Prozesse – wie Wärmeübertragung, Luftströmungen und Anlagenregelungen – kontinuierlich im Zeitverlauf berücksichtigt. (EQUA Simulation AB 2013)

6.4.7 Projektspezifische Herausforderungen und Vereinheitlichung

Die Erstellung der Simulationsmodelle erfolgt auf Basis von Energieausweisen und Planunterlagen, wobei die verfügbaren Informationen teilweise unvollständig sind. Fehlende geometrische oder materialtechnische Angaben (wie beispielsweise detaillierte Fenstermaße, Details der Dächer und detaillierte Bauteilinformationen für Innenwände), werden durch normative Werte und zusätzliche Datenquellen ergänzt.

Zur Sicherstellung einer konsistenten Vergleichbarkeit zwischen den Gebäuden wird im Projektverlauf eine optimierte und einheitliche Modellierungsstrategie entwickelt. Die Erstellung der Simulationsmodelle erfolgt dabei zunächst gebäudespezifisch auf Basis der jeweiligen Geometrie.

Für die weiteren Modellierungsschritte wird ein standardisierter Arbeitsprozess angewendet, der in Form einer Checkliste strukturiert ist. Diese umfasst wiederkehrende Tätigkeiten wie die Eingabe von internen Lasten, Nutzungsprofilen, Lüftungsparametern und Anlagenkennwerten, die Festlegung der Sollinnentemperatur von 20 °C, die Integration der Flächenheizelemente in die Zonen sowie die systematische Überprüfung der Modelle hinsichtlich Vollständigkeit und Konsistenz (z.B. Bauteilkonstruktionen, Ausrichtung, Fenster-, Tür- und Verschattungselemente).

Durch diese standardisierte Vorgehensweise werden wiederkehrende Teilprozesse vereinheitlicht und die Vergleichbarkeit der Simulationsergebnisse über alle Testgebäude hinweg sichergestellt.

6.5 Alternative Berechnungsweise wpplus

Unter „wpplus“ wird im Bericht eine praxisorientierte Abschätzungsmethode auf Basis eines Berechnungsmodells verstanden, das sich an standortspezifischen Volllaststunden und der Hottinger-Zahl orientiert und mit wenigen Eingangsparametern eine robuste Erstabschätzung der Heizlast ermöglicht. (Saippuakauppias et al. 2025)

Die Methodik greift auf Projektdaten aus dem Energieausweis zurück und setzt dort beim ermittelten Heizwärmebedarf an, der im Monatsbilanzverfahren unter Berücksichtigung standortspezifischer Klimadaten, der solaren Architektur sowie der vorgesehenen Anlagentechnik (z.B. raumlufthechnische Anlagen mit Wärmerückgewinnung) bestimmt wird. Auf dieser Grundlage wird die erforderliche Heizlast über individuelle Volllaststunden rückgerechnet.

Diese werden standortspezifisch aus den Heizgradtagen, der Temperaturdifferenz zwischen Soll-Innen- und Normaußentemperatur (Volllasthub) sowie der genannten Hottinger-Zahl abgeleitet. Letztere beschreibt die täglich zur Verfügung stehenden Heizstunden und berücksichtigt Einflüsse wie Warmwasserbereitung, Sperrzeiten des Energieversorgers sowie planerische Sicherheitsreserven.

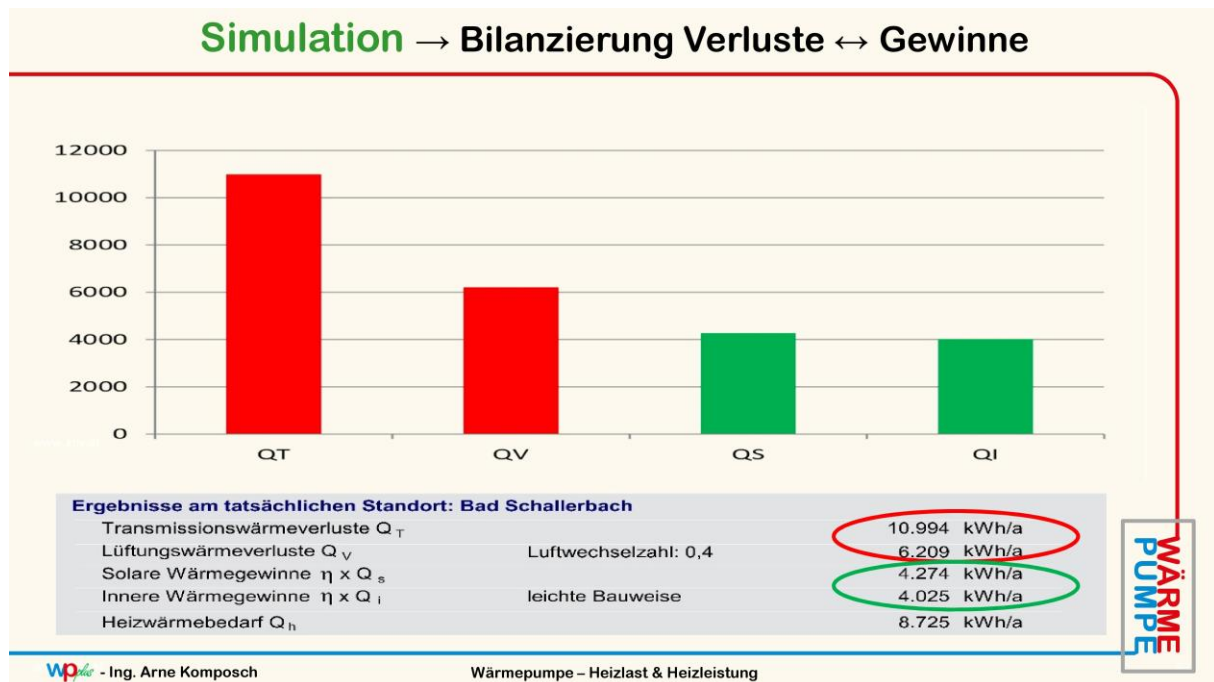


Abbildung 6-2 Heizwärmebedarf: Bilanzierung Verluste/Gewinne im EA für Testgebäude 02 (Quelle: eigene Darstellung wpplus)

Sensitivitätsanalysen - wie in Abbildung 6-2 - zeigen eine gut nachvollziehbare Abhängigkeit der Ergebnisse insbesondere von Soll-Innentemperatur und Volllaststunden. Im Vergleich zu rein verlustbasierten normativen Verfahren und Energieausweis-Heizlasten liegen die Ergebnisse nahe den gemessenen Lasten und können somit, als realitätsnahe Abschätzung des tatsächlichen Bedarfs interpretiert werden.

Die Methodik ist insbesondere im Bereich kleinteiliger Projekte langjährig etabliert und durch begleitendes Monitoring validiert. Sie ergänzt die normativen Berechnungsverfahren und liefert bereits in frühen Projektphasen eine belastbare Indikation für mögliche Überdimensionierungen.

Eine ähnliche Methodik wird in der Schweiz eingesetzt. Die 'Schweizer Formel' ist ein vereinfachtes Verfahren zur Bestimmung der Heizlast eines Gebäudes. Sie wurde vom Schweizer Bundesamt für Energie entwickelt. Auch hier wird der Zusammenhang zwischen Heizwärmebedarf und Heizlast über Volllaststunden hergestellt (EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE 2016).

7 Ergebnisse und Datenanalysen

Wie in Kapitel 1 geschildert ist ein direktes Projektziel konkrete Abweichungen zwischen rein verlust-basierten statischen Norm-Heizlastberechnungsmethoden (ÖNORM H 7500-1 und ÖNORM H 7500-3) und den Resultaten dynamischer Gebäudesimulation sowie alternativen Berechnungsmethoden für Gebäude mit sehr guten wärmetechnischen Kennwerten zu identifizieren. Diesen Ergebnissen werden Monitoringdaten aus dem realen Betrieb gegenübergestellt; ergänzend wird die in den Energieausweisen ausgewiesene Heizlast P_{totEA} als zusätzliche Vergleichsgröße herangezogen.

7.1 Randbedingungen der Datengrundlage

Für den Vergleich der Norm-Heizlasten, den Ergebnissen aus den verschiedenen Berechnungsmethoden und den Monitoringdaten sind zunächst bestimmte Randbedingungen hinsichtlich der Datenlage zu berücksichtigen.

Die Norm-Heizlastberechnungsmethoden, das PHPP-Tool, die Berechnungsweise wpplus sowie die Abschätzungen laut EA ergeben jeweils einen statischen Heizlastwert. Das bedeutet die Heizlastresultate sind zeitunabhängig und im Fall der Norm-Heizlast bezogen auf die Norm-Außentemperatur. Im Zuge der in Kapitel 4 beschriebenen Datenerhebung stehen die Bestandsenergieausweise der Testgebäude zur Verfügung. Die darin ausgewiesene Heizlastabschätzung wird als zusätzlicher Referenzwert in die Auswertung einbezogen. Eine erneute Ermittlung dieser Kennwerte ist im Rahmen des Projekts daher nicht erforderlich.

Die realen Monitoringdaten sowie die Simulationsergebnisse hingegen, sind zeitlich variabel und jeweils beeinflusst durch die aktuelle Außentemperatur, solare Einstrahlung, interne Gewinne sowie Lüftungseinflüsse. Unter Bezug auf Kapitel 5 werden im Projekt die Betriebsdaten der Wärmepumpensysteme aus dem Monitoring-Netzwerk übertragen, welche in erster Näherung nicht zwingend die Heizlastanforderungen des Gebäudes, sondern gleitende Heizleistungen, resultierend aus dynamischen Regel- und Einschwingprozessen der Wärmepumpe, repräsentieren.

In Anlehnung an Kapitel 6.4 entspricht die ermittelte (simulierte) Heizlast der jeweils im betrachteten Zeitschritt erforderlichen Abgabeleistung der Heizelemente, um die vorgegebene Sollinnentemperatur durch die integrierten Regelungsmechanismen aufrechtzuerhalten. In IDA ICE erfolgt dies über modellierte Heizsysteme und Regler, welche die Zonentemperatur fortlaufend an den Sollwert anpassen (EQUA Simulation AB 2013). Aufgrund dieser zeitabhängigen Berechnungsweise stellen die Ergebnisse keine geglätteten oder gemittelten Heizlastwerte dar, sondern Momentanwerte, die direkt ungepuffert auf Änderungen der Randbedingungen reagieren. Kurzfristige Schwankungen der Einflussgrößen (z.B. Außenklima oder interne Gewinne) führen daher unmittelbar zu entsprechenden Änderungen der berechneten Heizlast.

7.2 Monitoringdaten Analyse

Auf Basis dieser Randbedingungen sowie der in Kapitel 5 beschriebenen Datenaufbereitung werden zunächst verschiedene Ansätze für die Analyse der realen Monitoringdaten verfolgt. Diese methodischen Zugänge entwickeln sich im Zuge des Projektfortschritts und führen zu einer schrittweisen Erweiterung der Auswertungslogik.

Für eine möglichst ganzheitliche Interpretation der beobachteten Heizleistungen werden neben der thermischen Leistung zusätzliche Monitoringparameter berücksichtigt. Dazu zählen insbesondere die Außentemperatur gemäß Monitoringdaten, die Rauminnentemperatur, die Verdichterfrequenz der Wärmepumpe als Indikator für die aktuell abgerufene Leistung, die Außentemperatur aus Klimadaten-sätzen als externer Referenzwert sowie die direkte und diffuse solare Einstrahlung.

Die Einbindung dieser Parameter ermöglicht es, Zusammenhänge und Abweichungen über den rei-

nen Zusammenhang zwischen Außentemperatur und Heizlast hinaus zu identifizieren und somit ein erweitertes Verständnis des realen Betriebsverhaltens der Gebäude zu gewinnen.

Die ersten zur Verfügung stehenden Monitoringdaten stammen von Testgebäude 21 (schwer, RLT: ja). Bereits in der initialen Betrachtung der Rohdaten sind kurzfristige und auffällig hohe Heizleistungsspitzen erkennbar (vgl. Abbildung 7-1). Diese Spitzenwerte überschreiten teilweise die Nennwärmeleistung der Wärmepumpe (vgl. mit Tabelle 2) und weisen bei genauerer Analyse (vgl. mit Abbildung 7-2) charakteristische Datensprünge auf.

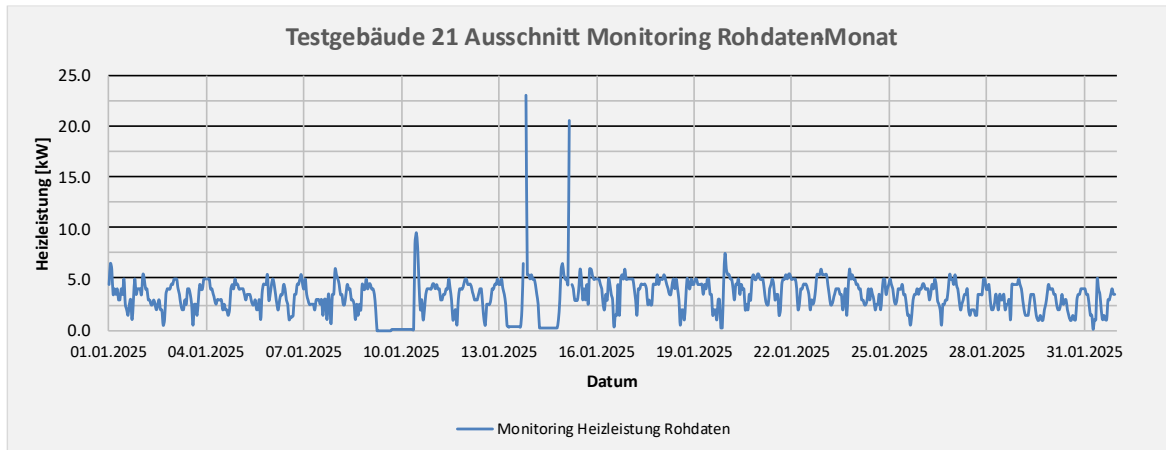


Abbildung 7-1 Testgebäude 21 Ausschnitt Monitoring Rohdaten (Zeitraum Monat)

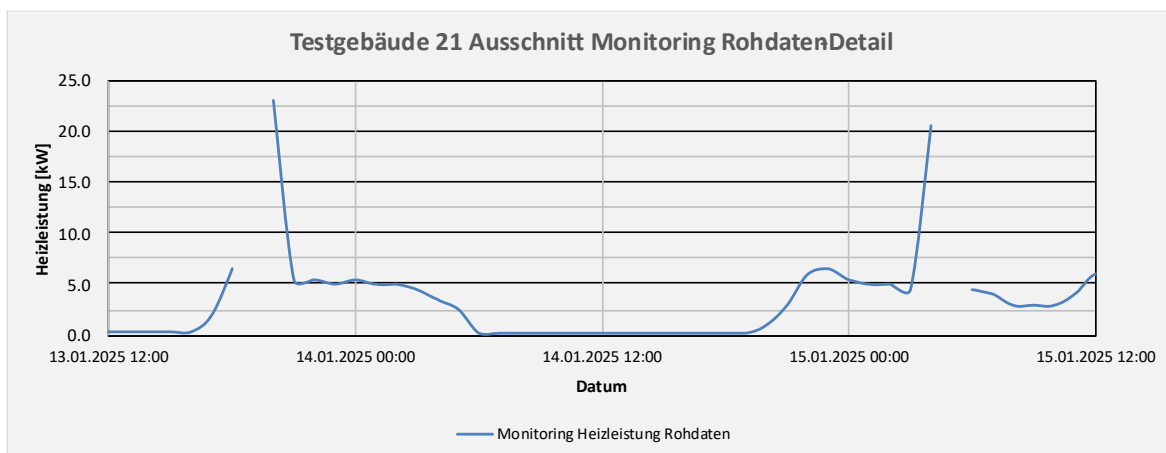


Abbildung 7-2 Testgebäude 21 Detail Ansicht Monitoring Rohdaten

Die aus den Wärmemengenzählerdaten abgeleitete Heizleistung stellt dabei nicht den einzigen betroffenen Parameter dar. Auch bei weiteren Sensorgrößen, wie beispielsweise der Rauminnentemperatur, treten vereinzelt offensichtlich unplausible Messwerte auf.

Diese Datenschnitte verdeutlichen ein grundlegendes Problem der ereignisbasierten Aufzeichnungslogik des verwendeten Monitoring-Systems (vgl. Kapitel 5). Die ereignisbasierte Datenerfassung führt nicht nur zu inkonsistenten Zeitstempeln, sondern erhöht die Wahrscheinlichkeit von Messfehlern oder sprunghaften Wertänderungen.

Unter diesen Rahmenbedingungen ist eine sorgfältige Analyse der Monitoringdaten erforderlich, bei der potenzielle Datenfehler identifiziert und unter Berücksichtigung zusätzlicher Kontextinformationen bewertet werden, um geeignete Entscheidungen hinsichtlich deren Berücksichtigung oder Ausschluss treffen zu können.

7.2.1 Monitoring Analyse der maximalen Heizleistungen im Betrachtungszeitraum

Ein erster Analyseansatz erfolgt zunächst ohne explizite Bereinigung der identifizierten Datenauffälligkeiten und orientiert sich bewusst am grundlegenden Denkmodell der normativen Heizlastberechnung nach ÖNORM H 7500-1. Dabei wird angenommen, dass die höchsten Heizleistungen im Monitoring in zeitlicher Nähe zu den niedrigsten Außentemperaturen des betrachteten Zeitraums auftreten (vgl. Kapitel 3.2.2). Auf dieser Grundlage werden die Monitoringdaten gezielt auf Zeitpunkte mit maximal auftretenden Heizleistungen hin ausgewertet, um die gemessenen Leistungsanforderungen mit der normativen Heizlastvorstellung zu vergleichen.

In der direkten Gegenüberstellung der stündlichen Monitoring-Heizleistungen mit der berechneten Norm-Heizlast nach ÖNORM H 7500-3 zeigt sich an einem dieser Maximalwert-Zeitpunkte ein unerwartetes Verhalten. Für einen Zeitraum von etwa drei Stunden steigt die gemessene Heizleistung auf Werte zwischen 8 und 9,5 kW an und erreicht damit die Größenordnung der berechneten Norm-Heizlast (vgl. mit Abbildung 7-3).

Dieses Ergebnis steht zunächst im Widerspruch zur im Projekt formulierten Hypothese, dass die Norm-Heizlast als konservative Obergrenze zu verstehen ist und im realen Betrieb – insbesondere bei Niedrigstenergiegebäuden – deutlich unterschritten wird.

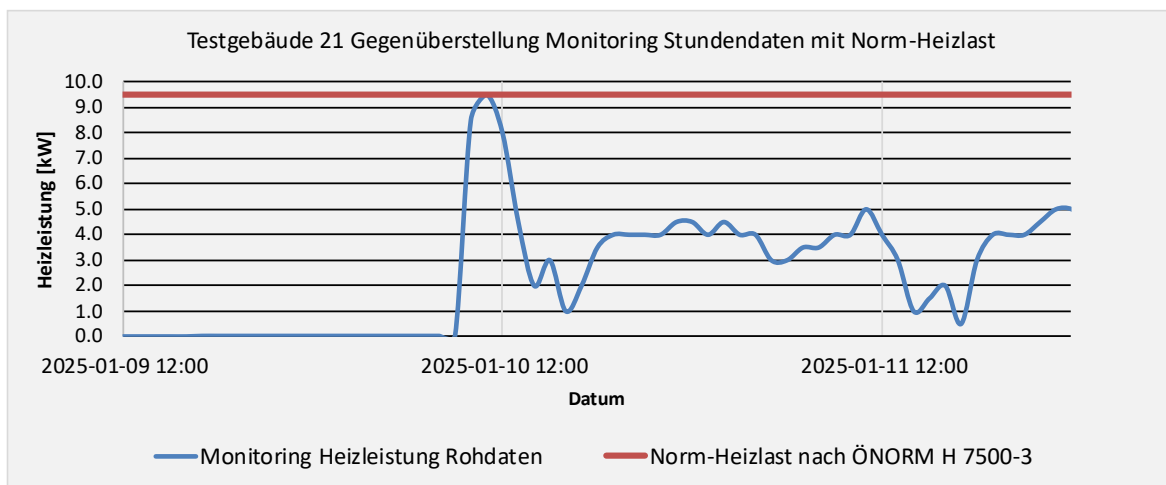


Abbildung 7-3 Testgebäude 21 Gegenüberstellung Monitoring Stundendaten mit Norm-Heizlast

Aufbauend auf dieser initialen Beobachtung wird ein vertiefender Analyseansatz verfolgt. Analog zur in Kapitel 5 beschriebenen Datenaufbereitung werden zur Reduktion kurzzeitiger Schwankungen, die durch Regulationsmechanismen oder betriebliche Effekte beeinflusst sein können, gleitende Mittelwerte über unterschiedliche Zeiträume (3, 6 und 12 Stunden) gebildet.

Zu solchen Regulationsmechanismen und betrieblichen Effekten zählen beispielhaft:

- Aufholheizen nach Verdichterstarts
- Warmwassertakten
- Lastverschiebungen durch Strompreisführung der Wärmepumpe
- Zeitprogramme zur PV-Ankopplung der Wärmepumpe

Zusätzlich werden weitere relevante Einflussgrößen in die Analyse integriert. In der zusammenfassenden Darstellung (vgl. Abbildung 7-4) werden die gemittelten Heizleistungen mit der Verdichterfrequenz der WP, den solaren Einstrahlungen sowie den Temperaturverläufen aus Monitoring- und Klimadaten gegenübergestellt. Die Zuordnung der verwendeten Bezeichnungen erfolgt in Tabelle 4.

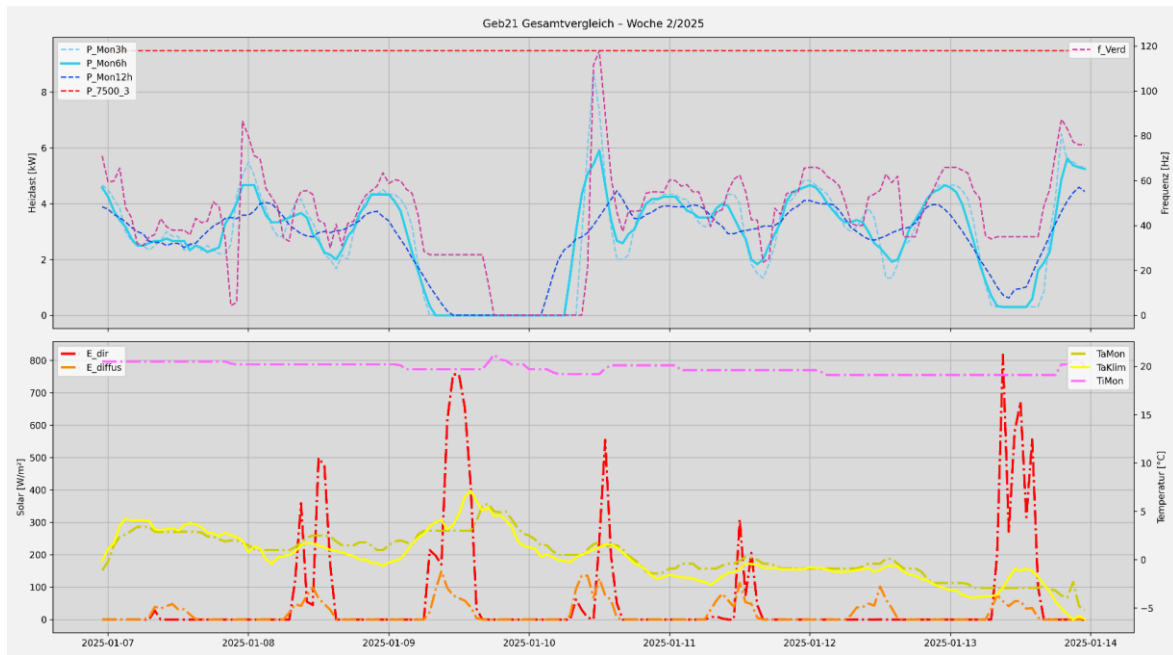


Abbildung 7-4 Testgebäude 21³ Gesamtvergleich Monitoringdaten Spitzenlasten mit Klimadaten

Tabelle 4 Diagramm Kürzel Zuordnung für Monitoringdaten Analysen

Diagramm Kürzel	Bezeichnung
P_Mon3h	Monitoring Heizleistung im 3-Stundenmittel
P_Mon6h	Monitoring Heizleistung im 6-Stundenmittel
P_Mon12h	Monitoring Heizleistung im 12-Stundenmittel
P_Mon24h	Monitoring Heizleistung im 24-Stundenmittel
P_Sim6h	Heizlast Simulation im 6-Stundenmittel
P_Sim6h_max	Maximale Heizlast Simulation im 6-Stundenmittel
P_7500_3	Berechnete Norm-Heizlast nach ÖNORM H 7500-3
f_Verd	Verdichter Frequenz der Wärmepumpe
E_dir	Direkte solare Einstrahlung
E_diffus	Diffuse solare Einstrahlung

³ Bauweise schwer, RLT: ja

T_{aMon}	Außentemperatur laut Monitoring
T_{aKlim}	Klimadaten Außentemperatur
T_{iMon}	Raumtemperatur laut Monitoring

Die detaillierte Analyse zeigt ein unerwartetes Verhalten: Die höchste gemessene Heizleistung tritt nicht bei besonders niedrigen Außentemperaturen und gleichzeitig erhöhtem solaren Eintrag auf. Stattdessen handelt es sich um eine kurzfristige Leistungsspitze, die bei vergleichsweise moderaten Außentemperaturen (zwischen ca. -2 und +2 °C) und gleichzeitig erhöhtem solarem Eintrag auftritt.

Diese Beobachtung beschränkt sich auf einen Einzelfall innerhalb von Testgebäude 21 und ist nicht als generelles Verhalten über alle untersuchten Gebäude zu interpretieren.

Unabhängig davon steht das beobachtete Verhalten im Widerspruch zur klassischen Erwartung aus der normativen Heizlastbetrachtung, wonach maximale Heizleistungen primär durch niedrige Außentemperaturen bestimmt werden. Die Analyse dieses Verhaltens führt zur zentralen Fragestellung, warum eine kurzfristige maximale Heizleistung bei erhöhtem solarem Eintrag und nicht bei minimalen Außentemperaturen auftritt.

Die Bewertung des Einflusses der solaren Einstrahlung ist dabei mit Unsicherheiten verbunden, da keine detaillierten Informationen zum Einsatz und zur Nutzung außen liegender Sonnenschutzsysteme vorliegen. Eine belastbare quantitative Bewertung des solaren Einflusses innerhalb dieser Monitoring-Analyse ist daher nicht möglich. Es wird jedoch angenommen, dass der Einsatz von außen liegendem Sonnenschutz bei durchschnittlicher solarer Architektur während der Heizperiode eine untergeordnete Rolle spielt.

Die Ursache für das beobachtete Verhalten wird im weiteren Verlauf in der Betriebsstrategie des Gebäudes identifiziert. Im betrachteten Zeitraum erfolgt der Betrieb energieflexibel mit einer gezielten Lastverschiebung auf Zeiträume mit günstigeren dynamischen Strompreisen.

Diese Betriebsweise erkennt man im Monitoring durch den aktivierten Parameter „Aktueller Preis (AWAT1) (exkl. Gebühren):“ in den Regler Einstellungen. Die Funktionslogik der 'Strompreisautomatik' ermöglicht einen netzgeführten Betrieb der Wärmepumpe, indem sie den stundenvariablen Strompreis zusätzlich zur Außentemperatur per Heizkurve zur Berechnung des aktuellen Vorlauf Sollwerts heranzieht. Die Heizkurve wird hier einfach 'verbogen', und zwar im gleichen Ausmaß nach oben und nach unten, sodass die Tagesbilanz der berechneten und gelieferten Wärmemenge unverändert bleibt. Die 6 teuersten Stunden werden mit den 6 günstigsten Stunden jedes Tages abgeglichen und die Heizlast temporär verschoben. Somit wird ein netzdienlicher Betrieb bei erdgekoppelten Wärmepumpen möglich. Dabei wird den Spitzenlaststunden im Netz (Morgenspitze, Abendspitze) ausgewichen und nächtliche Schwachlaststunden werden bevorzugt genutzt. Erdgekoppelte Wärmepumpen können diese Sektorkopplung ohne Einschränkung umsetzen, da ihre Wärmequelle unabhängig von nächtlichen Tieftemperaturen der Außenluft ist und auch keine regulatorischen Schalllimitierungen den nächtlichen Betrieb einschränken (Silent Mode).

In Österreich ist dieser netzgeführte Betrieb von Wärmepumpen seit 2018 durch die ersten Hersteller verfügbar (Schmitz 2018). Neben einem Internetanschluss für die Wärmepumpe ist dabei vor allem ein Smartmeter seitens Netzbetreiber notwendig. Diese sind Stand 2026 landesweit zu 97 % ausgerollt. Seit Beginn dieses Jahres wird auch der Netzpreis variabel gestaltet, durch SNAP und WiNAP, den Sommer-Nieder-Arbeitspreis bzw. Winter-Nieder-Arbeitspreis. Durch die Verteilung des saisonalen Heizbedarfs ist eine höhere Leistungsklasse - bei derartiger Lastverschiebung - nicht nötig. Zum überwiegenden Großteil der Heizperiode liegt der aktuelle Bedarf bei oder unter der Hälfte der Ausle-

gungslast (vgl. Abbildung 2-1). Es steht daher die doppelte Leistung zur netzdienlichen Lastverschiebung zur Verfügung⁴.

Abbildung 7-5 zeigt diesen netzgeführten Betrieb der Wärmepumpe. Der Energiepreis schwankt in dieser Dezemberwoche zwischen 40 ct/kWh und 5 ct/kWh. Die Wärmepumpe moduliert zwischen 20 Hz und 75 Hz bei einer technisch möglichen Grenze von 120 Hz. Der Regler verarbeitet den aktuellen Energiepreis als zweite Führungsgröße neben der Außentemperatur. In den 6 günstigsten Tagesstunden wird die Heizkurve in gleichem Maß nach unten verbogen wie in den 6 teuersten Stunden nach oben. Dadurch bleibt die tägliche Wärmebilanz unverändert.

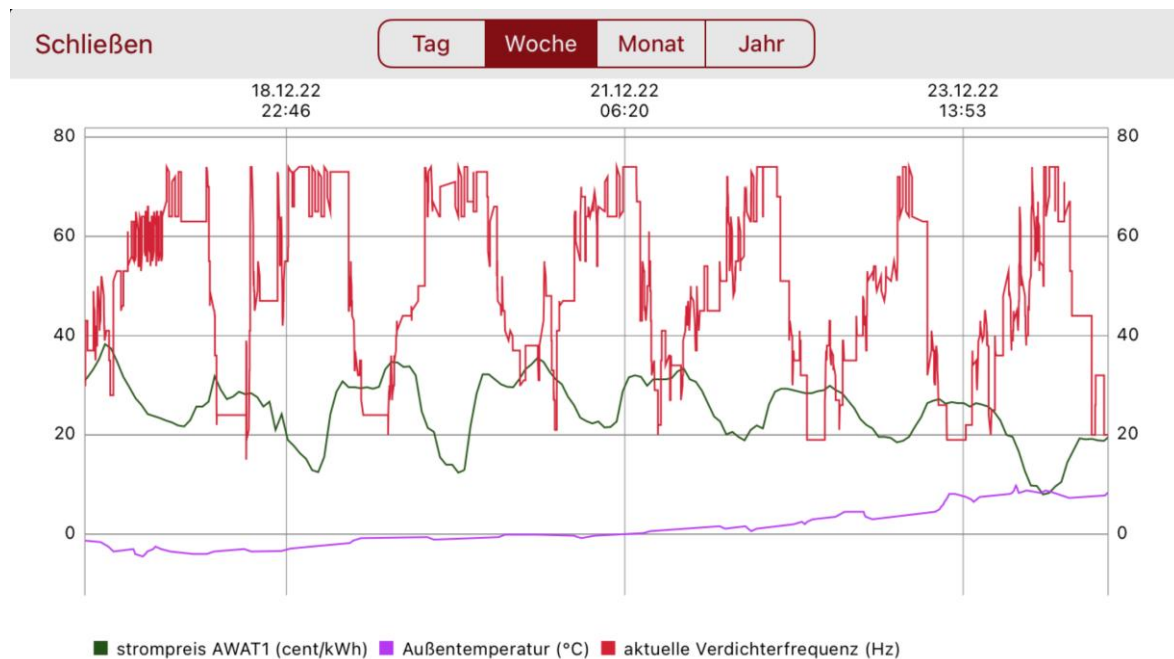


Abbildung 7-5 Netzgeführter Betrieb einer Wärmepumpe (Quelle: wpplus/myUplink Pro Web 2026)

Auf Basis der Auskunft durch die im Projekt beteiligten Projektpartner ist für das gezeigte Zeitintervall bekannt, dass diese Betriebsstrategie in Testgebäude 21 zu diesem Zeitpunkt tatsächlich aktiviert wurde, da sie in diesem Zeitraum neu implementiert wurde.

Aufbauend auf den Ergebnissen aus Testgebäude 21 wird die Analyse auf weitere Gebäude aus unterschiedlichen Kategorien ausgeweitet. Dabei wird gezielt untersucht, ob das dort beobachtete Verhalten auch in anderen Fällen auftritt. Die Auswertung zeigt über mehrere Gebäude hinweg ein konsistentes Muster:

Maximale Heizleistungen treten nicht systematisch in zeitlicher Nähe zu den niedrigsten Außentemperaturen auf, sondern häufig in Übergangsphasen, Umschaltphasen oder zu Beginn der Heizperiode. In diesen Zeiträumen, insbesondere beim erstmaligen Aufheizen nach Unterschreitung der Heizgrenztemperatur, werden erhöhte Leistungsanforderungen beobachtet, die nicht klimatisch bedingt, sondern in Einschwingprozessen (Aufholheizen) der Wärmepumpenregelung begründet sind. Diese treten vor allem an der Heizgrenze, beim Takten bzw. Starten der Wärmepumpe und beim Umschalten vom Warmwassertakt zum Heizbetrieb auf.

⁴ <https://www.sn.at/wirtschaft/oesterreich/e-control-legt-strom-verordnung-mit-winter-netzrabatt-vor-art-659495>

Diese Beobachtung bestätigt sich in Abbildung 7-6 und Abbildung 7-7 (Testgebäude 05 und 01). Auch hier treten die maximalen Heizleistungsspitzen nicht bei minimalen Außentemperaturen, sondern im Bereich von -2,5 und +5 °C auf.

In den folgenden Kurven ist im oberen Diagrammbereich die aktuelle Wärmepumpenleistung dargestellt. Diese wird in drei Blautönen je nach Zeitraum der gleitenden Mittelwertbildung (3, 6 und 12 h) gezeigt. Zusätzlich ist die Verdichterfrequenz in violett dargestellt. Die obere rote Begrenzung kennzeichnet die Normheizlast nach ÖNORM H 7500-3.

Im unteren Diagrammbereich sind die klimatischen Eingangsparameter dargestellt. Die Außentemperaturen laut Klimadaten und Monitoring sind in Gelb und Ocker dargestellt, die Rauminnentemperatur in Rosa. Ergänzend werden die direkte und diffuse Globalstrahlung gezeigt.

Man erkennt die vorlaufgeführte Regelung der Wärmepumpe über die Heizkurve:

Bei nächtlich sinkenden Außentemperaturen, die Tageswechsel (jeweils um Mitternacht) sind durch das vertikale Hilfsgitter markiert, erhöht die Wärmepumpe ihre Leistung. Steigen die Außentemperaturen tagsüber, wird die Heizleistung entsprechend reduziert.

Die Wärmepumpe folgt dabei dem über die Heizkurve vorgegebenen gleitenden Vorlauf-Sollwert, welcher von der gemessenen Außentemperatur abhängt. Die Heizkurve bildet dabei die Gebäudekennlinie ab, die in vielen Reglern bereits als degressive Kurve und nicht mehr als lineare Gerade hinterlegt ist (vgl. Abbildung 7-17 und Abbildung 7-18 in Kapitel 7.4). Die tatsächliche Wärmeabnahme des Gebäudes - als Bilanzierung der Außentemperatur getriebenen Verluste mit inneren und solaren Gewinnen - fließt in den Rücklauf-Istwert des Wärmeabgabesystems ein. Die Wärmepumpe erhöht den Rücklauf im Durchlaufprinzip entsprechend ihrer aktuellen Leistung zum Vorlauf.

Ablesbar ist dieses Verhalten an der Spreizung zwischen Vor- und Rücklauftemperatur. Trifft aufgrund einer erhöhten Wärmeabnahme ein kühlerer Rücklauf an der Wärmepumpe ein, muss diese ihre Leistung erhöhen, um den erforderlichen Vorlauf-Sollwert zu erreichen. Fällt die Wärmeabnahme geringer aus, gelangt ein wärmerer Rücklauf zur Wärmepumpe zurück, wodurch die Leistung reduziert werden kann.

Besonders gut erkennbar ist dieses Verhalten an den annähernd spiegelbildlich verlaufenden Hüllkurven von Außentemperatur (gelb) und Wärmepumpenleistung (blau) in Abbildung 7-7.

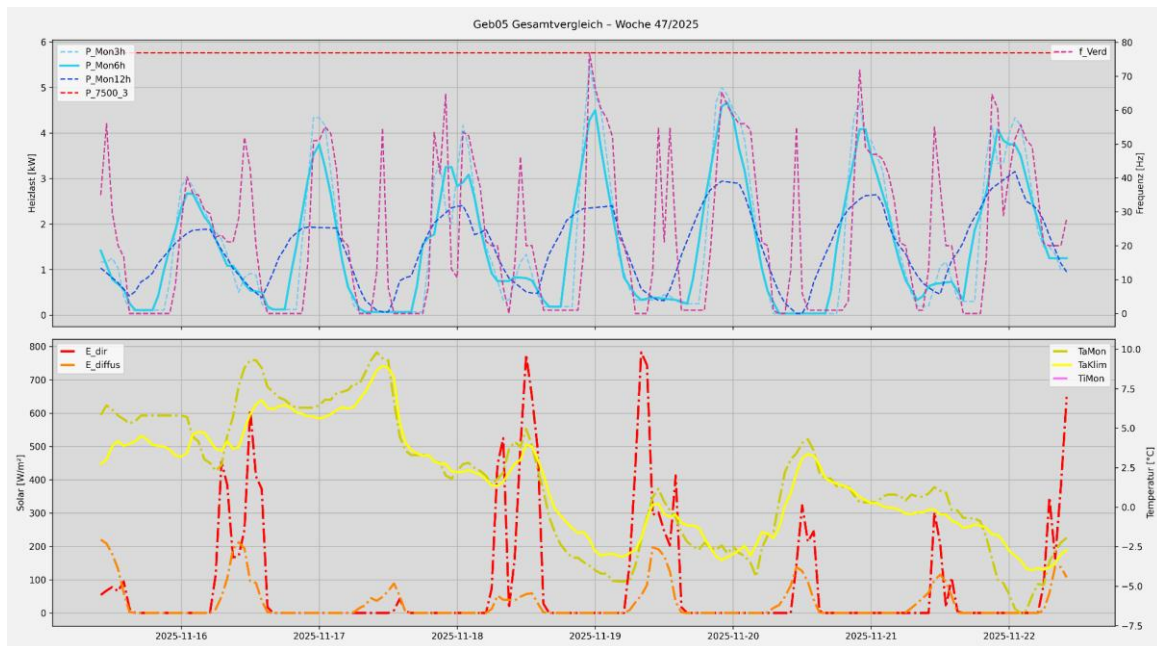


Abbildung 7-6 Testgebäude 05⁵ Gesamtvergleich Monitoringdaten Spitzenlasten mit Klimadaten (Erklärung der Kürzel in Tabelle 4)

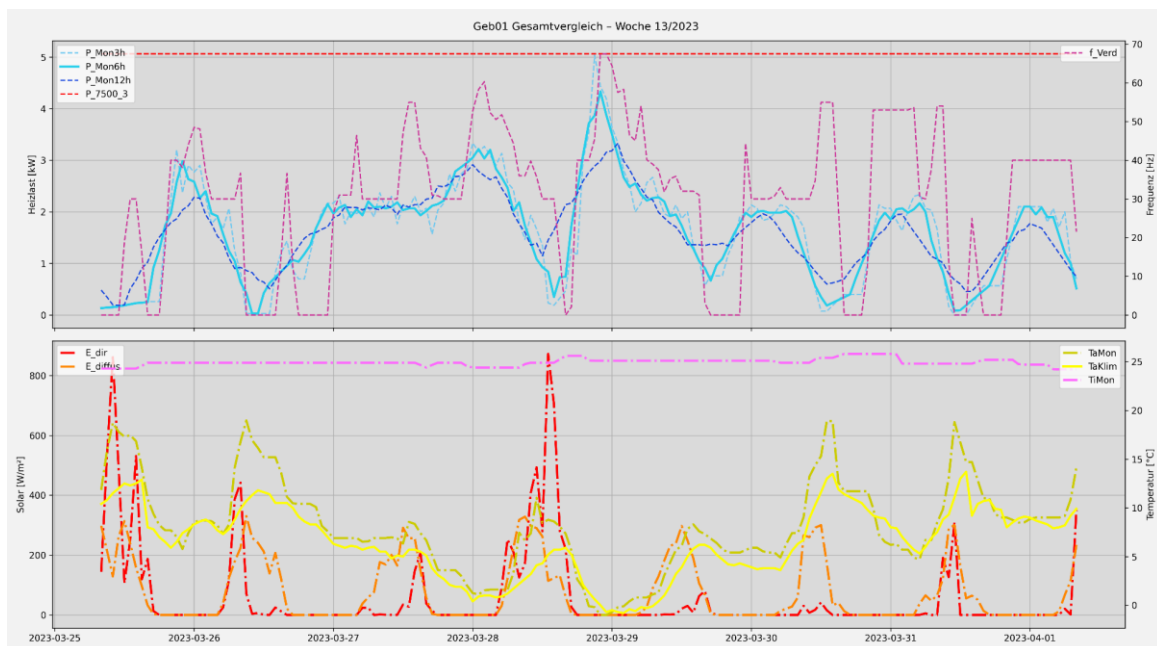


Abbildung 7-7 Testgebäude 01⁶ Gesamtvergleich Monitoringdaten Spitzenlasten mit Klimadaten (Erklärung der Kürzel in Tabelle 4)

⁵ Bauweise leicht, RLT: nein

⁶ Bauweise leicht, RLT: ja

In Abbildung 7-8 (Testgebäude 11) zeigt sich ebenfalls ein vergleichbares Verhalten, wodurch das zuvor anhand von Testgebäude 21 identifizierte Muster über mehrere Kategorien hinweg bestätigt wird (vgl. Abbildung 7-4).

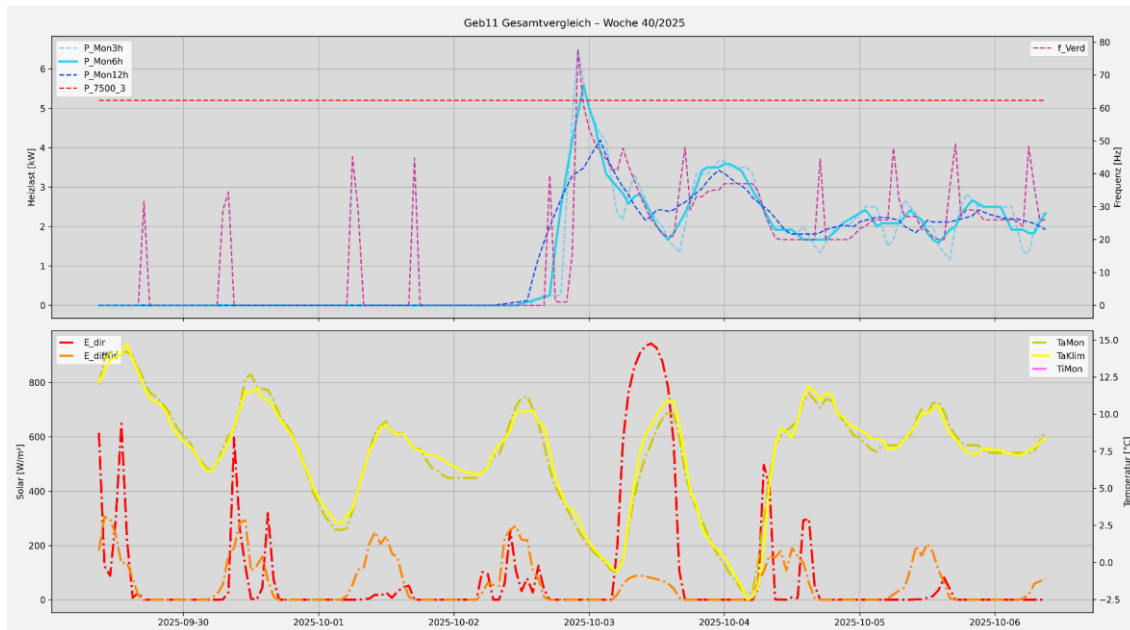


Abbildung 7-8 Testgebäude 11⁷ Gesamtvergleich Monitoringdaten Spitzenlasten mit Klimadaten (Erklärung der Kürzel in Tabelle 4)

Die Auswertung verdeutlicht damit, dass die zeitliche Lage maximaler Heizleistungen nicht ausschließlich durch klimatische Bedingungen bestimmt ist. Vielmehr entsteht eine Überlagerung aus klimatischen Einflüssen und betrieblichen bzw. regelungstechnischen Effekten, wodurch die in Kapitel 3.2 beschriebene normative Annahme nur eingeschränkt auf das reale Betriebsverhalten übertragbar ist. Zusätzlich ist in den Grafiken gut erkennbar, wie die zuvor erklärten gleitenden Mittel die Leistungsspitzen mit höherem Intervall nach und nach glätten, während der nötige Energiebedarf konstant bleibt. Dies ermöglicht von der momentanen Heizleistung auf die aktuelle Heizlast zu schließen.

7.2.2 Monitoring Analyse für die minimalen Außentemperaturen im Betrachtungszeitraum

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus der Auswertung der maximalen Heizleistungen, wird der Fokus bewusst von einzelnen Leistungsspitzen, hin zu einer klimatisch ausgerichteten Betrachtungsweise verlagert.

Statt primär Zeitpunkte mit maximal auftretenden Heizleistungen zu identifizieren, werden gezielt jene Zeiträume untersucht, in denen die niedrigsten Außentemperaturen im jeweiligen Betrachtungszeitraum auftreten. Ziel dieses Ansatzes ist es, das reale Betriebsverhalten der Gebäude unter klimatisch ungünstigen Bedingungen abzubilden und direkt mit der normativen Heizlastannahme zu vergleichen. Im Gegensatz zur bisherigen Analyse stehen damit nicht mehr einzelne Extremwerte im Vordergrund, sondern die Frage, welche Heizleistungen unter den für die maximale Heizlast maßgeblichen Randbedingungen tatsächlich erforderlich sind (vgl. Kapitel 3.2.2).

Diese Auswertung wird für alle Testgebäude durchgeführt, wobei dieselbe Auswahl an Gebäuden de-

⁷ Bauweise schwer, RLT: nein

taillierter betrachtet wird. Wie in Kapitel 7.2.1 beschrieben, werden im Projekt zunächst gleitende Mittelwerte über unterschiedliche Zeiträume (3, 6 und 12 Stunden) zur Dämpfung kurzzeitiger Leistungsschwankungen gebildet. Im weiteren Projektverlauf wird die Analyse auf ein 6-Stunden-Mittel fokussiert. Diese Festlegung erfolgt auf Basis der zuvor gewonnen Erkenntnisse aus der Auswertung der Monitoringdaten, insbesondere im Hinblick auf die Identifikation von Datenschnitten sowie kurzfristigen Leistungsspitzen. Ziel dieser Glättung ist es, das thermische Verhalten des Gebäudes möglichst repräsentativ abzubilden und nicht primär kurzfristige Betriebszustände der Wärmepumpe in den Vordergrund zu stellen.

Ergänzt wird diese Analyse durch die Simulationsergebnisse (für denselben simulierten Zeitraum), welche auf Basis der zu berücksichtigenden Randbedingungen in Kapitel 7.1, für die Analyse ebenfalls über einen Zeitraum von sechs Stunden gleitend gemittelt werden.

Die Analyse zeigt über alle betrachteten Gebäude hinweg ein konsistentes Bild. Bei den jeweils niedrigsten Außentemperaturen im gesamten Monitoringzeitraum treten keine Heizleistungen auf, welche die nach ÖNORM H 7500-3 berechnete Norm-Heizlast annähernd erreichen.

Wie die Abbildungen auf den Seiten 40 - 42 zeigen, liegen die gemessenen Heizleistungen zwischen etwa 20 % und 80 % unter den normativen Heizlastwerten.

Auffällig ist zudem, dass bei den Testgebäuden 01, 11 und 21 die jeweiligen Zeitpunkte mit den geringsten Außentemperaturen im Bereich von etwa -14 bis -15 °C innerhalb derselben Woche auftreten.

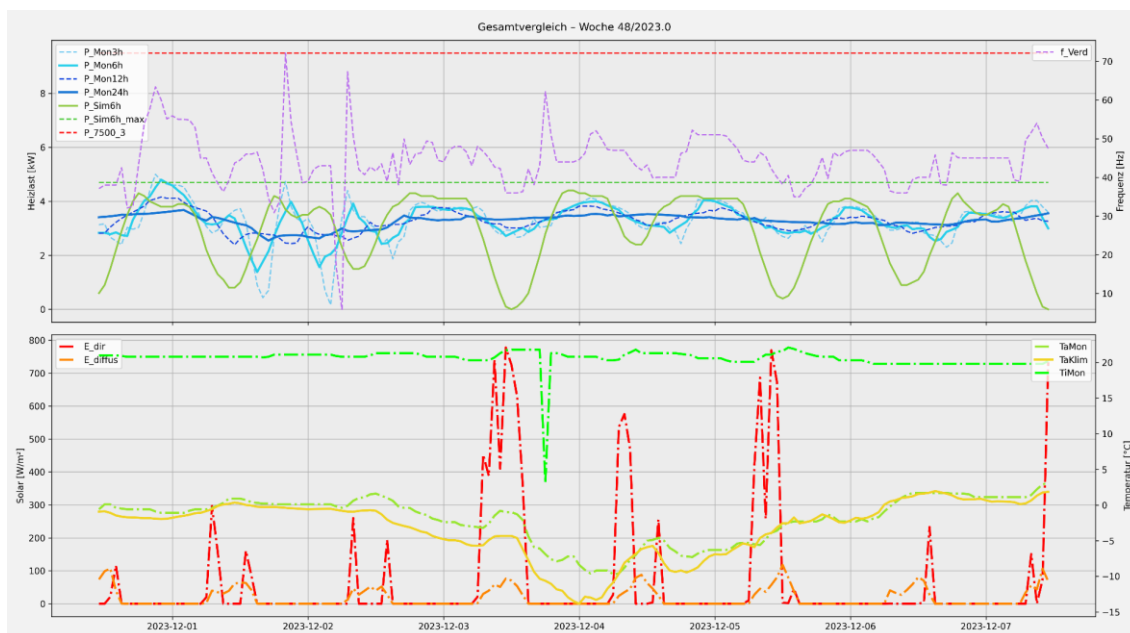


Abbildung 7-9 Testgebäude 21⁸ Gesamtvergleich Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum (Erklärung der Kürzel in Tabelle 4)

⁸ Bauweise schwer, RLT: ja

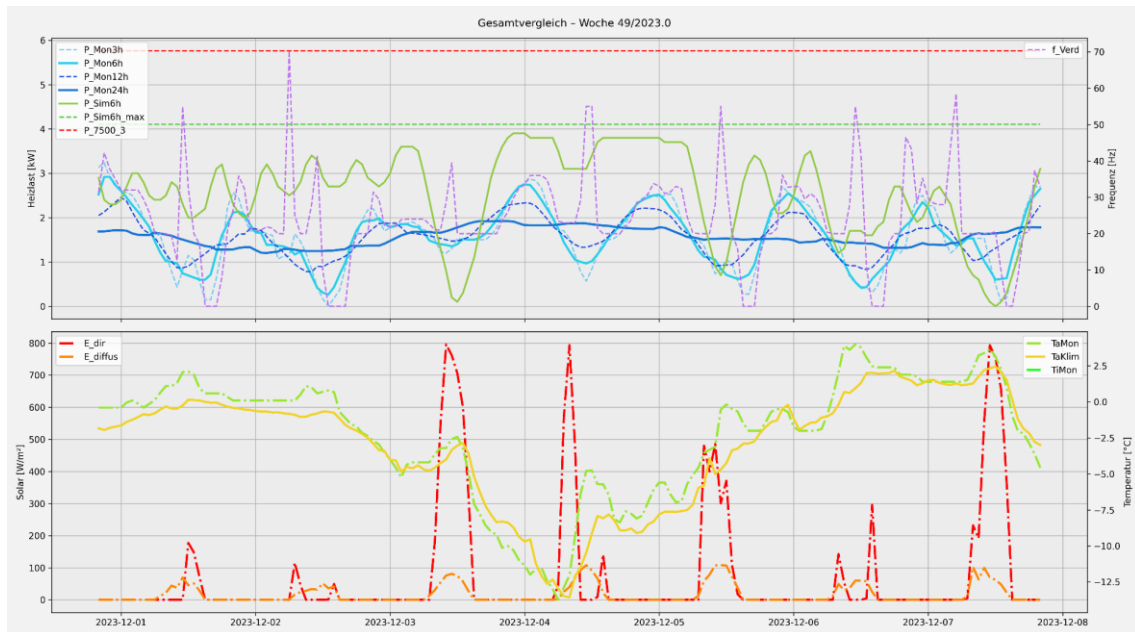


Abbildung 7-10 Testgebäude 05⁹ Gesamtvergleich Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum (Erklärung der Kürzel in Tabelle 4)

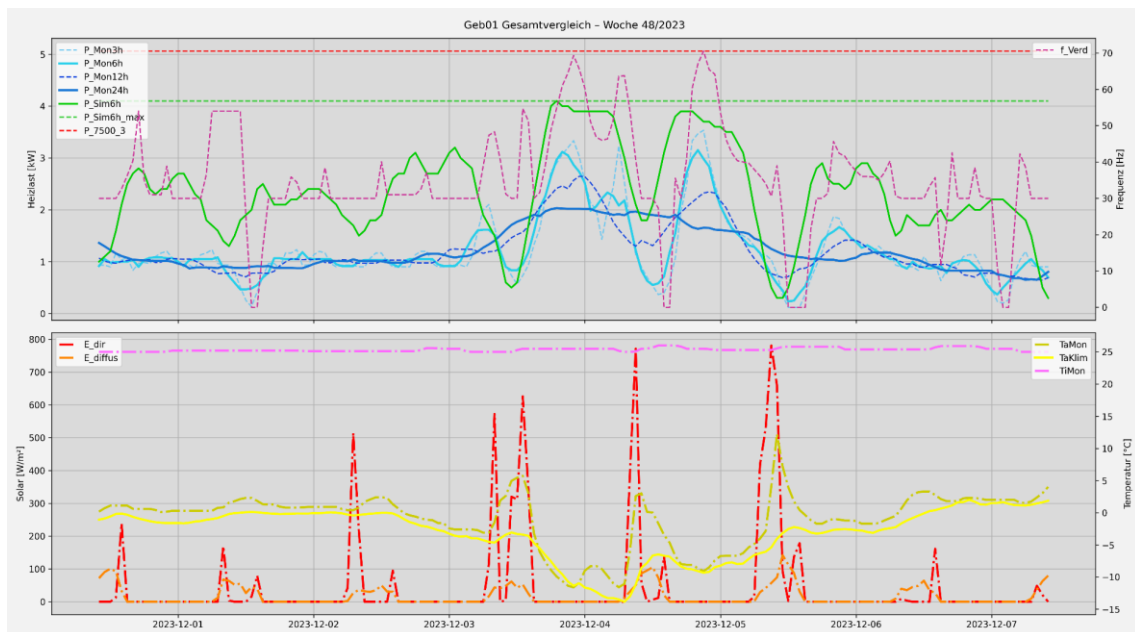


Abbildung 7-11 Testgebäude 01¹⁰ Gesamtvergleich Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum (Erklärung der Kürzel in Tabelle 4)

⁹ Bauweise leicht, RLT: nein

¹⁰ Bauweise leicht, RLT: ja

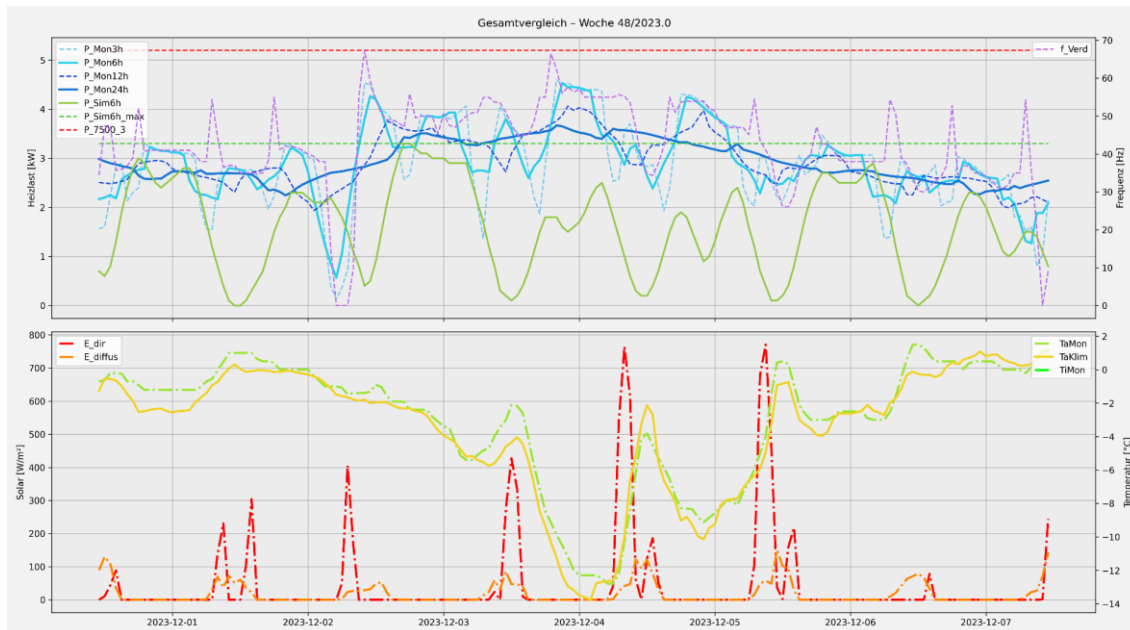


Abbildung 7-12 Testgebäude 11¹¹ Gesamtvergleich Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum (Erklärung der Kürzel in Tabelle 4)

Die Darstellungen der Analyse weiterer Gebäude befinden sich im Anhang 13.1

Eine direkte zeitliche Gegenüberstellung von Simulation und Monitoring, erweist sich aufgrund der in Kapitel 7.1 beschriebenen Randbedingungen sowie der in Kapitel 6.4 festgelegten Modellannahmen (insbesondere standardisierte interne Lasten, Nutzungsprofile und Wärmebrücken), als nur eingeschränkt aussagekräftig. Das individuelle Nutzerverhalten kann in den Simulationsmodellen nicht abgebildet werden, da hierfür keine detaillierten nutzerspezifischen Informationen vorliegen.

Infolge dieser Vereinfachungen ist eine Abweichung zwischen Monitoring- und Simulationsdaten sowohl im zeitlichen Verlauf als auch hinsichtlich der auftretenden Spitzenwerte zu erwarten.

Dennoch zeigt der Vergleich, dass die physikalische Modellierung in IDA ICE die im Monitoring beobachteten Heizleistungen in diesen Zeiträumen, insgesamt angemessen abbildet und ebenfalls unter der normativen Heizlast liegt.

Aus diesen Beobachtungen lässt sich eine grundlegende Interpretation ableiten:

Die Norm-Heizlast gemäß ÖNORM H 7500-3 (Hüllflächenverfahren) stellt eine konservative Obergrenze dar, die im realen Betrieb sowie in der Simulation – selbst bei sehr niedrigen Außentemperaturen – nicht erreicht wird.

Diese Erkenntnis ist insbesondere bei hoch effizienten Niedrigstenergie- und Niedrigenergiegebäuden deutlich ausgeprägt.

Die Ergebnisse unterstreichen damit die Funktion der ÖNORM H 7500-1 und ÖNORM H 7500-3 als Auslegungsgrundlage für Heizsysteme, welche bewusst konservativ gewählt ist und nicht das typische reale Betriebsverhalten widerspiegelt.

Die im Feldtest eingesetzten Wärmepumpen vom Typ KNV/Nibe 1x55-06 besitzen eine Inverterregelung des Verdichters. So ist ein stufenlos modulierender Betrieb – abhängig von der aktu-

¹¹ Bauweise schwer, RLT: nein

ellen Quelltemperatur - mit einer Heizleistung von 2-7,5 kW möglich. Der Kompressor kann dazu von 20 bis 120 Hz modulieren. Die obere Modulationsgrenze lässt sich je nach Gebäudeheizlast begrenzen. Als Besonderheit wird aus schalltechnischen Gründen der Frequenzbereich von 55-65 Hz hart codiert ausgeblendet. In diesem Bereich springt die Verdichter-Drehzahl einer Treppe folgend, anstatt weich in 1 Hz Schritten zu modulieren. (Vgl. Abbildung 7-13)

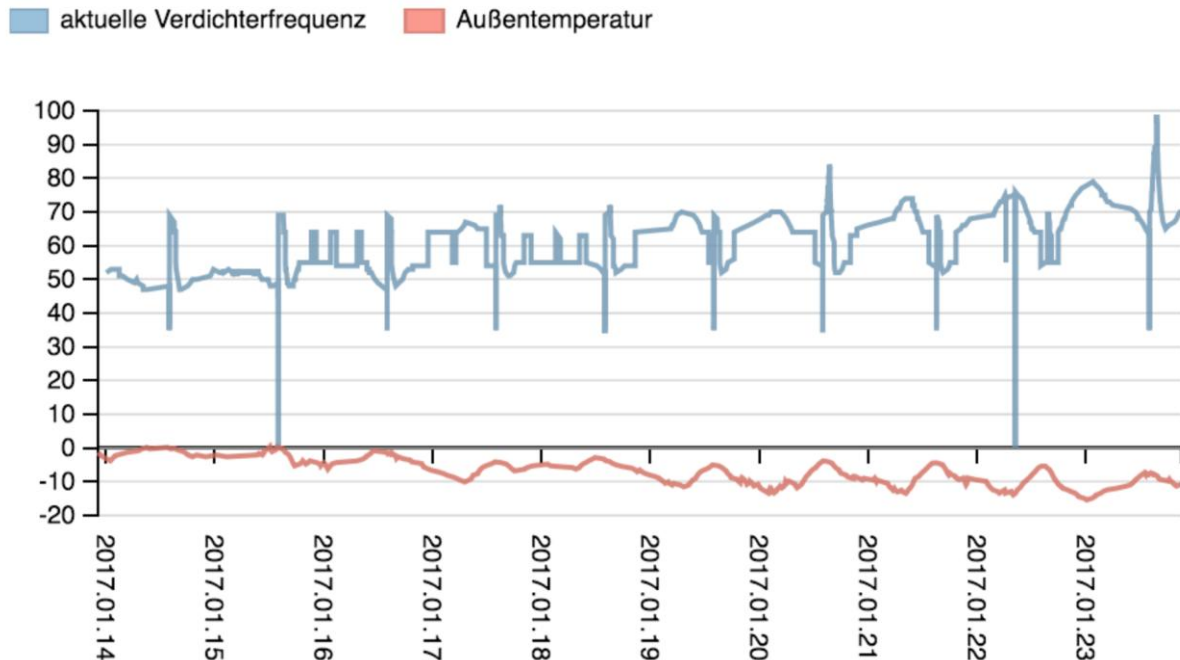


Abbildung 7-13 Verdichtersprünge im ausgeblendeten Frequenzbereich 55-65 Hz einer Wärmepumpe (Quelle: myUplink/wpplus)

Die Simulationen gehen wie die Normheizlasten von 20 °C Raumtemperatur aus. In der Praxis zeigen die Monitorings, dass die per Heizkurve gewählten Raumtemperaturen typisch im Bereich von 21,5 °C bis 23 °C liegen. Dies erhöht den tatsächlichen Bedarf gegenüber den Ergebnissen aus der Simulation.

7.3 Gesamtergebnisse der unterschiedlichen Methoden

Wie in Kapitel 4.1 beschrieben, sind die Testgebäude in sechs Kategorien nach Bauweise leicht bis schwer sowie nach dem Vorhandensein einer kontrollierten Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung (RLT mit WRG) unterteilt. Für die Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse werden die Monitoring- und Simulationsdaten auf Basis der in Kapitel 7.2 gewonnenen Erkenntnisse einheitlich aufbereitet.

Die Monitoringdaten werden dabei zunächst um die obersten 5 % der Werte bereinigt, um seltene, nicht relevante, Betriebszustände sowie mögliche Messartefakte auszuschließen (vgl. Kapitel 7.2.1). Anschließend erfolgt – analog zu den Simulationsergebnissen – eine Glättung mittels gleitendem 6-Stunden-Mittel.

Durch diese Aufbereitung werden kurzfristige Regelungs- und Nutzungseinflüsse reduziert, damit der Fokus auf dem typischen, relevanten Betriebsbereich der Gebäude liegt (vgl. Kapitel 7.2).

Dies ermöglicht eine konsistente Interpretation der Gebäudekennlinien und verbessert die Vergleichbarkeit der Ergebnisse über alle betrachteten Berechnungsansätze hinweg.

Die gesamtheitliche Gegenüberstellung umfasst folgende Berechnungsansätze:

- Statische Norm-Heizlastberechnung nach ÖNORM H 7500-1 (für ausgewählte Testgebäude, siehe Kapitel 6.1)
- Statische Norm-Heizlastberechnung nach ÖNORM H 7500-3
- Heizlastabschätzung laut Energieausweis
- Alternative Berechnung mit PHPP (für ausgewählte Testgebäude, siehe Kapitel 6.3)
- Alternative Heizlastberechnung nach wpplus
- Dynamische Gebäudesimulation mit IDA ICE
- Monitoringdaten von insgesamt 21 Gebäuden (siehe Kapitel 5.1)

Die zugehörigen Zahlenwerte sind in Tabelle 5 aufbereitet und werden in Abbildung 7-14 visuell zusammengeführt. Im Vergleich zur Norm-Heizlast nach ÖNORM H 7500-3 ergeben sich dabei für die unterschiedlichen Methoden folgende Abweichungsbereiche:

- PHPP: Bis zu 40 % unter der Norm-Heizlast
- wpplus: etwa 10-70 % unter der Norm-Heizlast
- Simulation (6-Stunden-Mittel): etwa 10-60 % unter der Norm-Heizlast
- Monitoring (95%-Quantil, 6-Stunden-Mittel): etwa 10-70 % unter der Norm-Heizlast

Tabelle 5 Gesamtergebnisse für alle Testgebäude

Gebäude	Kategorie	Normheizlast		Heizlastabschätzung	Alternative Berechnungsmethoden	Simulation	Monitoring-Heizleistung für das 95%-Quantil	
		ÖNORM		Energieausweis	Passivhaus- Projektierungs Paket	wpplus	im 6-Stunden-Mittel	
		P _{H7500-1}	P _{H7500-3}	P _{totEA}	P _{PHPP}	P _{WP+,18h}	P _{Sim6h}	P _{Mon6h}
		[kW]						
Testgeb-1	Bauweise leicht; RLT: ja	6,29	5,34	4,29	3,81	3,05	4,06	2,5
Testgeb-2	Bauweise leicht; RLT: nein	7,34	6,26	5,90	5,20	4,76	5,75	2,5
Testgeb-3	Bauweise leicht; RLT: nein		5,82	5,10		4,67	4,25	5
Testgeb-4	Bauweise schwer; RLT: nein		6,88	7,24		4,03	4,27	
Testgeb-5	Bauweise leicht; RLT: nein		5,76	5,40		4,13	4,08	2,5
Testgeb-6	Bauweise leicht; RLT: nein		6,31	5,80		4,34	4,36	3,9
Testgeb-7	Bauweise mittelschwer; RLT: ja		8,11	5,80		3,00	5,91	2,05

Testgeb-8	Bauweise schwer; RLT: ja		7,61	7,20		3,57	2,84	5
Testgeb-9	Bauweise mittelschwer; RLT: ja		6,87	6,30		4,08	3,13	3,5
Testgeb-10	Bauweise schwer; RLT: ja	7,09	6,74	5,70	4,32	2,15	3,02	1,7
Testgeb-11	Bauweise schwer; RLT: nein		5,16	6,10		4,69	3,36	3,5
Testgeb-12	Bauweise mittelschwer; RLT: nein		9,22	7,30		4,91	3,89	4,5
Testgeb-13	Bauweise schwer; RLT: ja		5,62	4,45		3,01	2,90	2,6
Testgeb-14	Bauweise mittelschwer; RLT: nein		5,71	4,80		3,69	3,73	5
Testgeb-15	Bauweise schwer; RLT: ja		7,66	7,00		3,11	3,40	
Testgeb-16	Bauweise schwer; RLT: ja		10,24	7,84		4,86	3,99	5,4
Testgeb-17	Bauweise schwer; RLT: nein	6,76	5,86	6,10	5,74	4,42	3,19	3,9
Testgeb-18	Bauweise schwer; RLT: nein		5,84	5,80		3,82	2,66	4
Testgeb-19	Bauweise schwer; RLT: ja		8,27	6,30		3,09	3,38	3,8

Testgeb-20	Bauweise mittelschwer; RLT: ja		6,22	4,18		2,48	3,42	2,5
Testgeb-21	Bauweise schwer; RLT: ja		9,49	7,10		4,71	5,37	4
Testgeb-22	Bauweise leicht; RLT: ja		7,49			3,99	5,23	2,8
Testgeb-23	Bauweise mittelschwer; RLT: nein		7,15	6,94		5,78	4,46	3,5

In Abbildung 7-14 werden die Ergebnisse der sechs Gebäude Kategorien farblich den Bauweisen von leicht bis schwer (blau, grün und orange) zugeordnet und zusätzlich über Rahmen- und Marker-Darstellungen hinsichtlich Vorhandenseins einer RLT mit WRG differenziert dargestellt. Die Ergebnisse der Norm-Heizlastberechnung nach ÖNORM H 7500-3 sind als Säulen mit roter Umrandung hervorgehoben und dienen als obere Referenz. Die Resultate der Norm-Heizlastberechnung nach ÖNORM H 7500-1 sowie der alternativen Berechnungsweisen sind mit diversen Symbolen als Marker abgebildet.

Die visuelle Bündelung der Ergebnisse ermöglicht zudem eine differenzierte Betrachtung der Abweichungsmuster in Abhängigkeit von der Bauweise.

Bei den Testgebäuden in leichter Bauweise zeigt die Simulation tendenziell geringere Abweichungen zur Referenz nach ÖNORM H 7500-3 als die Monitoringdaten. In mehreren Fällen liegen die gemessenen Heizleistungen deutlich unter den Simulationsergebnissen. Das Testgebäude 02 weist dabei eine besonders ausgeprägte Differenz zwischen Simulation und Monitoring auf und ist als Ausreißer zu bewerten.

Die Gebäude in mittelschwerer Bauweise weisen – mit Ausnahme von Testgebäude 07, bei dem die Monitoringdaten deutlich geringere Heizleistungen als die Simulation zeigen und das somit als Ausreißer zu bewerten ist – insgesamt geringe Unterschiede zwischen Simulations- und Monitoringdaten auf. In diesem Zusammenhang zeigen vier von insgesamt fünf Fällen eine deutliche Abweichung zur Referenz nach ÖNORM H 7500-3, während in einem Fall eine moderate Abweichung vorliegt.

Bei den Testgebäuden in schwerer Bauweise sind die Differenzen zwischen Simulations- und Monitoringdaten unterschiedlich ausgeprägt. In drei von elf Fällen besteht nahezu keine Differenz, in fünf Fällen zeigen sich moderate Abweichungen. Im Ausreißerfall von Testgebäude 08 liegt die gemessene Heizleistung im Monitoring deutlich über den Simulationsergebnissen, verbleibt jedoch weiterhin deutlich unter der Referenz nach ÖNORM H 7500-3. Für zwei Testgebäude sind, wie in Kapitel 5.1 erwähnt, keine Monitoringdaten vorhanden. Die Abweichungen zur Norm-Heizlast nach ÖNORM H 7500-3 sind dabei unabhängig von der Übereinstimmung zwischen Simulation und Monitoring in der schweren Bauweise insgesamt stark ausgeprägt.

Insgesamt zeigt sich über alle Bauweisen hinweg, dass die Abweichungen zur Norm-Heizlast unabhängig von der Übereinstimmung zwischen Simulation und Monitoring deutlich ausgeprägt sind.

Die nachfolgenden Unterkapitel vertiefen diese Beobachtungen anhand einer differenzierten Betrachtung nach dem Vorhandensein von raumluftechnischen Anlagen mit Wärmerückgewinnung (RLT mit WRG). Auffällige Einzelgebäude werden im Rahmen weiterführender Datenanalysen in Kapitel 7.5 und Kapitel 8 gesondert untersucht.

Vergleich der Ergebnisse aus statischen Berechnungsmethoden, dynamischer Simulation und Monitoring
Säulendiagramm im Datenbereich 0-95%

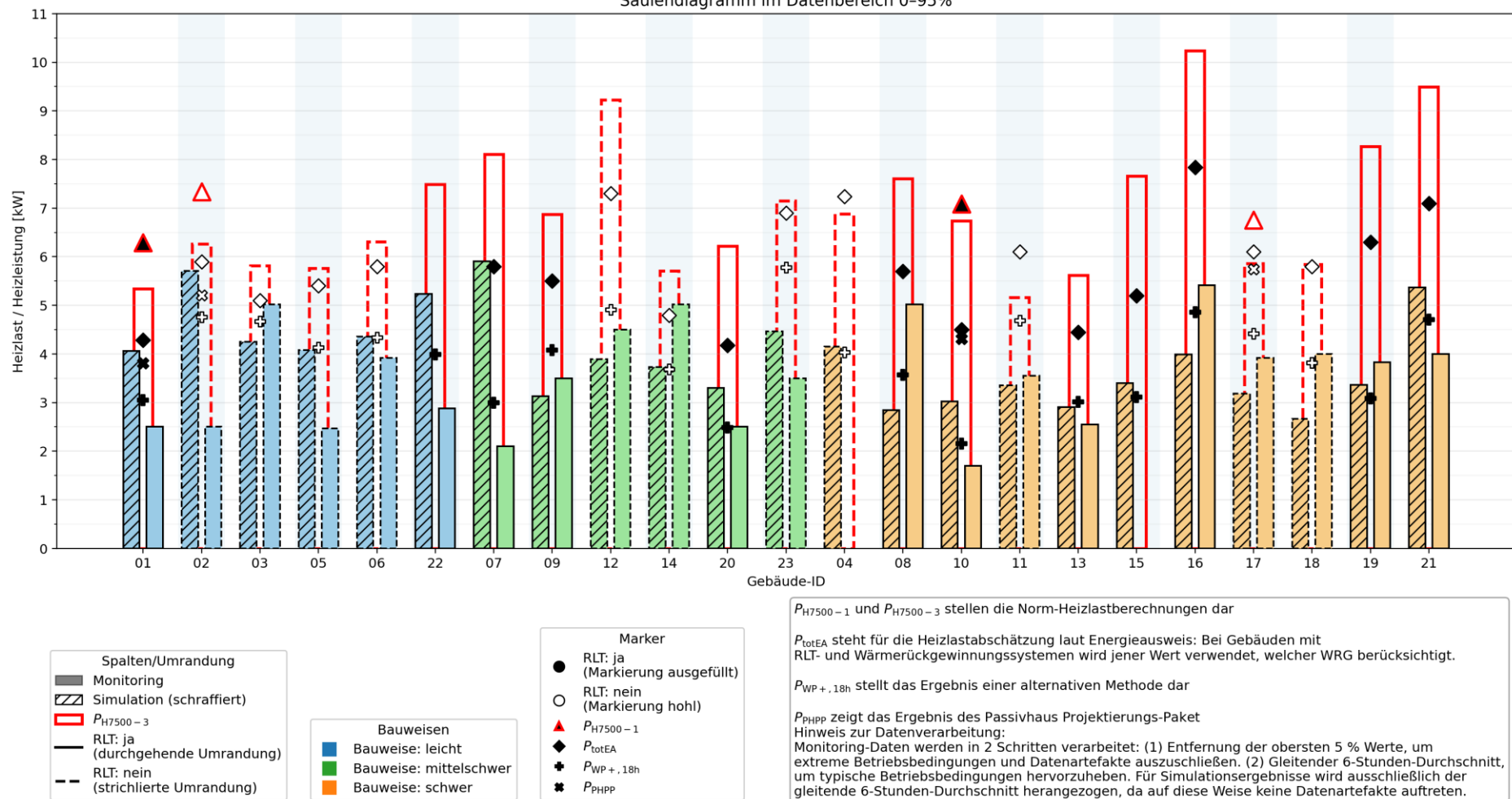


Abbildung 7-14 Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse

7.3.1 Einfluss der Art der Lüftung auf die verschiedenen Berechnungsmethoden

Um konkreter auf den Einfluss der Lüftungsart zu blicken, wird die Gegenüberstellung in die Kategorisierung RLT: nein oder RLT: ja geteilt und mit den Luftwechselraten sowie gegebenenfalls der WRG im Diagramm beziffert.

Für die Gebäude ohne raumluftechnische Anlage (RLT: nein) zeigt Abbildung 7-15 innerhalb der drei Bauweisen ein differenziertes, jedoch insgesamt konsistentes Bild hinsichtlich der Wirkung der Fensterlüftung auf die unterschiedlichen Berechnungsansätze.

Bei den Testgebäuden in leichter Bauweise treten teils größere Unterschiede zwischen Simulation und Monitoring auf. Das Testgebäude 02 zeigt dabei eine deutlich geringere Heizleistung im Monitoring als in der Simulation, was auf eine im realen Betrieb geringere Wirkung der Lüftungsverluste hindeutet als in der Modellierung angenommen. Die Ursache dafür kann in einer besonders hochwertigen Ausführung der luftdichten Ebene durch eine massive Dampfbremse anstatt von Folien liegen. Gleichzeitig bestätigen andere Fälle innerhalb dieser Kategorie eine gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Monitoring, wodurch kein einheitliches Verhalten vorliegt.

In der mittelschweren Bauweise zeigt sich insgesamt eine deutlich bessere Übereinstimmung zwischen Simulation und Monitoring. Die Unterschiede bleiben gering und treten nur in Einzelfällen in umgekehrter Ausprägung auf. Ein konsistentes Muster in Bezug auf die Abweichungen zur normativen Heizlast lässt sich jedoch nicht erkennen. Die Gebäude weisen zwar ähnliche thermische Eigenschaften auf, unterscheiden sich jedoch stärker hinsichtlich Geometrie und Fensterflächen, wodurch sich die Unterschiede in den Ergebnissen erklären lassen.

Für die Testgebäude in schwerer Bauweise ergibt sich ein insgesamt homogenes Bild. Simulation und Monitoring stimmen in den meisten Fällen gut überein, und Abweichungen bleiben überwiegend moderat. Die ähnlichen Randbedingungen innerhalb dieser Bauweise – insbesondere hinsichtlich U-Werten, Fensterflächenanteilen und Luftwechsel – führen zu einer insgesamt stabileren und gut nachvollziehbaren Ergebnislage.

Über alle Bauweisen hinweg zeigt sich für die Kategorie ohne RLT, dass die Unterschiede zwischen Simulation und Monitoring maßgeblich durch das reale Lüftungsverhalten beeinflusst werden. Während die Simulation von standardisierten Randbedingungen ausgeht, kann die unkontrollierte Fensterlüftung im realen Betrieb zu einer erhöhten Streuung der Ergebnisse führen, insbesondere bei leichteren Bauweisen.

Die Berechnungsmethode wpplus zeigt über mehrere Gebäude hinweg eine gute Übereinstimmung entweder mit den Simulationsergebnissen oder mit dem Monitoring. In einzelnen Fällen liegt sie leicht über beiden Ansätzen oder unterschreitet diese geringfügig. Insgesamt folgt sie jedoch konsistent dem Trend der übrigen Methoden und bestätigt damit ihre Eignung als praxisnahe Abschätzung des unteren Heizlastbereichs im Einfamilienhaussektor.

Für einzelne Testgebäude liegen zusätzlich Ergebnisse aus PHPP vor. Diese zeigen keine klare Abhängigkeit von der Bauweise, sondern reagieren stärker auf gebäudespezifische Randbedingungen.

Da für alle Gebäude dieser Kategorie ein identischer harmonisierter Luftwechsel gemäß EA angesetzt wird, lassen sich die Unterschiede zwischen den Ergebnissen primär durch bauphysikalische Eigenschaften sowie durch Bauausführung und das reale Nutzerverhalten erklären.

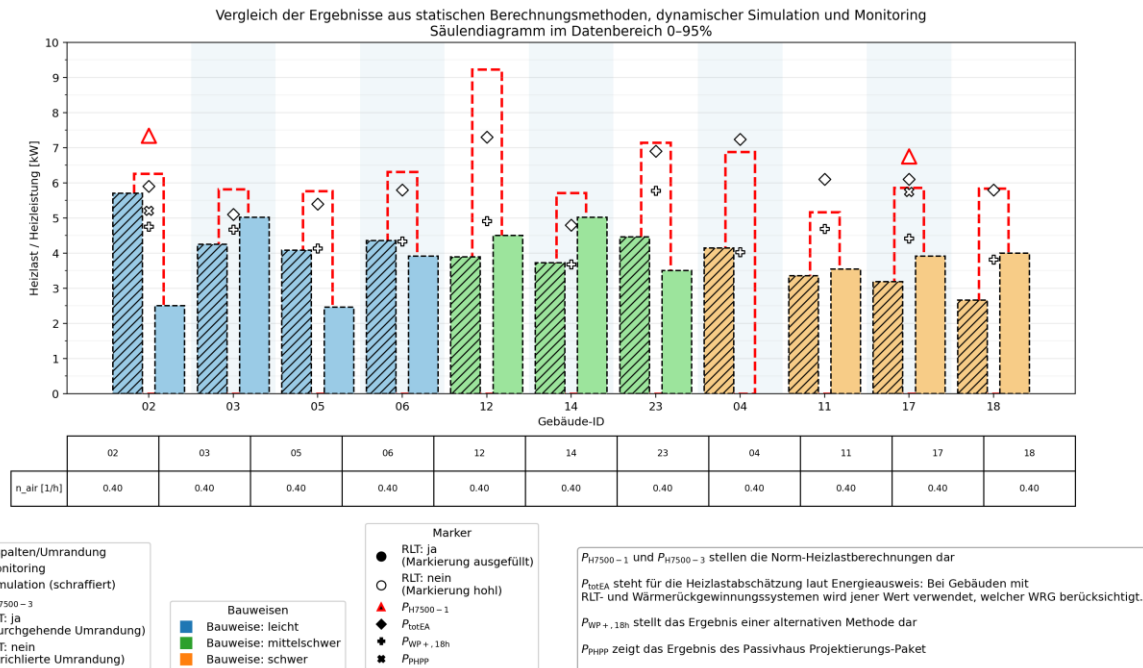


Abbildung 7-15 Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse für Gebäude ohne raumluftechnische Anlage

Die Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse der Testgebäude mit RLT und WRG ist in Abbildung 7-16 dargestellt. Analog zur Gegenüberstellung der Gebäude mit Fensterlüftung in Abbildung 7-15 werden gebäudespezifische Unterschiede zwischen den einzelnen Testgebäuden sichtbar. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die betrachteten Gebäude hinsichtlich ihrer Lüftungstechnischen Randbedingungen, insbesondere der Luftwechselzahlen sowie der Wärmerückgewinnungsgrade der eingesetzten Anlagen, unterscheiden. Aus der vorliegenden Datengrundlage kann daher kein allgemeingültiger Zusammenhang zwischen der Art der Lüftung und der Übereinstimmung der unterschiedlichen Berechnungsweisen abgeleitet werden. Die Ergebnisse sind unter diesen Randbedingungen in erster Linie gebäudespezifisch zu bewerten.

Die beiden Testgebäude der leichten Bauweise weisen eine ähnlich ausgeprägte Abweichung von Simulation und Monitoring gegenüber der Norm-Heizlast auf. Darüber hinaus stimmt das Ergebnis der Methode PHPP für Testgebäude 01 gut mit der Simulation überein. Auch die Ergebnisse der Methode wpplus zeigen für beide Gebäude eine insgesamt angemessene Übereinstimmung mit den übrigen Berechnungsverfahren.

Innerhalb der mittelschweren Bauweise weist Testgebäude 07 eine ausgeprägtere Abweichung zwischen Simulation und Monitoring auf als die übrigen Gebäude dieser Kategorie. Dieses Verhalten wird im Rahmen der vertieften Datenanalyse in Kapitel 8.2 näher untersucht. Die beiden weiteren Testgebäude zeigen dagegen eine gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Monitoring. Für Testgebäude 09 fällt das Ergebnis der Methode wpplus höher aus als sowohl die Simulation als auch das Monitoring, während für die übrigen Gebäude dieser Bauweise eine insgesamt gute Übereinstimmung der unterschiedlichen Berechnungsweisen erkennbar ist.

In der Kategorie schwere Bauweise wirken die Ergebnisse auf den ersten Blick stärker gebäudespezifisch unterschiedlich. Die Betrachtung der normierten Gebäudekennlinien des Monitorings (vgl. Abbildung 7-18 in Kapitel 7.4) bestätigt diese Beobachtung, während sich dieses Verhalten in den Simulationen aufgrund der einheitlichen Modellierungsrandbedingungen (vgl. Kapitel 6.4) deutlich weniger ausgeprägt zeigt. Die auffällige Abweichung von Testgebäude 08 wird in Kapitel 8.3 detailliert untersucht. Insgesamt zeigt sich innerhalb dieser Kategorie, dass die Ergebnisse der Methode wpplus je

nach Testgebäude entweder eine gute Übereinstimmung mit der Simulation oder mit dem Monitoring aufweisen. Damit bestätigt sich auch für Gebäude mit raumlufthechnischer Anlage und Wärmerückgewinnung die Eignung der Methode wpplus als praxisnahe Abschätzungsmethode im Bereich geringer Heizlasten.

Die nachfolgenden Analysen der normierten Gebäudekennlinien in Kapitel 7.4 ergänzen diese Gegenüberstellung der charakteristischen Heizlasten um die Betrachtung des temperaturabhängigen Heizverhaltens und bilden die Grundlage für die vertieften gebäudespezifischen Analysen in Kapitel 8.

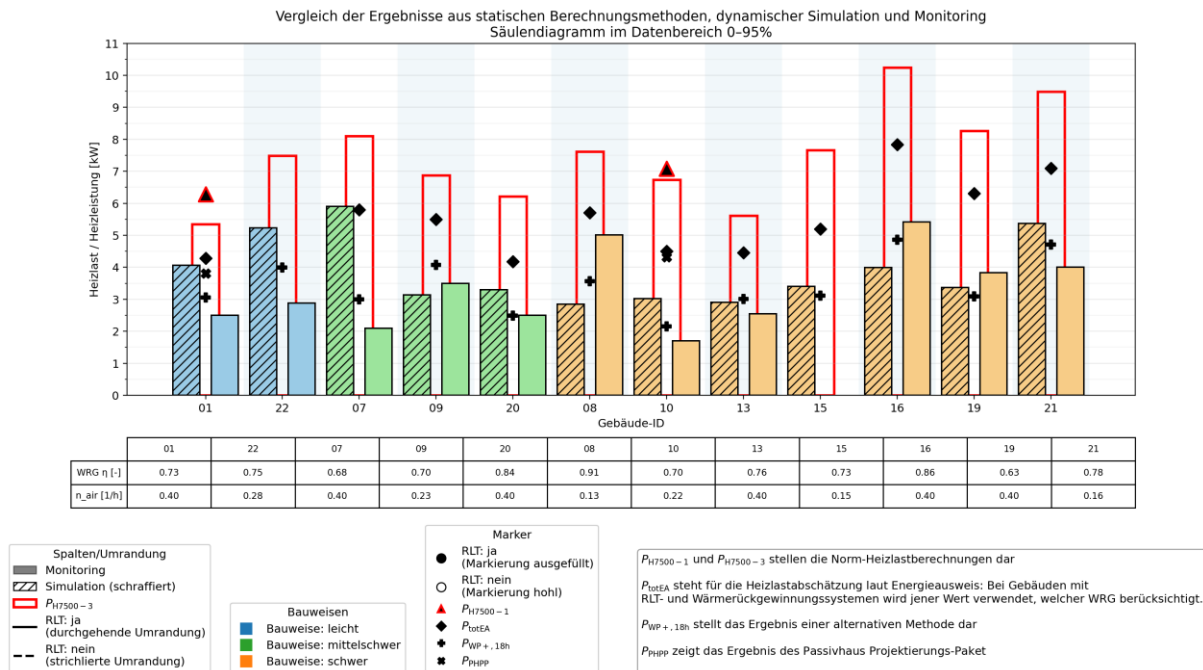


Abbildung 7-16 Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse für Gebäude mit raumlufthechnischer Anlage und WRG

Allgemeine Zusammenfassung:

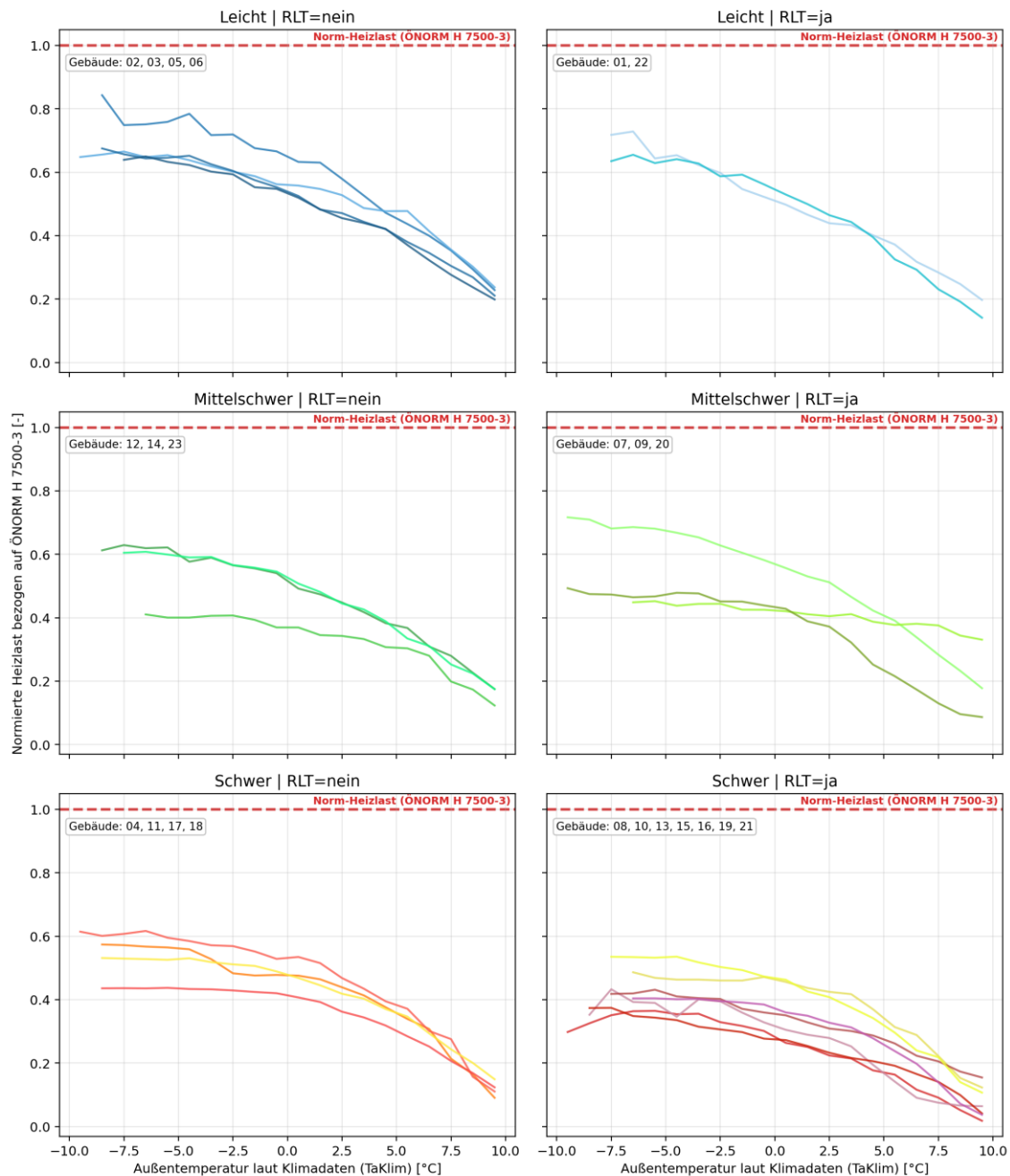
Generell besteht die signifikante Differenz zwischen Normheizlast nach ÖNORM H 7500-3 und tatsächlichem Bedarf unabhängig von der Art der Wohnraumlüftung. Die Gebäude mit manuellem Luftwechsel zeigen dabei erwartungsgemäß eine größere Varianz der gemessenen Lasten, dem stärkeren Einfluss des Nutzerverhaltens folgend. Aber selbst bei Gebäude 08, bei welchem abweichend zu Planung und Simulation das Kellergeschoß mitkonditioniert wird, liegt der Bedarf im Monitoring zwar über der Simulation, aber deutlich unter der normativen Berechnung.

7.4 Normierte Gebäudekennlinien aus Monitoring und Simulation

In Anlehnung an die Gegenüberstellung der charakteristischen Heizlasten der einzelnen Berechnungsmethoden in Abbildung 7-14, erweitert die folgende Analyse diesen Vergleich, um den temperaturabhängigen Verlauf der Heizleistung und ermöglicht damit eine Bewertung des Betriebsverhaltens der Testgebäude über den ausgewählten Außentemperaturbereich.

Hierzu werden die aufbereiteten Monitoring- und Simulationsergebnisse auf die jeweilige Norm-Heizlast nach ÖNORM H 7500-3 normiert und anschließend in Abhängigkeit der Außentemperatur als Gebäudekennlinien dargestellt. Die Kennlinien in Abbildung 7-17 und Abbildung 7-18 basieren auf dem 95 %-Datenbereich und repräsentieren damit den oberen Leistungsbereich unter Ausschluss einzelner nicht repräsentativer Datenpunkte. Durch die Normierung werden alle Gebäude unabhängig von ihrer absoluten Heizlast auf eine gemeinsame Bezugsgröße skaliert und können innerhalb der jeweiligen Bauweise- und RLT-Kategorie direkt miteinander verglichen werden.

Normierte Gebäudekennlinien - Simulation

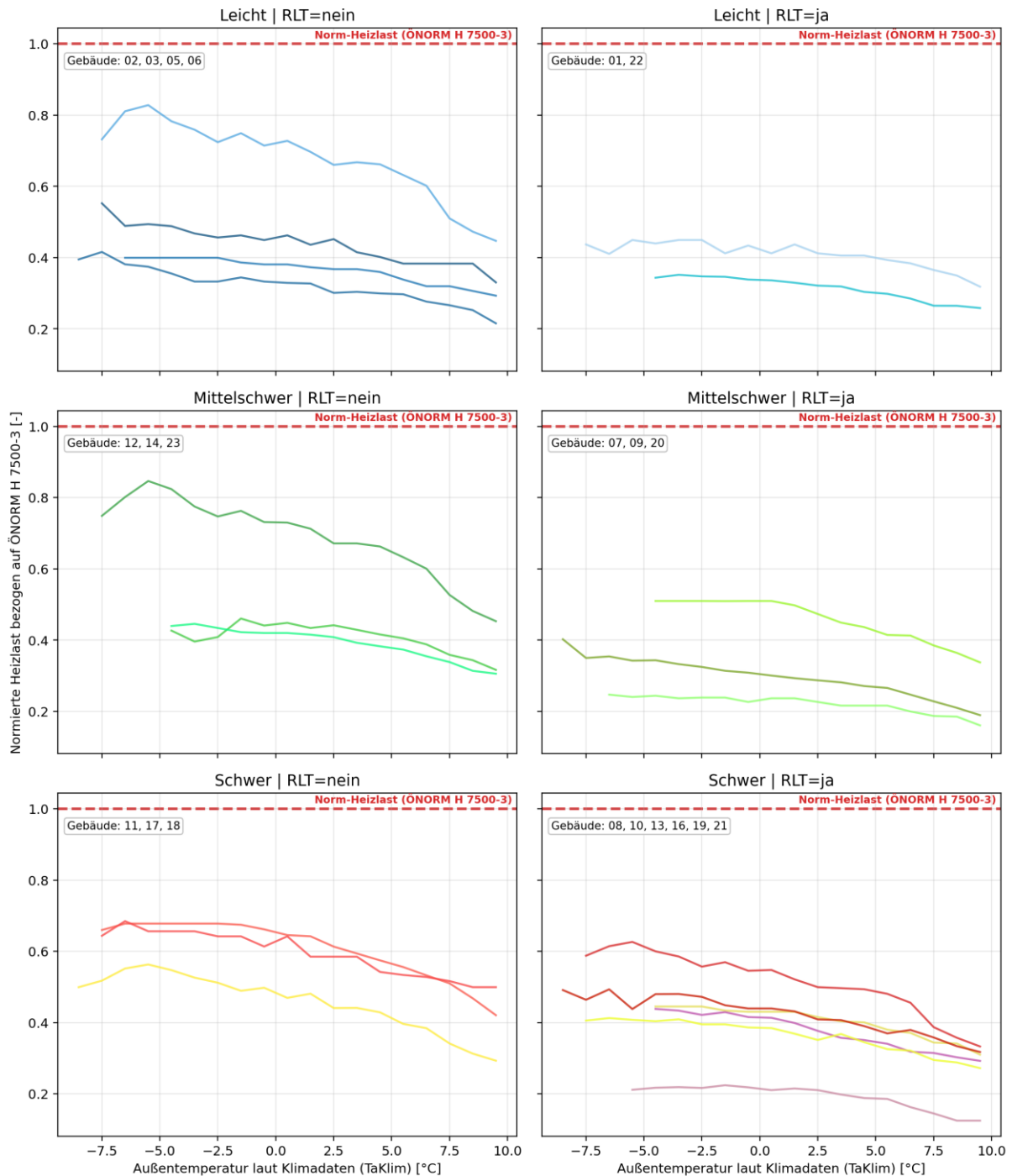


Hinweise zur Darstellung:

- Jede Linie entspricht einem Testgebäude.
- Heizleistungen sind auf die jeweilige Norm-Heizlast nach ÖNORM H 7500-3 normiert.
- Die gestrichelte rote Referenzlinie entspricht der Norm-Heizlast.
- Farben dienen ausschließlich der Zuordnung derselben Gebäude zwischen Monitoring und Simulation.

Abbildung 7-17 Gebäudekennlinien in Abhängigkeit der Außentemperatur normiert nach ÖNORM H 7500-3 für die Simulation (95 % Spitzenbereich)

Normierte Gebäudekennlinien - Monitoring



Hinweise zur Darstellung:

- Jede Linie entspricht einem Testgebäude.
- Heizleistungen sind auf die jeweilige Norm-Heizlast nach ÖNORM H 7500-3 normiert.
- Die gestrichelte rote Referenzlinie entspricht der Norm-Heizlast.
- Farben dienen ausschließlich der Zuordnung derselben Gebäude zwischen Monitoring und Simulation.

Abbildung 7-18 Gebäudekennlinien in Abhängigkeit der Außentemperatur normiert nach ÖNORM H 7500-3 für das Monitoring (95 % Spitzenbereich)

Jede Linie entspricht einem Testgebäude. Die gestrichelte Referenzlinie bei 1,0 kennzeichnet die nach ÖNORM H 7500-3 berechnete Norm-Heizlast. Werte unterhalb dieser Linie zeigen einen geringeren Heizleistungsbedarf als normativ angesetzt. Die Farben dienen ausschließlich der Wiedererkennung derselben Gebäude zwischen der Monitoring- und der Simulationsdarstellung.

Die normierten Gebäudekennlinien ermöglichen eine, über die reine Gegenüberstellung einzelner Heizlastwerte hinausgehende, Betrachtung des temperaturabhängigen Lastverhaltens. Dadurch können sowohl Gemeinsamkeiten innerhalb einer Bauweise- und RLT-Kategorie als auch auffällige Abweichungen einzelner Testgebäude identifiziert werden.

Während die Monitoringkennlinien das Verhalten der Gebäude unter real gemessenen Betriebsbedingungen abbilden, zeigen die Simulationskennlinien das Verhalten unter den in Kapitel 6.4 beschriebenen einheitlichen Modellannahmen und Randbedingungen. Unterschiede zwischen beiden Darstellungen liefern somit erste Hinweise auf gebäudespezifische Einflüsse, welche in den nachfolgenden Kapiteln anhand ausgewählter Testgebäude näher untersucht werden.

Die Darstellungen für den Median-Datenbereich sind ergänzend im Anhang 13.2 abgebildet.

Die Gebäudekennlinien zeigen sowohl in der Simulation als auch im Monitoring deutlich degressive Kurven über sinkender Außentemperatur und damit eine signifikante Abweichung zum linearen Ansatz der rein verlustbasierten Normheizlast.

Die Regler in vielen Wärmepumpen bilden diese Erkenntnisse bereits ab und stellen echte numerisch auswählbare Kurven zur Einstellung der gebäudespezifischen Heizkurve (Gebäudekennlinie) – wie in Abbildung 7-19 dargestellt - bereit.

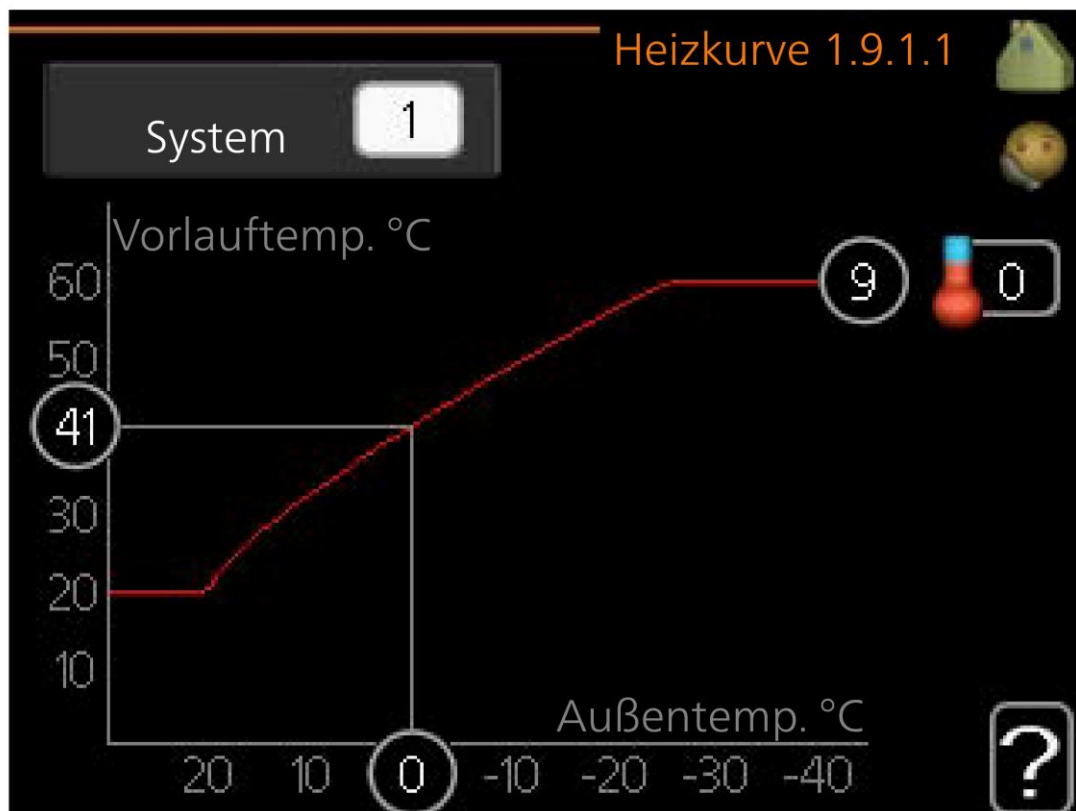


Abbildung 7-19 Gebäudespezifische Heizkurven-Regelung einer Wärmepumpe (Quelle: NIBE Systemtechnik GmbH 2020, S. 36)

7.5 Ergebnisse der Einzelgebäude

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die Endergebnisse für drei ausgewählte Testgebäude in Form von Säulendiagrammen dargestellt.

Die Diagramme umfassen:

- Heizlast laut ÖNORM H 7500-3
- Heizlastabschätzung laut Energieausweis
- Ergebnis aus der Simulation im 6-Stunden-Mittel
- Monitoring-Heizleistung im bereinigten Datenbereich mit 6-Stunden-Mittel (wie in Kapitel 7.3 beschrieben)

Zusätzlich werden die Ergebnisse der ersten Monitoringanalysen dargestellt. Diese umfassen die maximale Heizleistung innerhalb des Betrachtungszeitraums (vgl. Kapitel 7.2.1) sowie die Heizleistung zum Zeitpunkt der niedrigsten aufgezeichneten Außentemperatur (vgl. Kapitel 7.2.2).

Die ergänzende Darstellung dieser beiden Monitoringwerte verdeutlicht die Notwendigkeit der in Kapitel 7.3 beschriebenen Datenaufbereitung. Die weißen Säulen mit blauer Umrandung zeigen die Heizleistung zum Zeitpunkt der geringsten gemessenen Außentemperatur. In den Abbildungen 7-18 bis 7-20 liegen diese Werte deutlich unter der Heizlast gemäß ÖNORM H 7500-3 und repräsentieren die tatsächlich benötigte Heizleistung während eines Extremereignisses. Dies kann Aufholheizen bzw. Einschwingen nach einem Start an der Heizgrenze, im taktenden Teillastbetrieb oder nach einem Warmwassertakt verursachen. Hier greift jeweils die Reglerhysterese, die ein Defizit zulässt (Schaltspiel), das im folgenden Heiztakt - je nach Reglerparametrierung - mehr oder weniger aggressiv aufgeholt wird. Die schraffierten Säulen mit blauer Umrandung stellen hingegen die jeweils maximale Heizleistung im Betrachtungszeitraum dar. Auch diese Werte liegen bei allen drei Gebäuden unter der normativ berechneten Heizlast.

Auffällig ist dabei die unterschiedliche Differenz zwischen den beiden Monitoringwerten. In Abbildung 7-21 und Abbildung 7-25 beträgt der Unterschied zwischen maximaler Heizleistung und Heizleistung bei minimaler Außentemperatur etwa 1,7 bis 1,8 kW, während für Testgebäude 20 in Abbildung 7-23 lediglich eine Differenz von rund 0,9 kW vorliegt. Die Ergebnisse aus Kapitel 7.2 beziehen sich jeweils auf einzelne Zeitpunkte beziehungsweise spezifische Untersuchungsfenster und spiegeln damit unmittelbar das Betriebsverhalten der Wärmepumpe wider. Dieses wird beeinflusst durch anlagenspezifische Variation, wie individuelle hydraulische Auslegungen der Wärmesenken, individuelle Parametrierung von Heizgrenze und Regelhysterese und unterschiedliche Parametrierung der Reglerdynamik. All diese Faktoren führen zu einem stärker gepulsten oder stärker geglätteten Laufverhalten, mit dem die Wärmepumpe mit ihrer Heizleistung den gleitenden Heizbedarf des Gebäudes deckt. Die zusätzlichen Monitoringwerte aus den Erstanalysen werden daher ausschließlich zu illustrativen Zwecken dargestellt. Sie verdeutlichen diese Unterschiede zwischen einzelnen Extremwerten des Anlagenbetriebs und dem typischen Betriebsbereich des Gebäudes sowie die daraus resultierende Notwendigkeit der in Kapitel 7.3 beschriebenen Datenaufbereitung. Für die weitere Bewertung und den Vergleich mit den übrigen Berechnungsmethoden wird daher ausschließlich die Monitoring-Heizleistung im bereinigten Datenbereich mit gleitendem 6-Stunden-Mittel als Endergebnis herangezogen.

Die Ergebnisse der übrigen Testgebäude sind im Anhang 13.3 dargestellt.

7.5.1 Testgebäude 02 (Bauweise leicht; RLT: nein)

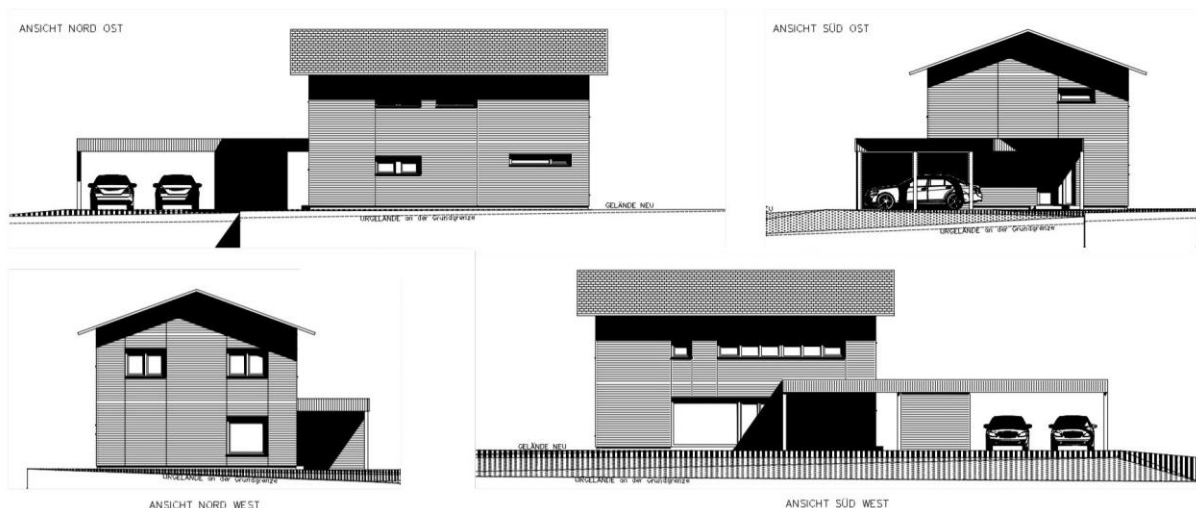


Abbildung 7-20 Ansichten Bauvorhaben Testgebäude 02 (Quelle: Einreichplan Bauherrschaft / wpplus)

Das Testgebäude 2 ist ein im Jahr 2016 errichtetes Einfamilienhaus in leichter Bauweise mit einem Wandaufbau in Holz-Riegel Konstruktion. Laut Einreichplan besteht das Gebäude aus einem Kellergeschoss, einem Erdgeschoss und einem Obergeschoss. Die vertikale Erschließung erfolgt über ein zentral angeordnetes Stiegenhaus, das sämtliche Geschosse miteinander verbindet. Das Gebäude weist einen rechteckigen Grundriss mit Satteldach auf. An der Südostseite befindet sich ein überdachter Carport, der unmittelbar an das Gebäude anschließt. Ergänzend ist ein Geräteraum vorgesehen. Das Kellergeschoss umfasst neben Technik- und Erschließungsflächen weitere Kellerräume. Im Erdgeschoss ist ein offener Küchen- Ess- und Wohnbereich angeordnet, der den überwiegenden Teil der Geschossfläche einnimmt. Zusätzlich befinden sich im Eingangsbereich ein Windfang sowie die zentral angeordnete Treppe. Das Obergeschoss beinhaltet mehrere Aufenthaltsräume sowie ein Badezimmer und ist ebenfalls über die mittig situierte Treppe erschlossen (vgl. Abbildung 7-20).

Der Lageplan zeigt, dass das Gebäude auf einem länglichen Grundstück errichtet wird. Das natürliche Gelände weist ein Gefälle auf, welches auch in den Ansichten und im Schnitt ersichtlich ist. Durch das teilweise in das Gelände eingebundene Kellergeschoss ergibt sich eine Anpassung des Baukörpers an die vorhandene Topografie.

Die Fassaden sind durch unterschiedlich große Fensteröffnungen gegliedert. Größere Verglasungen befinden sich insbesondere im Bereich des Wohnraums im Erdgeschoss, während die übrigen Gebäudeseiten überwiegend mit kleineren Fensterflächen ausgeführt sind. Der Fensterflächenanteil in den Außenwänden beträgt laut Stammdaten 14,3 % (vgl. Tabelle 2). Die Fensterflächen sind dem Prinzip der solaren Architektur folgend vor allem auf Süd-/Westseiten konzentriert und auf der Nordseite stark reduziert.

Mit einer BGF von 214 m² und einem A/V Verhältnis von 0,71 weist das Gebäude eine vergleichsweise kompakte Bauform auf. Die charakteristische Länge von 1,41 m bestätigt diese kompakte Gebäudegeometrie. Aus Sicht der Heizlastberechnung wirkt sich eine kompakte Kubatur grundsätzlich günstig aus, da die wärmeübertragende Hüllfläche im Verhältnis zum beheizten Volumen reduziert wird.

Der mittlere U-Wert von 0,22 W/(m²K) deutet auf eine energetisch hochwertige Gebäudehülle hin. Demgegenüber steht eine NAT von -15,4 °C, wodurch sich im Auslegungsfall hohe Temperaturdifferenzen zwischen Innen- und Außenbereich ergeben. Die Heizgradtage, die - als Ergänzung zur punktuellen Betrachtung der NAT - die Dauer der Heizperiode am Standort beschreiben, weisen mit 3608 Kd einen für das Klima in Österreich typischen Wert auf. Die freie Fensterlüftung wird für die Berech-

nung des Energieausweises (EA) nach OIB-Richtlinie 6 Ausgabe 2011 mit einem Luftwechsel von 0,4 h⁻¹ angesetzt.

Die Ergebnisse der Heizlastberechnungen liegen je nach angewandter Methode zwischen rund 4,8 kW und 6,3 kW (vgl. Abbildung 7-21). Die aufbereiteten Monitoringdaten ergeben hingegen eine Heizlast von 2,5 kW. Damit liegt das Monitoring-Ergebnis deutlich unter den Ergebnissen der stationären Berechnungsverfahren. Die Differenz verdeutlicht den Einfluss der gewählten Methodik sowie der zugrunde liegenden Randbedingungen. Trotz der großen Bruttogeschossfläche zeigen die kompakte Bauform, der geringe Fensterflächenanteil sowie die gute thermische Qualität der Gebäudehülle einen begrenzenden Einfluss auf die erforderliche Heizleistung des Gebäudes.

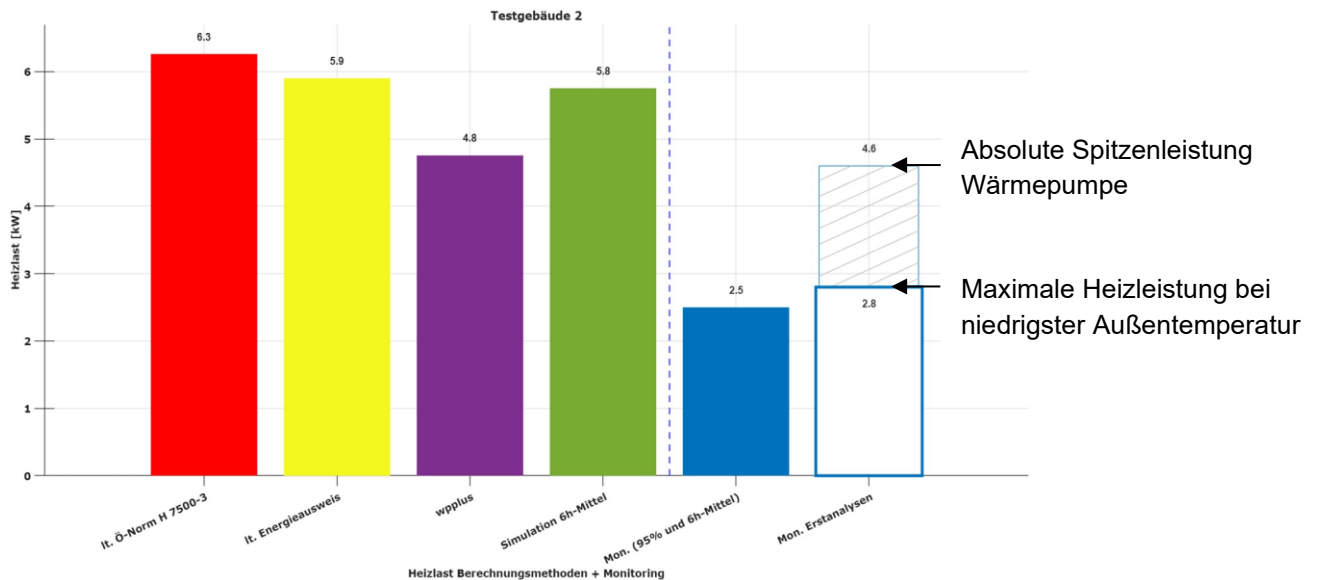


Abbildung 7-21 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 02

7.5.2 Testgebäude 20 (Bauweise mittelschwer; RLT: ja)

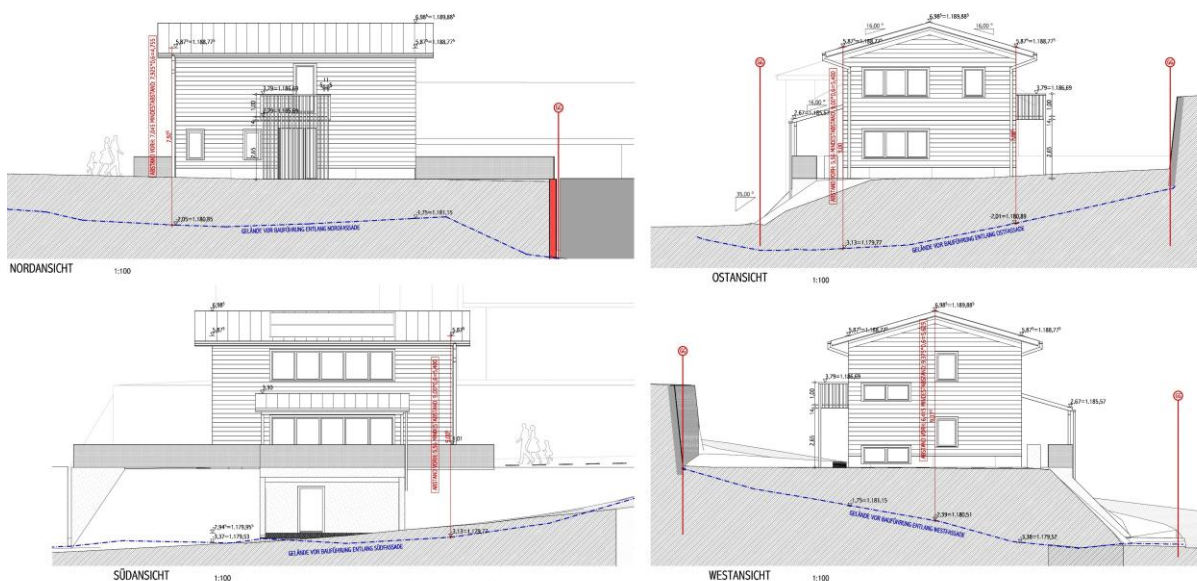


Abbildung 7-22 Ansichten Bauvorhaben Testgebäude 20 (Quelle: Einreichplan Bauherrschaft / wpplus)

Das Testgebäude 20 ist ein im Jahr 2018 errichtetes Einfamilienhaus in mittelschwerer Bauweise mit einem Wandaufbau in Brettspertholz Konstruktion. Laut Einreichplan besteht das Gebäude aus einem Untergeschoss, einem Erdgeschoss und einem Obergeschoss, die über ein zentral angeordnetes Stiegenhaus miteinander verbunden sind. Das Gebäude weist einen rechteckigen Grundriss sowie ein Satteldach auf. An der Südseite befindet sich die Zufahrt zum Untergeschoss, in dem eine vom Hangkeller thermisch getrennte Garage integriert ist (vgl. Abbildung 7-22).

Der Lageplan, die Ansichten und die Schnitte zeigen eine deutlich ausgeprägte Hanglage des Grundstücks. Dadurch ist das Untergeschoss teilweise in das Gelände eingebunden, während die oberen Geschosse auf der talseitigen Gebäudeseite vollständig in Erscheinung treten. Die Raumaufteilung umfasst Wohn- und Aufenthaltsräume im Erd- und Obergeschoss. Zusätzlich sind Balkone beziehungsweise Außenbereiche vorgesehen. Die Fassaden weisen unterschiedlich große Fensteröffnungen auf, wobei dem Prinzip der solaren Architektur folgend insbesondere auf der südseitigen Gebäudeseite größere Verglasungen angeordnet sind. Der Fensterflächenanteil in den Außenwänden beträgt laut Stammdaten 16,6 %.

Mit einer Bruttogeschossfläche von 198,2 m² und einem A/V-Verhältnis von 0,73 weist Testgebäude 20 eine kompakte Gebäudeform auf. Die charakteristische Länge von 1,37 m bestätigt diese Eigenschaft. Der mittlere U-Wert von 0,21 W/(m²K) sowie die kontrollierte Wohnraumlüftung mit WRG und einem Wärmerückgewinnungsgrad von 0,84 deuten auf einen energetisch hochwertigen Gebäudestandard hin. Dies spiegelt sich auch im Heizwärmebedarf von 6.213 kWh wider (vgl. Tabelle 2).

Das Gebäude befindet sich auf einem exponierten Standort auf 1.200 m Seehöhe. Die NAT beträgt -14,5 °C, die Heizgradtage 4797 Kd. Die Ergebnisse der Heizlastberechnungen liegen je nach angewandter Methode zwischen 2,5 kW und 6,2 kW. Aus den aufbereiteten Monitoringdaten ergibt sich ebenfalls eine Heizlast von 2,5 kW. Damit stimmt das Monitoring-Ergebnis mit der Heizlastberechnung aus wpplus überein, während die übrigen Berechnungsverfahren höhere Werte ausweisen (vgl. Abbildung 7-23).

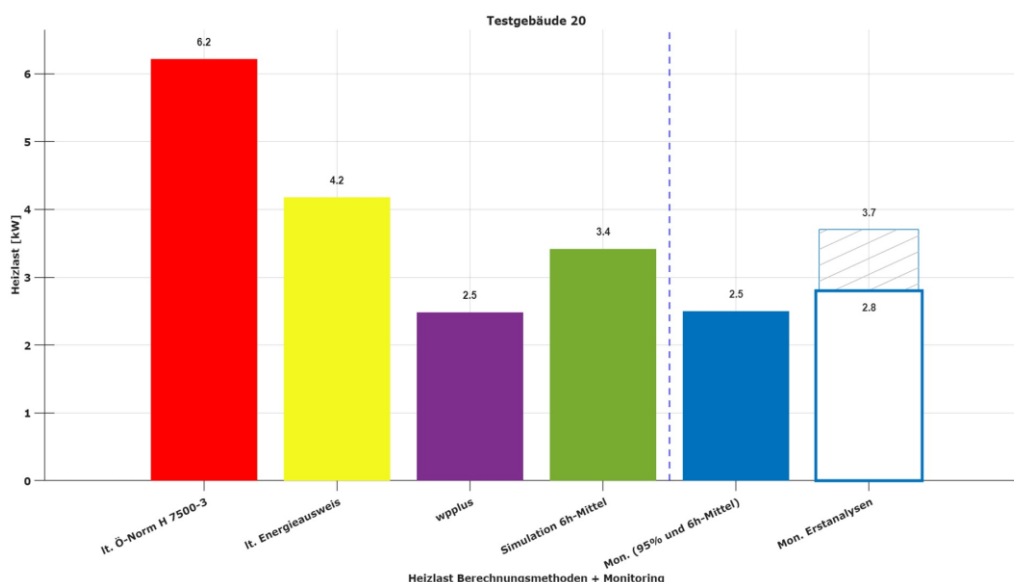


Abbildung 7-23 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 20

7.5.3 Testgebäude 10 (Bauweise schwer; RLT: ja)

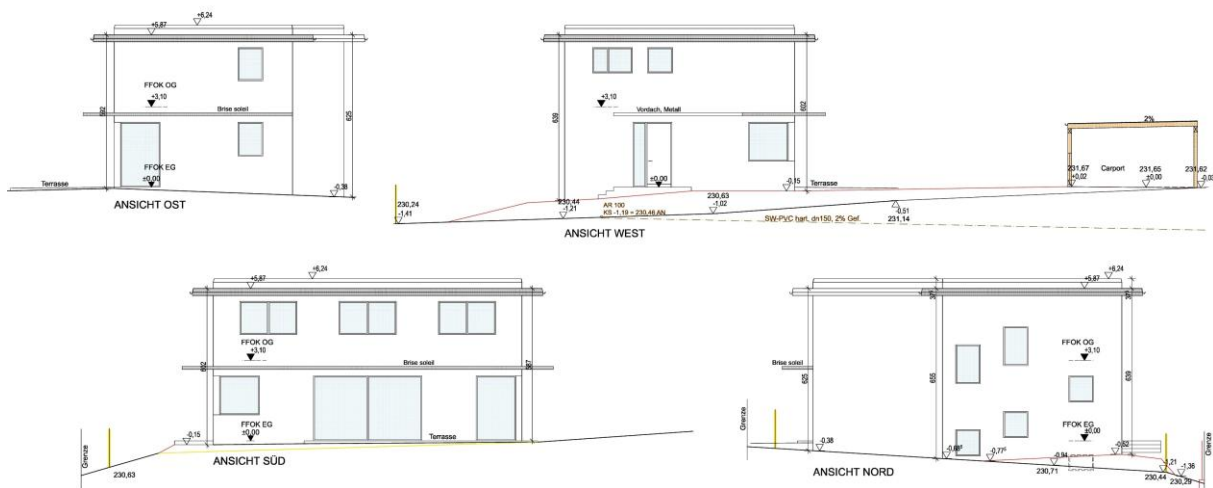


Abbildung 7-24 Ansichten Bauvorhaben Testgebäude 10 (Quelle: Einreichplan Bauherrschaft / wpplus)

Das Testgebäude 10 ist ein im Jahr 2015 errichtetes Einfamilienhaus in schwerer Bauweise mit einem Wandaufbau aus 25-er Objektziegel plus Wärmedämmverbundsystem (WDVS). Laut Einreichplan besteht das Gebäude aus einem Kellergeschoss, einem Erdgeschoss und einem Obergeschoss, die über ein zentral angeordnetes Stiegenhaus miteinander verbunden sind. Das Gebäude weist einen kompakten, rechteckigen Grundriss sowie ein flach geneigtes Dach auf. Zusätzlich befindet sich außerhalb des Hauptgebäudes ein freistehender Carport (vgl. Abbildung 7-24).

Das Kellergeschoss umfasst neben einem Technikraum mehrere Kellerräume. Im Erdgeschoss sind die zentralen Wohnbereiche angeordnet. Der Wohnbereich, das Esszimmer und die Küche bilden einen großflächigen, offen gestalteten Grundriss. Ergänzt werden diese Bereiche durch Nebenräume und die Erschließungsflächen rund um das Stiegenhaus. Im Obergeschoss befinden sich mehrere Schlaf- und Aufenthaltsräume sowie ein Badezimmer. Die Südansicht zeigt großflächige Verglasungen im Bereich der Wohnräume und einen direkten Zugang zur vorgelagerten Terrasse. Die Planung folgt deutlich den Prinzipien der solaren Architektur.

Aus den Ansichten und dem Schnitt ist erkennbar, dass das Gebäude auf leicht geneigtem Gelände errichtet wird. Im Vergleich zu den anderen betrachteten Gebäuden weist die Topografie jedoch eine deutlich geringere Geländeanpassung auf. Die Fassaden sind insgesamt von einem geringen Fensterflächenanteil geprägt, der aber stark den Ost-/Süd-/Westseiten zugeordnet ist. Laut Stammdaten beträgt der Fensterflächenanteil in den Außenwänden 11,8 %.

Mit einer Bruttogeschossfläche von 287 m² verfügt Testgebäude 10 über die größte Fläche der drei betrachteten Gebäude, da das Kellergeschoß voll in der konditionierten Fläche eingerechnet ist. Gleichzeitig weist das Gebäude dadurch mit einem A/V-Verhältnis von 0,62 die kompakteste Gebäudeform auf. Die charakteristische Länge von 1,61 m bestätigt diese kompakte Kubatur. Der mittlere U-Wert von 0,15 W/(m²K), die kontrollierte Wohnraumlüftung mit WRG sowie ein Wärmerückgewinnungsgrad von 0,7 deuten auf einen sehr energieeffizienten Gebäudestandard hin. Dies zeigt sich auch im Heizwärmebedarf von lediglich 3.994 kWh (vgl. Tabelle 2). Der Standort ist mit einer NAT von -13,9 °C und Heizgradtagen in der Höhe von 3497 Kd unauffällig.

Die Ergebnisse der Heizlastberechnungen liegen je nach angewandter Methode zwischen 2,2 kW und 6,7 kW. Aus den aufbereiteten Monitoringdaten ergibt sich eine Heizlast von 1,7 kW und damit der niedrigste Wert aller betrachteten Verfahren. Auffällig ist, dass trotz der größten Bruttogeschossfläche

innerhalb der betrachteten Gebäude, vergleichsweise geringe Heizlasten ermittelt werden (vgl. Abbildung 7-25). Die kompakte Gebäudegeometrie, der geringe Fensterflächenanteil mit sehr guter Orientierung sowie die hohe Qualität der Gebäudehülle mit voll gedämmtem Kellergeschoß stehen dabei im Einklang mit den niedrigen berechneten und gemessenen Heizlastwerten.

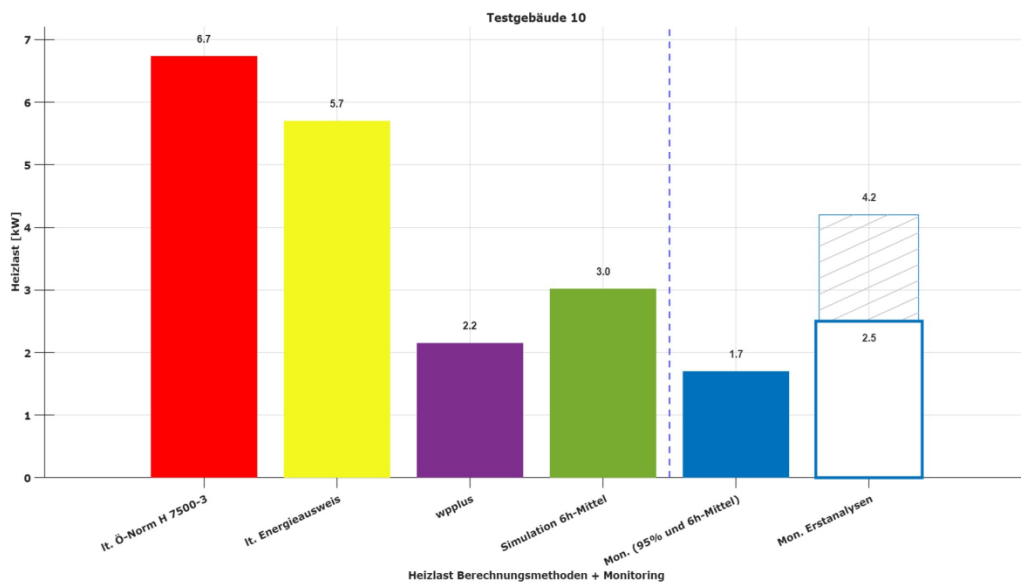


Abbildung 7-25 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 10

8 Vertiefte Datenanalyse

Im Projektverlauf wird für die 23 Testgebäude eine Erhebung entwickelt und an die Bauherren ausgesendet. Ziel ist die Ergänzung der aus Energieausweisen, Planunterlagen und Monitoringdaten gewonnenen Informationen um projektspezifische Angaben zu Umsetzung und Nutzung, welche insbesondere für die Erstellung und Plausibilisierung der Simulationsmodelle genutzt werden können. Darüber hinaus dient die Erhebung der Untersuchung möglicher Ursachen für Abweichungen zwischen Simulationsergebnissen und Monitoringdaten. Zum Projektende liegen 16 vollständig ausgefüllte Fragebögen vor. Für die in den nachfolgenden Unterkapiteln repräsentativ untersuchten Testgebäude steht lediglich ein vollständiger Datensatz zur Verfügung. Da sich aus dessen Auswertung keine zusätzlichen Erkenntnisse zur Interpretation der Ergebnisse ableiten lassen, wird die Erhebung in den weiteren Analysen nicht berücksichtigt.

Zur vertieften Analyse der Zusammenhänge zwischen Heizlast, Außentemperatur und solarer Einstrahlung werden unterschiedliche Diagrammtypen erstellt und ausgewertet. Dabei erfolgt je Gebäude eine Gegenüberstellung der Monitoringdaten mit den Ergebnissen der Simulation.

Folgende Auswertungen werden erstellt:

- Streudiagramme der Heizlast in Abhängigkeit von der Außentemperatur für Zeiträume mit solarer Einstrahlung. Die dargestellten Datenpunkte werden zusätzlich anhand der Höhe der globalen Solarstrahlung farbcodiert, wodurch der Einfluss solaren Energieeintrags sichtbar wird (vgl. Abbildung 8-1).
- Streudiagramme der Heizlast in Abhängigkeit von der Außentemperatur für Zeiträume ohne solare Einstrahlung. Die Darstellung konzentriert sich auf Nachtstunden beziehungsweise Zeitpunkte ohne relevanten Strahlungseinfluss und ermöglicht dadurch eine Betrachtung des temperaturabhängigen Heizverhaltens ohne solare Gewinne (vgl. Abbildung 8-3).
- Gebäudekennlinien über der Außentemperatur, ergänzt um einen Streubereich zwischen dem 25%- und 75%-Quantil. Dadurch werden sowohl die charakteristische Entwicklung der Heizlast als auch die Verteilung der Einzelwerte dargestellt (vgl. Abbildung 8-5).
- Streudiagramme der Heizlast in Abhängigkeit von der globalen Solarstrahlung. Die Datenpunkte werden zusätzlich anhand der jeweiligen Außentemperatur farbcodiert, wodurch das Zusammenwirken von Außentemperatur und solaren Einträgen auf die Heizlast analysiert werden kann (vgl. Abbildung 8-7).

Ergänzend wird bei allen Streudiagrammen die Häufigkeitsverteilung der Heizlastwerte im rechten Diagrammbereich dargestellt.

Aus den in Kapitel 7.3 untersuchten Gebäuden werden drei Testgebäude ausgewählt, welche auffällige Unterschiede zwischen den Simulationsergebnissen und den Monitoringdaten aufweisen. Der Fokus der vertieften Analyse liegt auf den Merkmalen Bauweise und raumluftechnische Anlage mit WRG. Das tatsächliche, individuelle Nutzerverhalten ist für den gesamten Untersuchungszeitraum nicht bekannt, weshalb die Interpretation auf Basis der verfügbaren Gebäude-, Monitoring- und Simulationsdaten erfolgt.

Für temperaturabhängige Auswertungen wird durchgängig die standortbezogene Klimadatentemperatur TaKlim verwendet, um die Vergleichbarkeit zwischen Monitoringdaten, Simulationen und den unterschiedlichen Gebäuden sicherzustellen.

Die nachfolgenden Auswertungen zeigen, dass Abweichungen zwischen Monitoringdaten und Simulationen nicht ausschließlich durch gebäudetechnische Eigenschaften erklärt werden können. Vielmehr beeinflussen individuelle Nutzungsgewohnheiten, beispielsweise unterschiedliche Raumtemperaturniveaus oder das Lüftungsverhalten der Bewohner, die gemessenen Heizlasten. Darüber hinaus treten Lastspitzen nicht zwangsläufig während der niedrigsten Außentemperaturen auf, sondern können als Leistungsspitzen auch durch betriebliche Vorgänge der Wärmepumpe verursacht werden. Insbesondere können kurze Leistungsspitzen infolge von Aufholheizen nach Warmwasserzyklen oder in Übergangszeiten nach dem Wiederanlauf mit Einschwingen eines Heizzyklus im taktenden Teillastbetrieb unter der unteren Modulationsgrenze der Wärmepumpe beobachtet werden.

Die Darstellungen dieser Analysen weiterer Testgebäude befinden sich in Anhang 13.4.

8.1 Testgebäude 02 (Bauweise leicht; RLT: nein)

Die Auswertungen von Testgebäude 02 zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Simulationsergebnissen und den Monitoringdaten. Als Gebäude in Leichtbauweise weist das Testgebäude aufgrund geringerer thermischer Trägheit grundsätzlich eine stärkere dynamische Abhängigkeit von den Randbedingungen sowie von nutzungsbedingten Einflüssen auf. Die Monitoringdaten lassen jedoch erkennen, dass die tatsächliche Heizlast über den gesamten Temperaturbereich in einem engen Leistungsband verbleibt.

Die Streudiagramme der Heizlast in Abhängigkeit von der Außentemperatur zeigen sowohl für Tages- als auch für Nachtwerte eine ähnliche Verteilung der Monitoringdaten (Abbildung 8-1 und Abbildung 8-3). Obwohl das Gebäude über keine raumluftechnische Anlage mit WRG verfügt, sind keine auffälligen Lastschwankungen oder stark streuenden Datenbereiche erkennbar. Die Verteilung der Heizlasten wirkt insgesamt begrenzt und kontrolliert. Ein ausgeprägtes unkontrolliertes Lüftungsverhalten lässt sich aus den Monitoringdaten daher nicht ableiten. Gleichzeitig deutet die im Vergleich zur Simulation deutlich geringere Streuung darauf hin, dass die tatsächlichen Lüftungsverluste wesentlich geringer ausfallen als durch den in der Simulation angesetzten konstanten Luftwechsel von $0,4 \text{ h}^{-1}$.

Auch die Häufigkeitsverteilungen verdeutlichen die Unterschiede zwischen Monitoring und Simulation. Während die Simulationsdaten am Tag überwiegend im unteren Lastbereich liegen, und lediglich vereinzelt höhere Heizlasten aufweisen (Abbildung 8-2), zeigen die Nachtwerte der Simulation eine deutlich breitere Verteilung bis in hohe Leistungsbereiche (Abbildung 8-4). Die Monitoringdaten streuen hingegen sowohl tagsüber als auch nachts innerhalb eines wesentlich engeren Lastbereichs. Dies deutet darauf hin, dass das reale Gebäudeverhalten deutlich gleichmäßiger ausfällt, als durch die Simulation abgebildet wird.

Dieser Zusammenhang wird durch die Gebäudekennlinien bestätigt. Die Monitoringdaten weisen einen geringen Streubereich auf und zeigen über weite Teile des Temperaturbereichs eine vergleichsweise konstante Heizleistung (Abbildung 8-5). Während die Heizlast im Bereich zwischen etwa $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ und $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ eine stärkere temperaturabhängige Änderung aufweist, flacht die Kennlinie bei niedrigeren Temperaturen zunehmend ab, ein bei Passivhäusern typisches Verhalten. Unterhalb von etwa $-2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ verbleibt die Heizleistung näherungsweise auf einem konstanten Niveau von rund $2,2 \text{ kW}$. Die Simulationsdaten zeigen demgegenüber eine deutlich größere Streuung der Einzelwerte (Abbildung 8-6). Durch die Darstellung der Gebäudekennlinie als Median wird jedoch ersichtlich, dass sich ein erheblicher Teil der hohen Lastwerte auf einzelne Spitzen beschränkt und nicht den typischen Betriebszustand widerspiegelt. Insbesondere im Temperaturbereich zwischen $-5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ und $+5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ treten vereinzelt deutlich höhere Heizlasten auf, die sich in der aggregierten Kennlinie nur mehr abgeschwächt widerspiegeln.

Die Gegenüberstellung der Heizlast mit der globalen Solarstrahlung zeigt zusätzlich Unterschiede im Einfluss solarer Gewinne. In der Simulation reduziert sich die Heizlast mit zunehmender solarer Ein-

strahlung kontinuierlich, wodurch ein klarer Zusammenhang zwischen solaren Gewinnen und Heizleistungsbedarf erkennbar ist (Abbildung 8-8). Im Monitoring zeigt sich dieselbe grundsätzliche Tendenz, allerdings wesentlich schwächer ausgeprägt (Abbildung 8-7). Unabhängig von der Höhe der Globalstrahlung bleibt die Heizleistung auf einen begrenzten Leistungsbereich beschränkt. Lediglich im Bereich geringer solarer Einstrahlung treten etwas häufiger höhere Heizlasten auf, während bei stärkerer Einstrahlung höhere Leistungen seltener beobachtet werden.

Unter Berücksichtigung dieser Beobachtungen werden die Unterschiede zwischen den in Kapitel 7 dargestellten Endergebnissen nachvollziehbarer (vgl. Abbildung 7-14). Die Monitoringdaten deuten auf geringere Lüftungsverluste und insgesamt gleichmäßigere Betriebszustände hin, als in der Simulation abgebildet werden. Gleichzeitig zeigt die Auswertung der Gebäudekennlinien, dass sich die Verläufe von Simulation und Monitoring bei Betrachtung des typischen Lastbereichs annähern und ein erheblicher Teil der Differenz auf vereinzelte Lastspitzen innerhalb der Simulation zurückzuführen ist, die das Testgebäude in der Praxis weitgehend dämpft.

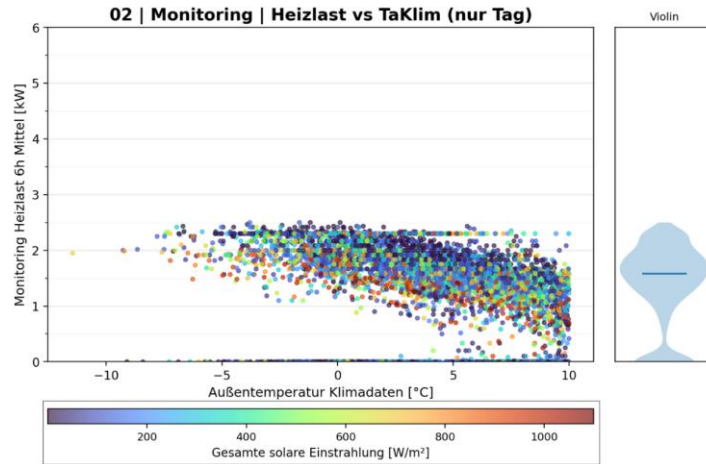


Abbildung 8-1 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zur Außentemperatur laut Klimadaten – Testgeb. 02

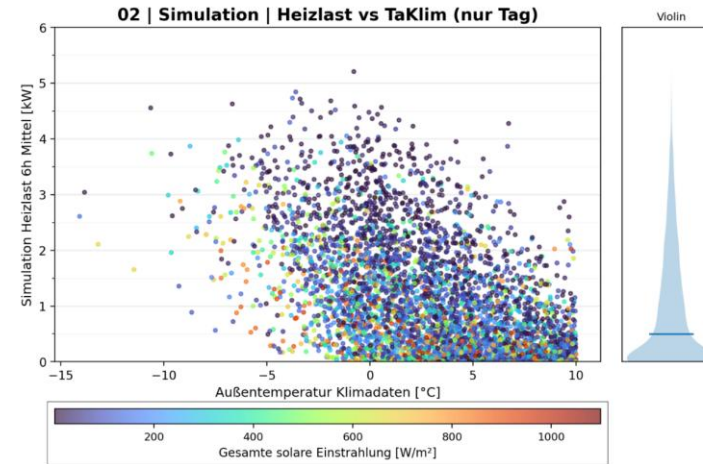


Abbildung 8-2 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zur Außentemperatur laut Klimadaten – Testgeb. 02

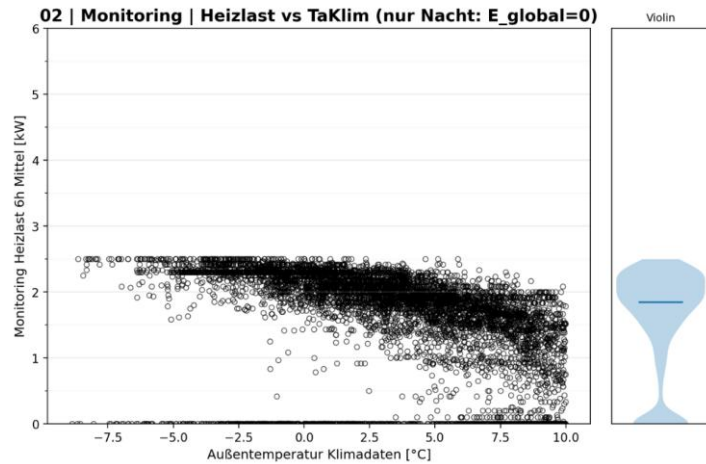


Abbildung 8-3 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zur Außentemperatur laut Klimadaten (zu Zeiten ohne solare Einstrahlung) – Testgeb. 02

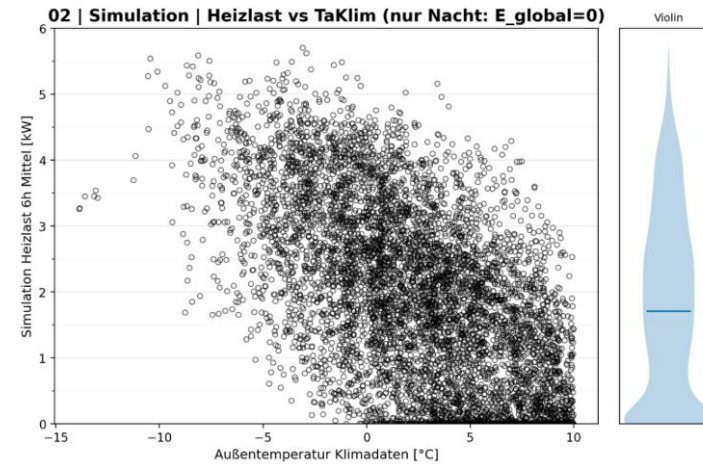


Abbildung 8-4 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zur Außentemperatur laut Klimadaten (zu Zeiten ohne solare Einstrahlung) – Testgeb. 02

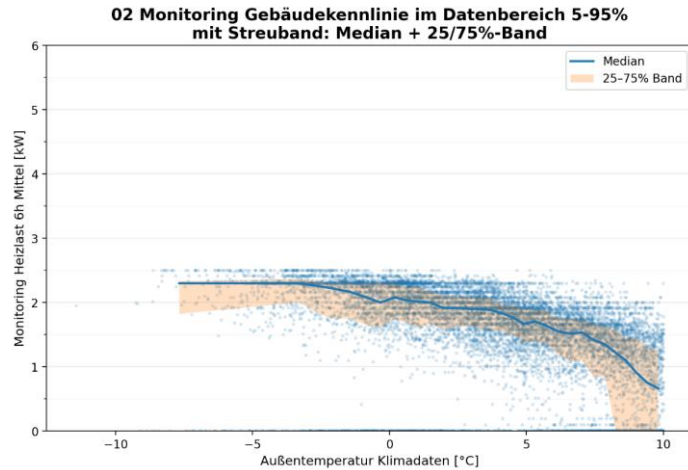


Abbildung 8-5 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 02

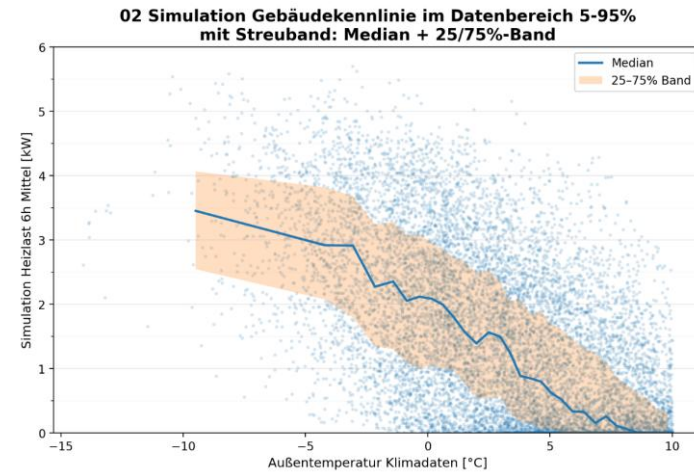


Abbildung 8-6 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 02

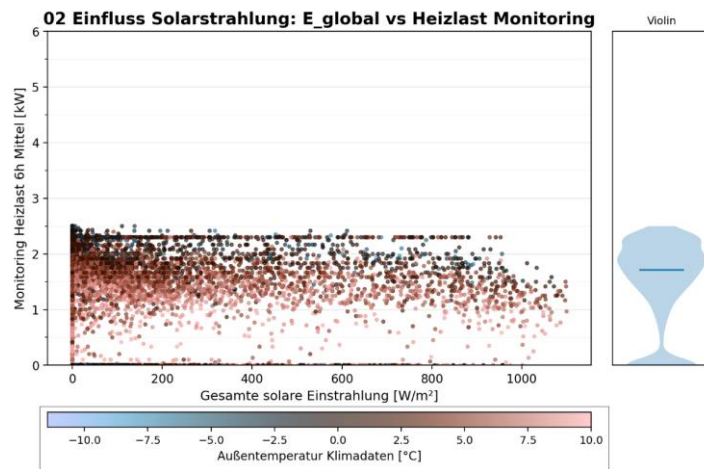


Abbildung 8-7 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zu solarer Globalstrahlung – Testgeb. 02

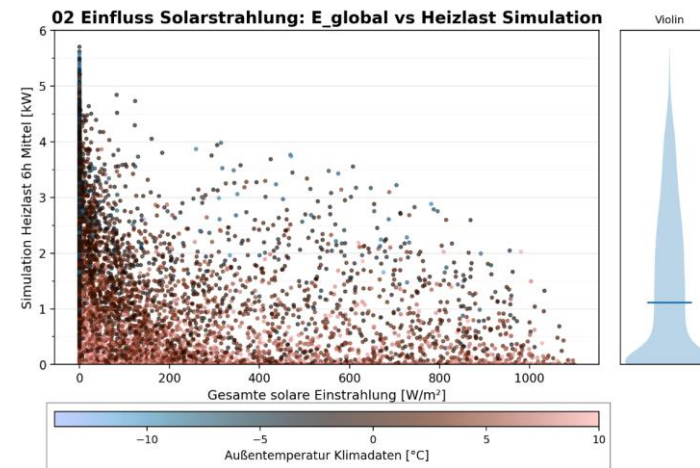


Abbildung 8-8 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zu solarer Globalstrahlung – Testgeb. 02

8.2 Testgebäude 07 (Bauweise mittelschwer; RLT: ja)

Das Testgebäude 07 ist ein im Jahr 2017 errichtetes Einfamilienhaus in mittelschwerer Bauweise mit einem Wandaufbau in Holz-Riegel Bauweise mit Strohhackselfüllung und verfügt über eine raumlufttechnische Anlage mit Wärmerückgewinnung. Der Standort weist eine NAT von $-13,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ und mit Heizgradtagen in der Höhe von 3971 Kd eine verhältnismäßig lange Heizperiode auf.

Die Auswertungen von Testgebäude 07 zeigen insgesamt ebenfalls ein sehr gleichmäßiges und stabiles Lastverhalten. Die Monitoringdaten weisen sowohl tagsüber als auch nachts eine nahezu identische Verteilung der Heizlasten auf (Abbildung 8-9 und Abbildung 8-11). Ausgeprägte Unterschiede zwischen den beiden Betrachtungszeiträumen sind nicht erkennbar. Dies deutet auf einen kontrollierten Gebäudebetrieb hin, bei dem Lüftungsverluste durch die automatisierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung reduziert werden und geglättet weitgehend unabhängig von der Tageszeit auftreten.

Der Vergleich der Tageswerte zeigt sowohl im Monitoring als auch in der Simulation den erwarteten Einfluss solarer Gewinne. Bei geringer Globalstrahlung konzentrieren sich die Datenpunkte im oberen Lastbereich, während mit zunehmender solarer Einstrahlung niedrigere Heizlasten auftreten (Abbildung 8-9 und Abbildung 8-110).

Die Simulation bildet diesen Zusammenhang grundsätzlich nachvollziehbar ab, weist jedoch einen deutlich größeren Leistungsbereich auf. Während sich die Monitoringdaten überwiegend zwischen etwa 0 kW und 2,2 kW bewegen, streuen die Simulationswerte bis in einen Bereich von rund 5,8 kW. Die Häufigkeitsverteilung der Simulation zeigt gleichzeitig, dass sich die meisten Datenpunkte in einem ähnlichen Lastbereich wie im Monitoring befinden und die höchsten Heizlasten lediglich vereinzelt auftreten. Dies deutet darauf hin, dass ein Großteil der Differenz durch einzelne Lastspitzen und nicht durch den typischen Betriebsbereich verursacht wird. Gleichzeitig legt die breitere Streuung der Simulation nahe, dass die angesetzten Lüftungsverluste das reale Gebäudeverhalten deutlich überschätzen, die Nachtwerte bestätigen diese Beobachtung. Das Monitoring zeigt auch ohne solare Gewinne nahezu dieselbe Verteilung wie am Tag (Abbildung 8-11). Die geringe Streuung der Daten deutet auf den stabilen Betrieb der raumlufttechnischen Anlage mit Wärmerückgewinnung hin. Die Simulation weist dagegen weiterhin eine deutlich größere Bandbreite der Heizlasten auf (Abbildung 8-12). In Verbindung mit dem Wärmerückgewinnungsgrad von 0,68 und der kompakten Gebäudeform mit einem A/V-Verhältnis von 0,63 spricht dies für eine wirksame Begrenzung der realen Lüftungs- und Transmissionsverluste (vgl. Tabelle 2).

Auch die Gebäudekennlinien verdeutlichen die Unterschiede zwischen Simulation und Monitoring. Die Monitoring-Kennlinie steigt mit sinkender Außentemperatur zunächst kontinuierlich an und erreicht bei etwa $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ein Leistungsniveau von rund 1,6 kW, welches bei weiter sinkenden Temperaturen nahezu konstant bleibt (Abbildung 8-13). Die Heizlast reagiert im Monitoring somit nur begrenzt auf weitere Temperaturabnahmen. Die Simulationskennlinie zeigt hingegen einen stetigen Anstieg bis auf etwa 4,5 kW bei $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ und flacht erst danach ab (Abbildung 8-14). Die geringere Streuung der Monitoringdaten sowie die abgeflachte Kennlinie deuten auf ein deutlich gedämpftes Lastverhalten hin, wie man es von Passivhäusern kennt.

Der Einfluss der solaren Einstrahlung wird zusätzlich durch die Auswertungen in Abbildung 8-15 und Abbildung 8-16 bestätigt. Sowohl Monitoring als auch Simulation zeigen eine Reduktion der Heizlast bei zunehmender Globalstrahlung. Während die Simulation einen kontinuierlichen Zusammenhang abbildet, bleibt die Heizlast im Monitoring auf einen begrenzten Leistungsbereich beschränkt. Höhere Globalstrahlungswerte führen daher nicht zu einer linearen weiteren Reduktion der Heizlast, sondern vielmehr zu einer Häufung der Datenpunkte innerhalb eines bereits begrenzten Lastbandes. Dies deutet auf Regelungsgrenzen und Mindestleistungen des Heizsystems (taktender Betrieb) hin, welche den Einfluss der solaren Gewinne zusätzlich dämpfen.

Insgesamt zeigen die Auswertungen für Testgebäude 07 eine hohe Übereinstimmung hinsichtlich der grundsätzlichen Wirkzusammenhänge zwischen Simulation und Monitoring. Der Einfluss der Außentemperatur sowie der solaren Gewinne wird in beiden Datensätzen in gleicher Richtung abgebildet. Die Monitoringdaten weisen jedoch einen deutlich engeren Leistungsbereich und geringere Lastspitzen auf. In Kombination mit der mittelschweren Bauweise, der Wärmerückgewinnung und der kompakten Gebäudegeometrie ergibt sich dadurch ein sehr stabiles Gebäudeverhalten mit geringen Unterschieden zwischen Tag- und Nachtbetrieb.

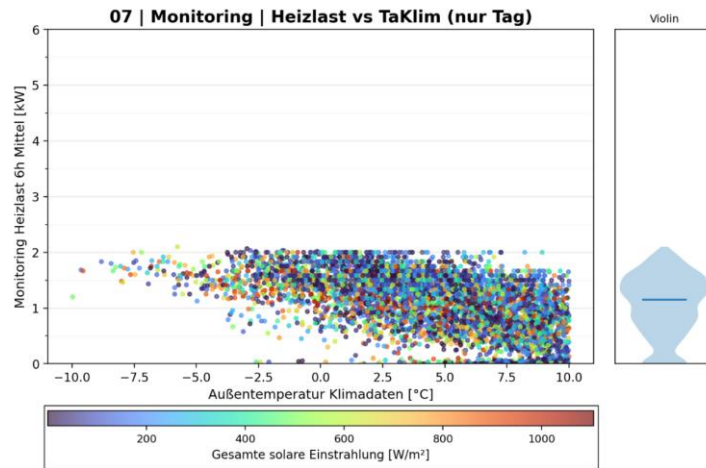


Abbildung 8-9 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zur Außentemperatur laut Klimadaten – Testgeb. 07

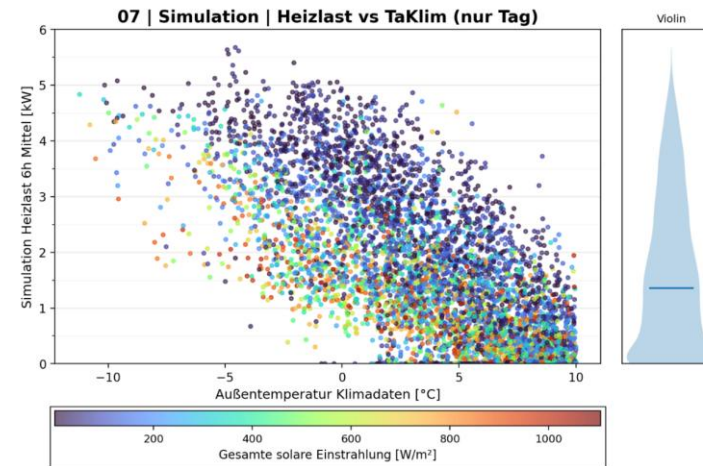


Abbildung 8-10 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zur Außentemperatur laut Klimadaten – Testgeb. 07

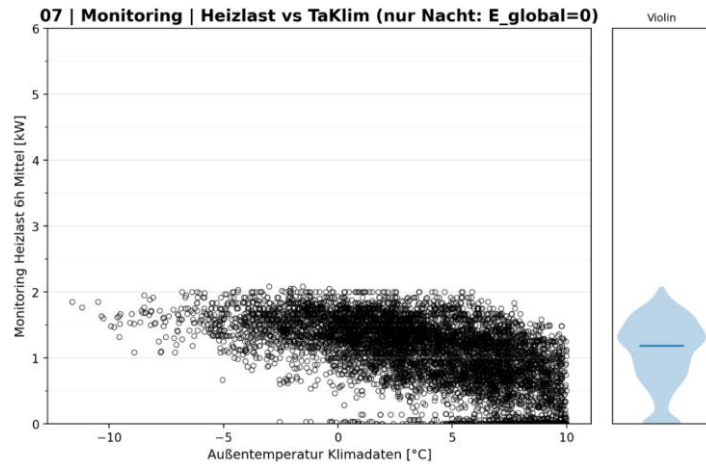


Abbildung 8-11 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zur Außentemperatur laut Klimadaten (zu Zeiten ohne solare Einstrahlung) – Testgeb. 07

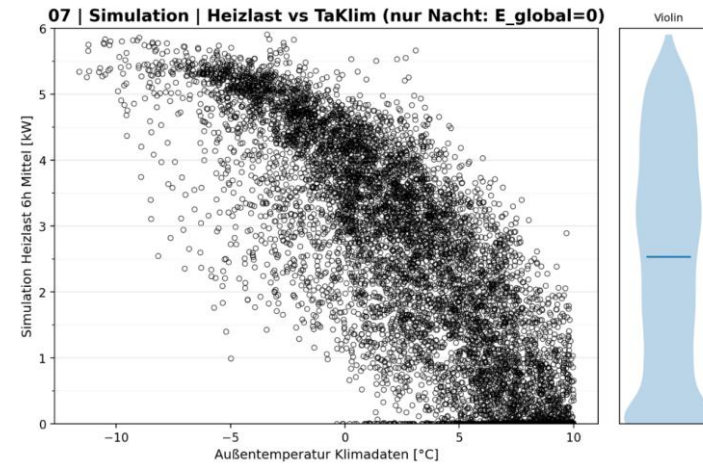


Abbildung 8-12 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zur Außentemperatur laut Klimadaten (zu Zeiten ohne solare Einstrahlung) – Testgeb. 07

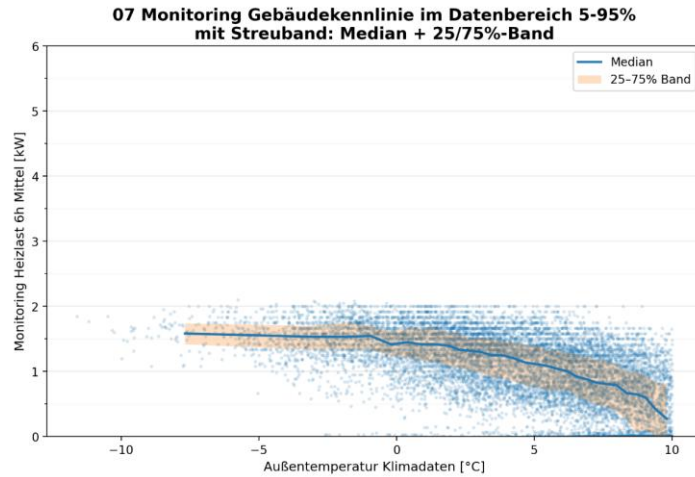


Abbildung 8-13 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 07

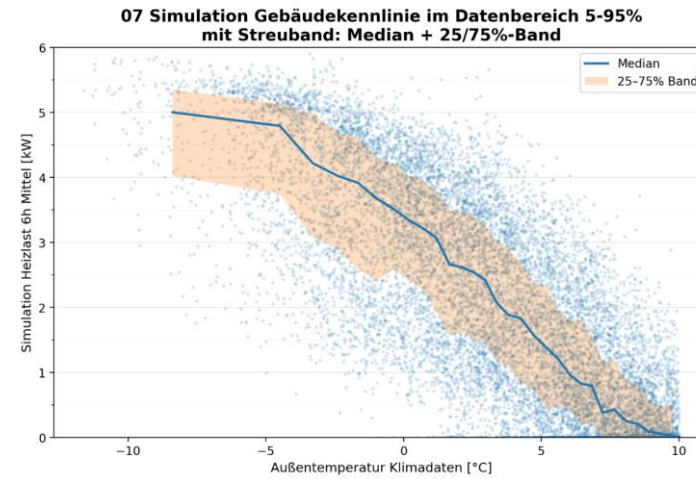


Abbildung 8-14 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 07

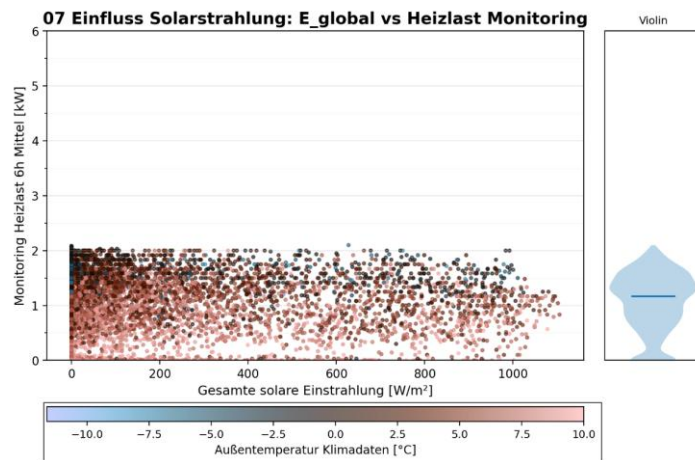


Abbildung 8-15 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zu solarer Globalstrahlung – Testgeb. 07

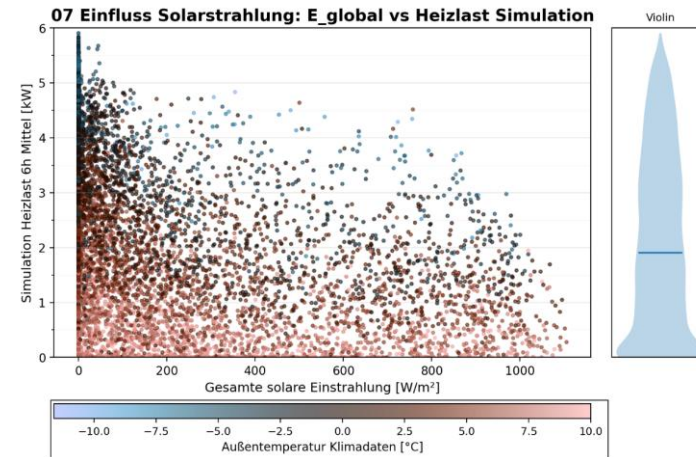


Abbildung 8-16 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zu solarer Globalstrahlung – Testgeb. 07

8.3 Testgebäude 08 (Bauweise schwer; RLT: ja)

Das Testgebäude 08 ist ein im Jahr 2017 errichtetes Einfamilienhaus in massiver Bauweise mit einem monolithischen Wandaufbau mit 44 cm Hochlochziegel und verfügt über eine raumluftechnische Anlage mit Wärmerückgewinnung. Der Standort weist eine NAT von $-14,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ und Heizgradtage in der Höhe von 3703 Kd auf. Hier wird abweichend von der Planung der Keller mittemperiert.

Die Auswertungen von Testgebäude 08 zeigen insgesamt eine große Übereinstimmung zwischen Monitoring und Simulation. Die Monitoringdaten weisen sowohl tagsüber als auch nachts eine stetige flachere Verteilung der Heizlasten auf (Abbildung 8-17 und Abbildung 8-19). Die absoluten Unterschiede zwischen den beiden Betrachtungszeiträumen sind wieder durch solare Gewinne erklärbar. Der Streubereich ist signifikant höher als bei den beiden vorigen Gebäuden, dies ist durch die schwächere Dämpfung aufgrund der geringeren Güte der thermischen Hülle nachvollziehbar (Abbildung 8-17 und Abbildung 8-18).

Die Gebäudekennlinie weist eine wesentlich höhere Steigung gegenüber den beiden vorigen Gebäuden auf, dies korreliert sehr gut mit dem höheren mittleren U-Wert von $0,27\text{ W/m}^2\text{K}$ der an der oberen Grenze des Testfelds liegt. Der höhere Lastdeckel, den das Monitoring gegenüber der Simulation zeigt, erklärt sich über die zusätzliche Last durch das temperierte Kellergeschoß (Abbildung 8-21 und Abbildung 8-22).

Die Gegenüberstellung der Heizlast mit der globalen Solarstrahlung zeigt hier weitgehende Übereinstimmung zwischen Simulation und Monitoring bei breiterer Streuung der Lasten. Der ausgeprägte dämpfende Deckel der hochgedämmten Hüllen der beiden vorigen Objekte ist hier nicht zu erkennen. (Abbildung 8-23 und Abbildung 8-24). Im Bereich geringer solarer Einstrahlung treten höhere Heizlasten auf, während diese bei stärkerer Einstrahlung seltener beobachtet werden.

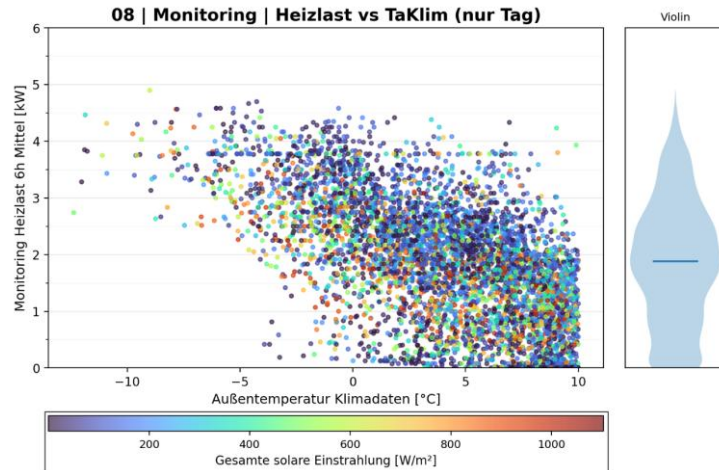


Abbildung 8-17 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zur Außentemperatur laut Klimadaten – Testgeb. 08

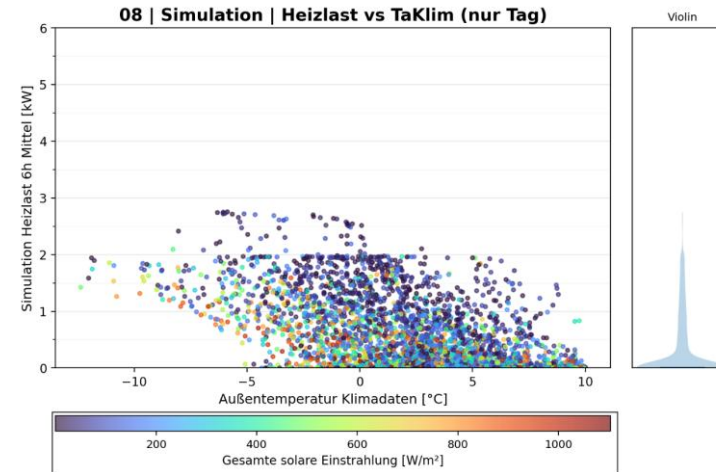


Abbildung 8-18 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zur Außentemperatur laut Klimadaten – Testgeb. 08

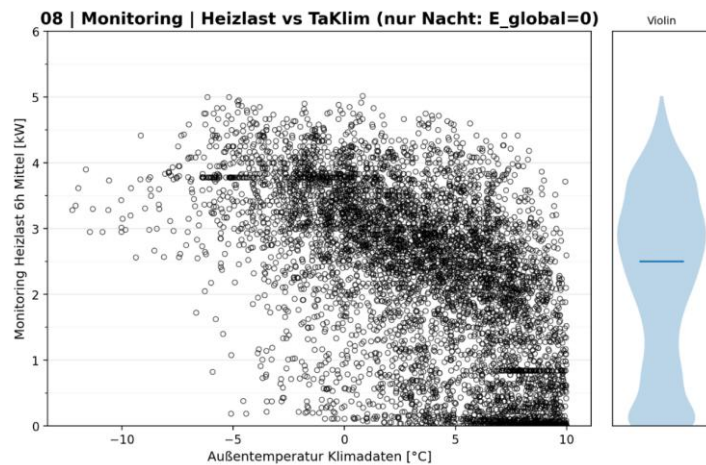


Abbildung 8-19 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zur Außentemperatur laut Klimadaten (zu Zeiten ohne solare Einstrahlung) – Testgeb. 08

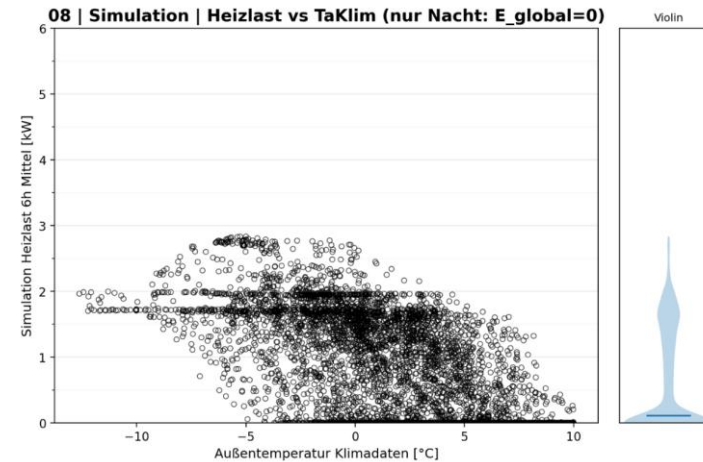


Abbildung 8-20 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zur Außentemperatur laut Klimadaten (zu Zeiten ohne solare Einstrahlung) – Testgeb. 08

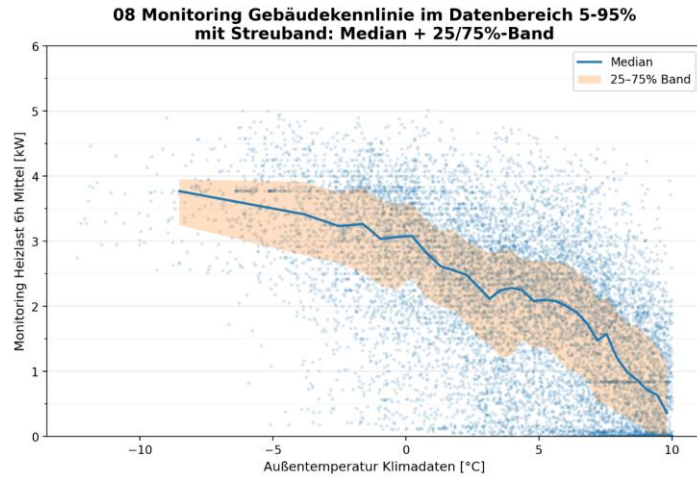


Abbildung 8-21 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 08

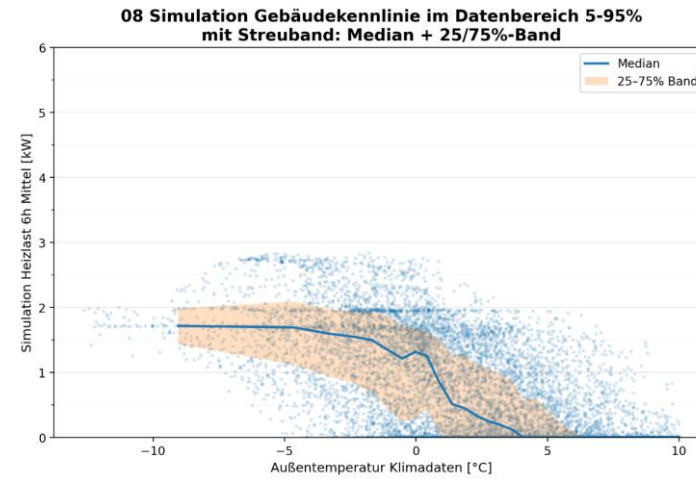


Abbildung 8-22 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 08

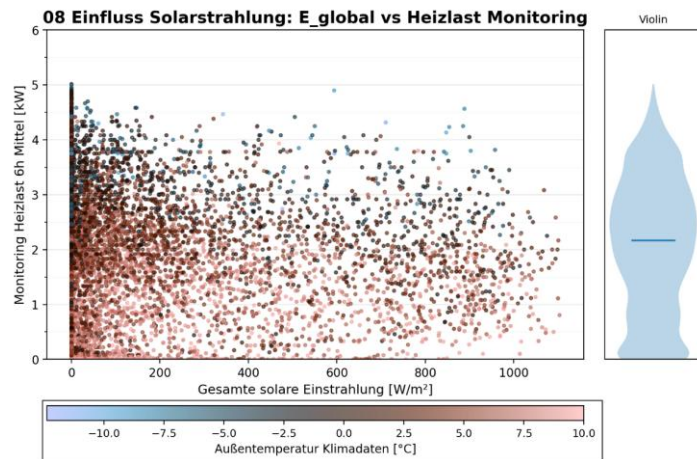


Abbildung 8-23 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zu solarer Globalstrahlung – Testgeb. 08

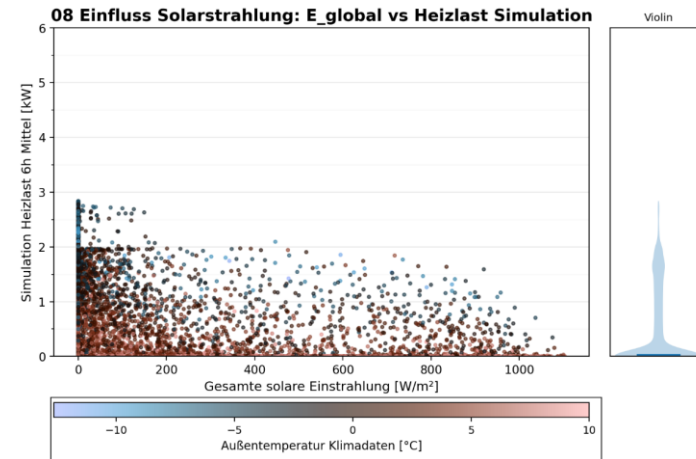


Abbildung 8-24 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zu solarer Globalstrahlung – Testgeb. 08

8.4 Normaußentemperatur Klimadatenanalyse

Wie in Kapitel 6.1.1 beschrieben wird die NAT als einer der einflussreichsten Eingangsparameter in den standardisierten Heizlastberechnungen identifiziert. Zur Einordnung der angesetzten Werte wird eine standortbezogene Klimadatenanalyse der Testgebäude durchgeführt. Die Untersuchung orientiert sich dabei an der Definition der NAT gemäß ÖNORM H 7500-1 als „das tiefste Zweitagesmittel der Außentemperatur, das zehnmal innerhalb von zwanzig Jahren erreicht oder unterschritten wird.“ (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 9).

Hierzu werden die standortspezifischen Außentemperaturen mit stündlicher Auflösung aus dem Datensatz „INCA-v1 (1 h): Meteorologische Analysedaten für Österreich“ über das Datenportal von GeoSphere Austria abgerufen (GeoSphere Austria 2021). Für die Jahre 2011 bis 2025 wird ein gleitendes 48-Stunden-Mittel über die Temperaturdaten gebildet und anschließend das jährliche Minimum dieses Zweitagesmittels bestimmt. In Abbildung 8-25 sind diese jährlichen Minimalwerte als Datenpunkte dargestellt. Ergänzend werden die standortspezifische NAT als blau gestrichelte Linie sowie das durchschnittliche Niveau der beiden kältesten Jahre im Untersuchungszeitraum dargestellt.

Die Auswertung zeigt, dass die für den Standort angesetzte Norm-Außentemperatur von $-15,3\text{ °C}$ im gesamten Untersuchungszeitraum von 2011 bis 2025 nicht erreicht wird. Selbst im kältesten betrachteten Jahr liegt das minimale Zweitagesmittel lediglich bei etwa -13 °C und damit mehr als 2 K über der Norm-Außentemperatur.

In mehreren Jahren werden Minimalwerte von rund -10 °C beobachtet, was bereits einer Abweichung von mehr als 5 K entspricht. In den übrigen Jahren liegen die jährlichen Minima nochmals deutlich höher.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass zwischen den angesetzten Norm-Außentemperaturen und den tatsächlich beobachteten Temperaturverläufen erhebliche Unterschiede bestehen können. Die Erkenntnisse bestätigen die in Kapitel 6.1.1 identifizierte hohe Sensitivität der Norm-Heizlast gegenüber Änderungen in der NAT.

Die Ergebnisse dieser Analyse bilden eine wesentliche Grundlage für den in Kapitel 9.5 formulierten Vorschlag zur regelmäßigen Überprüfung und Aktualisierung der verwendeten Norm-Außentemperaturen.

Eine ähnliche Untersuchung mit vergleichbaren Ergebnissen und Schlussfolgerungen hat das IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie - für Wien und Niederösterreich auf seiner Homepage publiziert. (Egmond-Fröhlich 2025)

Die Ergebnisse der übrigen Testgebäude befinden sich in Anhang 13.5 und sind in den Abbildungen 13-175 bis 13-196 dargestellt.

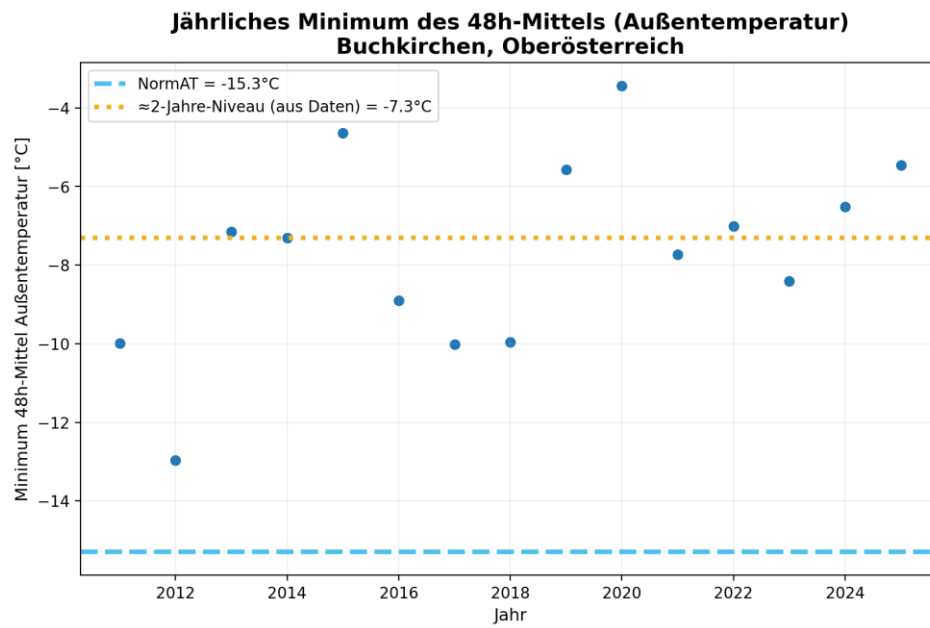


Abbildung 8-25 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 01 - Gegenüberstellung jährliches Minimum des 48 h-Mittels mit NAT

9 Vorschläge zur Verbesserung der Norm-Heizlastberechnung für sanierte oder neue Gebäude

Die in diesem Projekt dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die derzeitigen normativen Verfahren bei energieeffizienten Niedrigstenergiegebäuden die tatsächlich erforderliche Heizleistung meist sehr konservativ abschätzen. Sowohl die Auswertungen der Monitoringdaten als auch die Gegenüberstellung mit alternativen Berechnungsmethoden und dynamischen Gebäudesimulationen verdeutlichen, dass die Norm-Heizlast primär als Vergleichsgröße (theoretischer oberer Deckel) zu verstehen ist und das reale Betriebsverhalten moderner Gebäude nur eingeschränkt abbildet. Speziell beim vorherrschenden Einsatz von Wärmepumpen bedeutet dies oft unnötige Komplexität und Kosten bei Quellerschließungen und schlechteres Betriebsverhalten und reduzierte Lebensdauer durch taktenden Betrieb (Grim-Schlink et al. 2020).

Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen werden daher Vorschläge formuliert, welche eine realitätsnähere und zugleich weiterhin normkonforme Heizlastberechnung für sanierte und neu errichtete Gebäude ermöglichen sollen.

9.1 Empfehlung dynamischer Gebäudesimulationen als gleichwertiges Nachweisverfahren

Die Ergebnisse des Projekts zeigen, dass dynamische Gebäudesimulationen eine gute Übereinstimmung mit den ausgewerteten Monitoringdaten erreichen können (vgl. Abbildung 7-14). Dies gilt insbesondere für Zeiträume mit niedrigen Außentemperaturen, in denen keine außergewöhnlichen Betriebsstrategien oder energieflexiblen Regelungen aktiv sind.

Während normative Verfahren auf vereinfachten verlustbasierten Annahmen beruhen, ermöglicht die dynamische Gebäudesimulation die Berücksichtigung zeitabhängiger Randbedingungen, der thermischen Speichermasse des Gebäudes, unterschiedlicher Anlagensysteme sowie interner und solarer Wärmegegewinne. Dadurch kann das reale Verhalten moderner Gebäude deutlich differenzierter und praxisnäher abgebildet werden.

Es wird daher vorgeschlagen dynamische Gebäudesimulationen als weiteres zulässiges Verfahren zur Heizlastberechnung anzuerkennen. Voraussetzung dafür sollte die Anwendung qualitätsgesicherter Simulationswerkzeuge sowie die Verwendung nachvollziehbarer und dokumentierter Eingangsparameter sein.

Die Ergebnisse des Projekts zeigen darüber hinaus, dass bereits die im Energieausweis verfügbaren Informationen eine geeignete Datengrundlage für derartige Simulationen darstellen. Zusätzliche Informationen zum Nutzerverhalten, zu Lüftungsstrategien oder zu energieflexiblen Betriebsweisen können die Übereinstimmung mit den realen Monitoringdaten weiter verbessern (vgl. Kapitel 7.5).

Normativer Bezug:

Der dargestellte Vorschlag steht im Zusammenhang mit den Verfahren zur Ermittlung der Norm-Heizlast gemäß ÖNORM H 7500-1 (Austrian Standards International 2015 02 15) und ÖNORM H 7500-3 (Austrian Standards International 2014 07 01) und betrifft die grundsätzliche Zulässigkeit alternativer Berechnungsverfahren.

9.2 Berücksichtigung von Wärmegegewinnen

Wie die Ergebnisvergleiche in Kapitel 7.3 zeigen, liegen Monitoring- und Simulationsergebnisse bei den untersuchten Gebäuden deutlich unter den normativen Heizlastwerten. Eine wesentliche Ursache dafür ist die fehlende Berücksichtigung von Wärmegegewinnen innerhalb der aktuellen Berechnungsverfahren (vgl. Austrian Standards International 2014 07 01, S. 11–17).

Aktuelle Niedrigstenergiehäuser (NZEB) nach aktueller europäischer Gebäude richtlinie (Europäisches Parlament, Rat der Europäischen Union 28.05.2024) als aktueller Baustandard in Österreich liegen in ihrem thermischen Verhalten viel näher an Passivhäusern als am Baustandard der letzten Jahrzehnte. Bei Passivhäusern liegen die realen Heizlasten unter der Hälfte gegenüber normativ ermittelten Heizlasten. Bei Niedrigstenergiehäusern wird der Heizwärmebedarf durch solare und innere Gewinne oft halbiert - abhängig vor allem von günstiger solarer Architektur und entsprechenden Standorten.

Insbesondere bei Niedrigstenergiegebäuden beeinflussen sowohl solare Gewinne als auch interne Wärme gewinne durch Nutzer und Geräte die tatsächlich erforderliche Heizleistung (vgl. Kapitel 7.2 und 8). Während diese Einflüsse in dynamischen Gebäudesimulationen berücksichtigt werden können (vgl. Kapitel 6.4.5), werden sie in den derzeit angewendeten normativen Heizlastverfahren nicht angesetzt.

Im Rahmen der Kommentierung des Normentwurfs der ÖNORM EN 12831-1 (im Jahr 2025) wird daher vorgeschlagen, Wärme gewinne bei der Heizlastberechnung für energieeffiziente Gebäude verpflichtend zu berücksichtigen. Die Ergebnisse des Projekts, insbesondere die Analysen in Kapitel 7 und Kapitel 8, unterstützen diesen Ansatz, da die reale Heizleistung deutlich durch diese zusätzlichen Wärmequellen beeinflusst wird.

Hierfür sind auf nationaler Ebene geeignete Verfahren oder standardisierte Ansätze zur Ermittlung der relevanten Wärme gewinne festzulegen. Dadurch kann die Heizlastberechnung stärker an die tatsächlichen Randbedingungen moderner Gebäude angepasst werden, ohne die Nachvollziehbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu verlieren.

9.3 Berücksichtigung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung

Die Berechnung der Lüftungswärme verluste in den derzeit gültigen Verfahren basiert auf den in Kapitel 3.2.2 beschriebenen normativen Ansätzen für hygienisch bedingte Luftwechsel sowie Infiltration durch die Gebäudehülle.

Ebenfalls im Rahmen der Kommentierung des Normentwurfs der ÖNORM EN 12831-1 (im Jahr 2025) zeigt sich das Potenzial einer differenzierten Berücksichtigung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. Insbesondere für energieeffiziente Gebäude mit kontrollierter Wohnraumlüftung ermöglicht dies eine realitätsnähere Abbildung der tatsächlich auftretenden Lüftungswärme verluste.

Auf Basis der Projektergebnisse wird daher vorgeschlagen, die entsprechenden Regelungen des Entwurfs der ÖNORM EN 12831-1 in die nationale Normung zu übernehmen. Dadurch können vorhandene Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung bei der Heizlastberechnung angemessen berücksichtigt werden, ohne die bestehenden normativen Anforderungen an hygienische Luftwechsel oder die Berücksichtigung von Infiltrationsluftwechseln zu verändern.

Normativer Bezug:

Der Vorschlag bezieht sich auf die in Kapitel 8 der ÖNORM H 7500-1 (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 21–24) und Kapitel 7 der ÖNORM H 7500-3 (Austrian Standards International 2014 07 01, S. 16–18) definierten Ansätze zur Berechnung der Lüftungswärme verluste.

9.4 Berücksichtigung der thermischen Speichermasse durch eine bauweiseabhängige Anpassung der Auslegungstemperatur

Die Ergebnisse des Projekts zeigen, dass die Bauweise und damit die thermische Speichermasse eines Gebäudes durch ihre glättende Wirkung auf Lastspitzen durch niedrige Außentemperaturen einen wesentlichen Einfluss auf die tatsächlich erforderliche Heizleistung haben (vgl. Abbildung 7-17 und Abbildung 7-18). Die derzeitigen normativen Verfahren berücksichtigen diesen Einfluss jedoch nur ein-

geschränkt, obwohl Gebäude mit hoher Speichermasse kurzfristige Temperaturänderungen der Außenluft deutlich verzögert und gedämpft aufnehmen.

Als möglicher Ansatz für eine stärkere Berücksichtigung der Gebäudetragheit kann auf die in Kapitel 3.1 beschriebene DVUT-Methodik (Dimensionierende vinterutetemperatur) verwiesen werden. Die Länge dieses Zeitraums wird dabei in Abhängigkeit von der Bauweise gewählt. (Karlsson und Andersson 2016)

Während sehr leichte Gebäude anhand kurzer Betrachtungszeiträume bewertet werden, kommen bei Gebäuden mit hoher thermischer Speichermasse deutlich längere Zeiträume zur Anwendung. Dadurch wird die Fähigkeit des Gebäudes zur Zwischenspeicherung von Wärme unmittelbar in die Bemessung einbezogen. (Austrian Standards International 2012 04 01)

Für zukünftige Weiterentwicklungen der Norm-Heizlastberechnungen erscheint daher eine bauweise-abhängige Berücksichtigung der thermischen Speichermasse sinnvoll. Dadurch könnten die realen thermischen Eigenschaften moderner Gebäude besser abgebildet und konservative Überbewertungen der erforderlichen Heizleistung reduziert werden.

9.5 Anpassung der Normaußentemperatur

Wie in Kapitel 6.1.1 dargestellt, zählt die Norm-Außentemperatur zu den einflussreichsten Eingangsparametern der Heizlastberechnung. Änderungen dieses Wertes wirken sich unmittelbar auf die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste aus und beeinflussen somit die resultierende Norm-Heizlast in erheblichem Maß.

Die in Kapitel 8.4 dargestellte Klimadatenrecherche ermöglicht eine Gegenüberstellung der verwendeten Norm-Außentemperaturen mit aufgezeichneten Klimadaten der Testgebäudestandorte. Dabei werden die Norm-Außentemperaturen den tatsächlich aufgezeichneten Außentemperaturen der vergangenen Jahre gegenübergestellt. Die Auswertung erfolgt auf Basis der jährlichen Minimalwerte eines 48-Stunden-Mittels und dient der Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit extremer Temperaturereignisse.

Vor diesem Hintergrund erscheint eine regelmäßige Überprüfung und Aktualisierung der verwendeten Norm-Außentemperaturen als rollierende Durchschnittswerte sinnvoll. Dabei sollte insbesondere berücksichtigt werden, ob die derzeit angesetzten Werte die aktuellen klimatischen Randbedingungen weiterhin repräsentativ abbilden.

Ergänzend zeigt der bereits in Kapitel 3.1 beschriebene DVUT-Ansatz, dass bei der Definition von Auslegungstemperaturen auch die Eintrittswahrscheinlichkeit und zeitliche Dauer von Kälteereignissen berücksichtigt werden können. (Karlsson und Andersson 2016)

Für die zukünftige Weiterentwicklung der Norm-Heizlastberechnung wird daher vorgeschlagen, die verwendeten Norm-Außentemperaturen auf Basis aktueller Klimadaten laufend oder regelmäßig zu evaluieren und Ansätze mit höherer Eintrittswahrscheinlichkeit als Ergänzung zu prüfen.

Normativer Bezug:

Der Vorschlag bezieht sich auf die Festlegung der Norm-Außentemperatur in Kapitel 6 der ÖNORM H 7500-1 (Austrian Standards International 2015 02 15, S. 9) und Kapitel 5 der ÖNORM H 7500-3 (Austrian Standards International 2014 07 01, S. 7).

10 Diskussion und Ausblick

Energieausweis als Datengrundlage

Die Ergebnisse des Projekts zeigen, dass der Energieausweis eine wertvolle und umfassende Datengrundlage für die Heizlastbewertung von Niedrigstenergiegebäuden darstellt. Die Eingangsparameter des Energieausweises werden für die Berechnungsweisen wpplus und PHPP sowie für die dynamischen Gebäudesimulationen verwendet. Trotz dieser im Vergleich zum realen Gebäudebetrieb eingeschränkten Datengrundlage wird insgesamt eine gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Monitoring erreicht.

Der Energieausweis beschreibt ein Gebäude bilanziell mit Wärmeverlusten (Transmissions- und Lüftungsverluste) und solaren und inneren Gewinnen. Die inneren Gewinne werden vereinfacht nach Gebäudegröße pauschaliert und von dieser auf Personenbelegung und Nutzung geschlossen. Die solaren Gewinne werden nach dem Monatsbilanzierungsverfahren nach solarer Architektur (Größe, physikalische Eigenschaft und Ausrichtung der Fenster) und Standortdaten (Globalstrahlung) berechnet. Hier liegt eine sehr große Varianz zwischen normativer Heizlast und tatsächlichem Bedarf begründet. Ein und dasselbe Gebäude an einem anderen Standort mit gleicher Normaußentemperatur aber längerer Heizperiode (Heizgradtage) oder geringerer Globalstrahlung weist einen deutlich differenten Heizwärmebedarf auf.

Der Energieausweis liegt als verpflichtender Bestandteil der Baubewilligung für jedes Bauvorhaben vor. Es ist daher naheliegend ihn auch zur zusätzlichen Abschätzung von Heizlast und Heizwärmebedarf anzusetzen. Verfahren wie wpplus, das per Hottinger-Zahl und standortspezifischen Volllaststunden einen praxisnahen Wert zur tatsächlichen Heizlast ableitet, können vor allem im kleinteiligen Bereich der Einfamilienhäuser hilfreich sein. Die Ergebnisse aus dem Monitoring zeigen das eindrucksvoll.

Gleichzeitig wird deutlich, dass der Energieausweis wesentliche Informationen zum tatsächlichen Gebäudebetrieb nicht enthält. Insbesondere das Nutzerverhalten sowie der damit verbundene Einfluss interner Wärmegewinne werden nur über standardisierte Annahmen berücksichtigt. Dies betrifft unter anderem die tatsächliche Anzahl der Nutzer, zusätzlich beheizte Räume, Abweichungen zwischen Planungsunterlagen und Ausführung, energieflexible Betriebsstrategien oder detaillierte Informationen zur Auslegung und Regelung von Wohnraumlüftungen.

Die in Kapitel 8 dargestellten Abweichungen zwischen Monitoring und Simulation zeigen, dass weiterführende Informationen dieser Art die Übereinstimmung der Ergebnisse zusätzlich verbessern könnten. Sensitivitätsanalysen verdeutlichen beispielsweise, dass eine Variation der Luftwechselraten zu einer deutlichen Veränderung der simulierten Lastspitzen führen. Dadurch wird nachvollziehbar, dass gebäudespezifische Informationen zur Infiltration oder zur tatsächlichen Betriebsweise der Lüftungseinrichtungen einzelne Abweichungen zwischen Monitoring und Simulation reduzieren könnten.

Obwohl die internen Wärmegewinne im Projekt aufgrund fehlender nutzerspezifischer Informationen ausschließlich auf Basis standardisierter Werte gemäß ÖNORM EN 16798-1 modelliert werden, zeigen die Ergebnisse insgesamt eine gute Übereinstimmung zwischen den Simulationen und den Monitoringdaten. Der Energieausweis stellt damit bereits in seiner heutigen Form eine geeignete Grundlage für simulationsgestützte Bewertungsverfahren dar. Als besonders wertvoll erweist sich, dass er neben der Normaußentemperatur auch weiterführende standortspezifische Klimadaten wie Heizgradtage und Globalstrahlung berücksichtigt.

Wärmegewinne und tatsächlicher Heizwärmebedarf

Die Bedeutung solarer und interner Wärmegewinne zeigt sich aus bei der näheren Betrachtung einzelner Referenzuntersuchungen. Abbildung 10-1 und Abbildung 10-2 zeigen zwei Gebäude mit sehr un-

terschiedlicher solarer Architektur, Ausrichtung am Grundstück und standortspezifischen Klimadaten (Heizgradtagen). Während im ersten, ungünstigen Fall die Differenz zur Normheizlast bei Berücksichtigung innerer & solarer Gewinne aus dem EA nach wpplus 19 % beträgt, sind es im zweiten, günstigen Fall 45 %. Die Gewinne durch solare Strahlung zeigen durch das Projekt belegt die größte Sensitivität bei der Abweichung des tatsächlichen Bedarfs von der Normheizlast. Gleichzeitig ist dieser Wert am schwierigsten zu pauschalisieren, da er sowohl von der Architektur, der Ausrichtung als auch dem Standort abhängt. Die Ergebnisse bestätigen damit die in Kapitel 9.2 formulierte Empfehlung, Wärmegewinne künftig stärker in der Heizlastberechnung zu berücksichtigen.

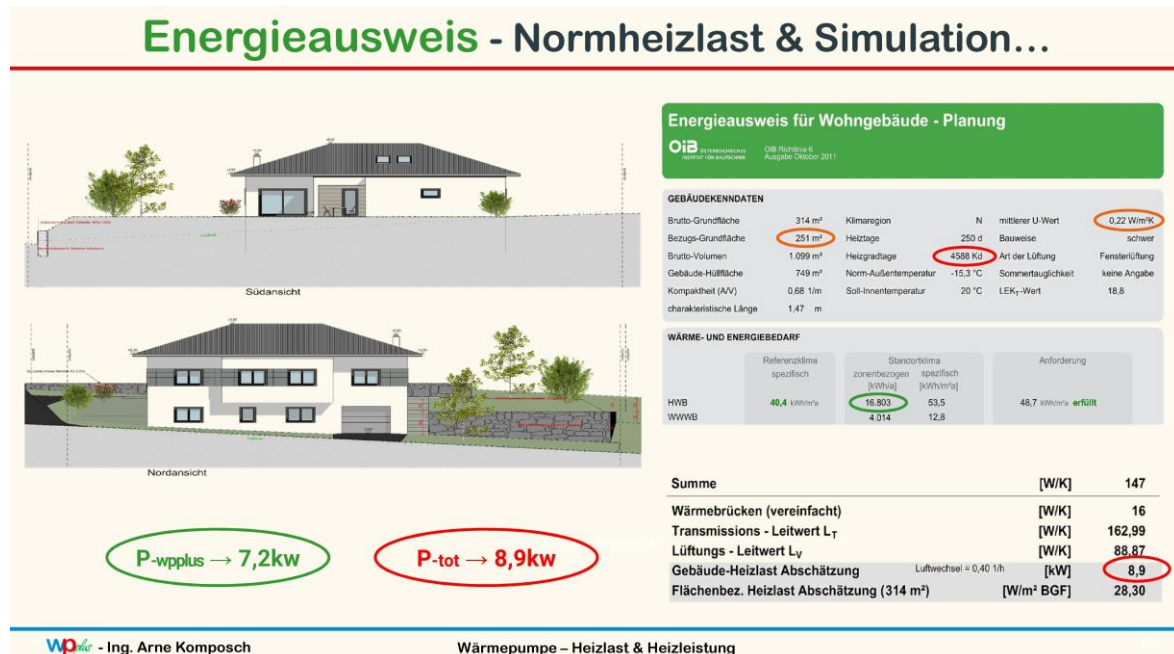


Abbildung 10-1 Referenz Untersuchung Einfluss solarer Architektur - ungünstiger Fall (Quelle: eigene Darstellung wpplus)

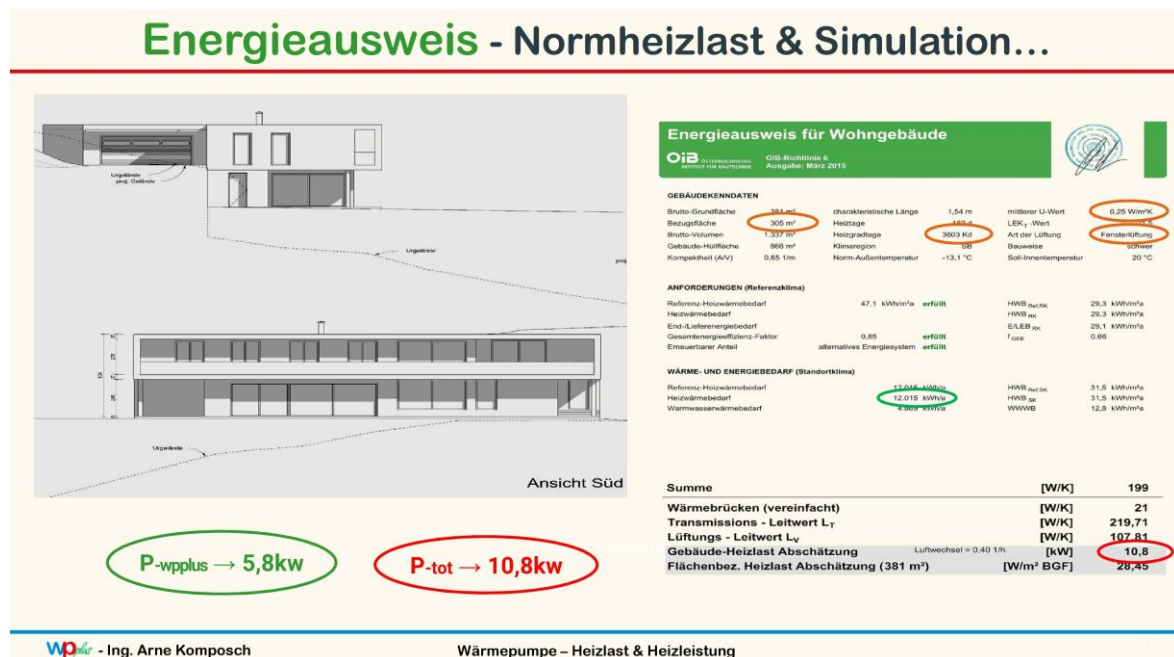


Abbildung 10-2 Referenz Untersuchung Einfluss solarer Architektur - günstiger Fall (Quelle: eigene Darstellung wpplus)

Warmwasser- und Kühlbedarf

Ergebnisse aus dem Monitoring zeigen darüber hinaus, dass der Warmwasserwärmebedarf bei Einfamilienhäusern typischerweise in einer Größenordnung liegt, die mit den Abschätzungen des Energieausweises gut übereinstimmt. Bei einer Belegung von etwa drei bis fünf Personen bewegt sich der jährliche Warmwasserwärmebedarf üblicherweise zwischen 1.500 kWh und 2.500 kWh.

Gleichzeitig zeigt der reale Gebäudebetrieb, dass die maximale saisonale Heizleistung nur während weniger Stunden der Heizperiode erforderlich ist. Während des Großteils der Heizperiode liegt der Leistungsbedarf deutlich unter der Auslegungsleistung für den Normfall. Dadurch steht ein wesentlicher Anteil der installierten Wärmepumpenleistung für die Warmwasserbereitung oder zur künftig standardmäßig umgesetzten Lastverschiebung (Sektorkopplung) im netzgeführten Betrieb der Wärmepumpe zur Verfügung: nämlich die Differenz zwischen der 24/7 verfügbaren Maximalleistung der Wärmepumpe und der aktuell anstehenden Momentanlast des Gebäudes (vgl. Kapitel 7.2.1). Die Warmwasserbereitung beansprucht je nach System typischerweise nur einen begrenzten täglichen Zeitraum von 1-2 Stunden und kann bei entsprechender Regelungsstrategie zusätzlich in Zeiten günstiger Stromverfügbarkeit zum netzdienlichen Betrieb verlagert werden. Im Winter sind dies die Nachtstunden (Schwachlast) und im Sommer die Mittagsstunden (PV-Überschuss).

Auch hinsichtlich des Kühlbedarfs zeigt sich ein deutlicher Unterschied zur Heizlast. Die Monitoringergebnisse weisen darauf hin, dass der Kühlbedarf bei Wohngebäuden deutlich unter dem Heizbedarf liegt, typischerweise im Bereich von 25-35 %. Dadurch wird die für den Heizfall ausgelegte Anlagentechnik in der Regel auch den Kühlfall abdecken können. Insbesondere bei erdgekoppelten Systemen bietet sich dafür die Nutzung passiver Kühlkonzepte an, während bei aktiver Kühlung oftmals deutlich höhere Mindestleistungen als tatsächlich erforderlich vorhanden sind.

Abbildung 10-3 zeigt eine Auswertung der Energiebilanz von Testgebäude 02 über 10 Jahre mit gemittelten Werten für Heizwärmebedarf, Warmwasserwärmebedarf, Kühlbedarf und Endenergiebedarf, der geothermischen Entzugsenergie (Anergie) und dem elektrischen PV-Ertrag aus eigener Parzelle sowie den Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpe mit/ohne Berücksichtigung der passiven Kühlung.

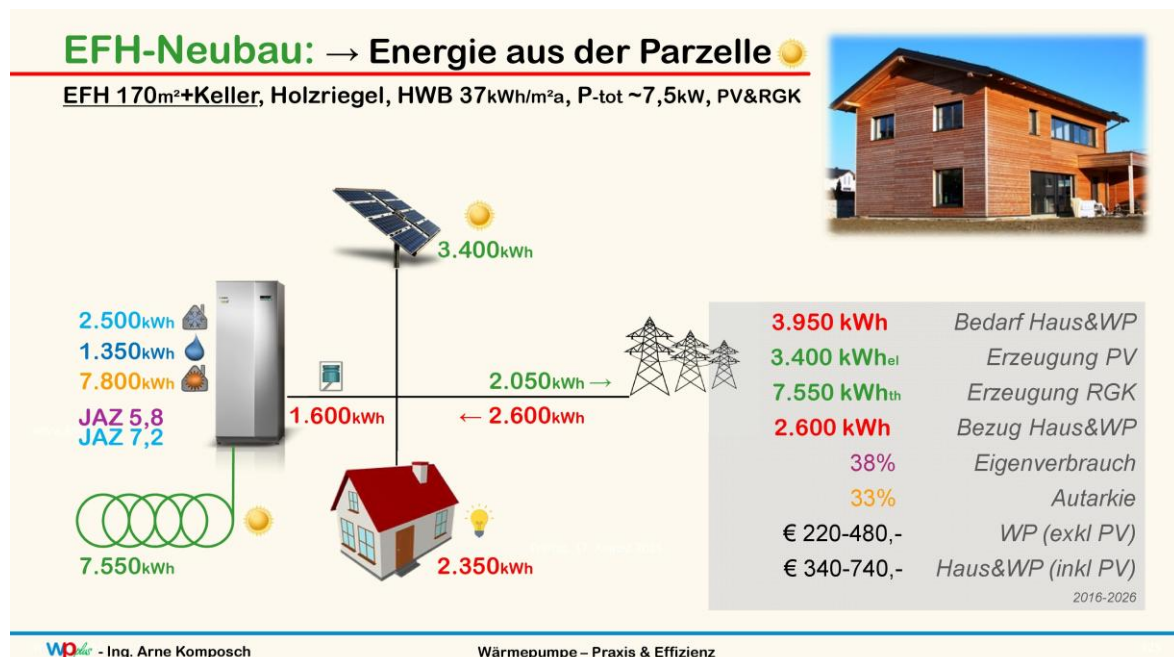


Abbildung 10-3 Auswertung Energiebilanz Testgebäude 02 (Quelle: eigene Darstellung wpplus)

Praxisnahe Heizlastabschätzung

Für eine überschlägige Heizlastabschätzung in der Planungspraxis bietet sich die im Projekt verwendete Berechnungsweise wplus unter Verwendung der Hottinger-Zahl an. Die Ergebnisse zeigen eine insgesamt gute Übereinstimmung mit den Monitoringdaten sowie den Ergebnissen der dynamischen Gebäudesimulationen. Dadurch eignet sich die Methode insbesondere für eine rasche Plausibilisierung von Heizlasten und als ergänzender Quercheck zu normativen Verfahren.

Einordnung der Norm-Heizlast

Die Auswertungen des Projekts verdeutlichen darüber hinaus, dass Norm-Heizlasten stets im Kontext ihrer Zielsetzung interpretiert werden müssen. Die Norm-Heizlast dient als konservative Auslegungs- bzw. Vergleichsgröße und repräsentiert nicht den typischen Jahresbetrieb eines Gebäudes. Im realen Betrieb wirken zahlreiche Einflüsse lastmindernd. Hierzu zählen insbesondere die hohe Wirksamkeit moderner Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, interne und solare Wärmegewinne, thermische Speicherwirkungen der Baukonstruktion sowie nutzerbedingte Betriebsweisen.

Die Ergebnisse der Monitoringauswertungen und der dynamischen Gebäudesimulationen zeigen übereinstimmend, dass die tatsächlich erforderlichen Heizleistungen in allen untersuchten Kategorien deutlich unter den normativen Heizlasten liegen. Gleichzeitig bestätigen die Auswertungen, dass reale Gebäude überwiegend im Teillastbereich betrieben werden und kurzfristige Lastspitzen durch Speicherwirkungen und Regelungsmechanismen zusätzlich geglättet werden.

Ausblick

Vor diesem Hintergrund erscheinen dynamische Gebäudesimulationen besonders geeignet, um die realen Größenordnungen erforderlicher Heizleistungen abzubilden. Die Monitoringdaten bestätigen diese Sichtweise und zeigen, dass dynamische Ansätze das tatsächliche Betriebsverhalten moderner Niedrigstenergiegebäude deutlich besser repräsentieren können als rein stationäre Verlustbetrachtungen.

Als weiterer Ausblick erscheint die Berücksichtigung bauweiseabhängiger Ansätze zur Anpassung der Auslegungstemperatur sinnvoll. Verfahren zur Normaußentemperaturkorrektur werden bereits in anderen europäischen Ländern angewendet und könnten zukünftig auch für Österreich von Interesse sein. Eine vertiefte Untersuchung der Anwendbarkeit dieser Ansätze lag jedoch außerhalb des Rahmens des vorliegenden Projekts.

11 Verzeichnisse

11.1 Abkürzungsverzeichnis

bzw.: beziehungsweise 4, 9, 10, 11	Testgeb: Testgebäude 17
EA: Energieausweis 26	u.a.: unter anderem 10
RLT mit WRG: Kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung 16, 17, 18, 43, 48	z.B.: zum Beispiel 11

11.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1 Saisonaler Heizlastverlauf Referenzgebäude (Quelle: wpplus/NIBE Wärmepumpen 2026).....	7
Abbildung 2-2 Monitoring Referenz-Einfamilienhäuser (Quelle: eigene Darstellung wpplus)	8
Abbildung 4-1 Übersicht HL-(N)ZEB Testgebäude Standorte (Quelle: Google Maps [2026])	16
Abbildung 6-1 IDA ICE Simulationsmodell 3-D Visualisierung.....	27
Abbildung 6-2 Heizwärmebedarf: Bilanzierung Verluste/Gewinne im EA für Testgebäude 02 (Quelle: eigene Darstellung wpplus)	30
Abbildung 7-1 Testgebäude 21 Ausschnitt Monitoring Rohdaten (Zeitraum Monat)	32
Abbildung 7-2 Testgebäude 21 Detail Ansicht Monitoring Rohdaten	32
Abbildung 7-3 Testgebäude 21 Gegenüberstellung Monitoring Stundendaten mit Norm-Heizlast	33
Abbildung 7-4 Testgebäude 21 Gesamtvergleich Monitoringdaten Spitzenlasten mit Klimadaten	34
Abbildung 7-5 Netzgeführter Betrieb einer Wärmepumpe (Quelle: wpplus/myUplink Pro Web 2026) .	36
Abbildung 7-6 Testgebäude 05 Gesamtvergleich Monitoringdaten Spitzenlasten mit Klimadaten (Erklärung der Kürzel in Tabelle 4).....	38
Abbildung 7-7 Testgebäude 01 Gesamtvergleich Monitoringdaten Spitzenlasten mit Klimadaten (Erklärung der Kürzel in Tabelle 4).....	38
Abbildung 7-8 Testgebäude 11 Gesamtvergleich Monitoringdaten Spitzenlasten mit Klimadaten (Erklärung der Kürzel in Tabelle 4).....	39
Abbildung 7-9 Testgebäude 21 Gesamtvergleich Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum (Erklärung der Kürzel in Tabelle 4)	40
Abbildung 7-10 Testgebäude 05 Gesamtvergleich Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum (Erklärung der Kürzel in Tabelle 4)	41
Abbildung 7-11 Testgebäude 01 Gesamtvergleich Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum (Erklärung der Kürzel in Tabelle 4)	41
Abbildung 7-12 Testgebäude 11 Gesamtvergleich Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum (Erklärung der Kürzel in Tabelle 4)	42

Abbildung 7-13 Verdichtersprünge im ausgeblendeten Frequenzbereich 55-65 Hz einer Wärmepumpe (Quelle: myUplink/wpplus).....	43
Abbildung 7-14 Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse	49
Abbildung 7-15 Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse für Gebäude ohne raumluftechnische Anlage.....	51
Abbildung 7-16 Gegenüberstellung der Gesamtergebnisse für Gebäude mit raumluftechnischer Anlage und WRG.....	52
Abbildung 7-17 Gebäudekennlinien in Abhängigkeit der Außentemperatur normiert nach ÖNORM H 7500-3 für die Simulation (95 % Spitzenbereich)	53
Abbildung 7-18 Gebäudekennlinien in Abhängigkeit der Außentemperatur normiert nach ÖNORM H 7500-3 für das Monitoring (95 % Spitzenbereich)	54
Abbildung 7-19 Gebäudespezifische Heizkurven-Regelung einer Wärmepumpe (Quelle: NIBE Systemtechnik GmbH 2020, S. 36)	55
Abbildung 7-20 Ansichten Bauvorhaben Testgebäude 02 (Quelle: Einreichplan Bauherrschaft / wpplus)	57
Abbildung 7-21 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 02	58
Abbildung 7-22 Ansichten Bauvorhaben Testgebäude 20 (Quelle: Einreichplan Bauherrschaft / wpplus)	58
Abbildung 7-23 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 20	59
Abbildung 7-24 Ansichten Bauvorhaben Testgebäude 10 (Quelle: Einreichplan Bauherrschaft / wpplus)	60
Abbildung 7-25 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 10	61
Abbildung 8-1 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zur Außentemperatur laut Klimadaten – Testgeb. 02.....	65
Abbildung 8-2 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zur Außentemperatur laut Klimadaten – Testgeb. 02.....	65
Abbildung 8-3 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zur Außentemperatur laut Klimadaten (zu Zeiten ohne solare Einstrahlung) – Testgeb. 02	65
Abbildung 8-4 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zur Außentemperatur laut Klimadaten (zu Zeiten ohne solare Einstrahlung) – Testgeb. 02	65
Abbildung 8-5 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 02	66
Abbildung 8-6 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 02	66
Abbildung 8-7 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zu solarer Globalstrahlung – Testgeb. 02.....	66
Abbildung 8-8 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zu solarer Globalstrahlung – Testgeb. 02 ...	66
Abbildung 8-9 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zur Außentemperatur laut Klimadaten – Testgeb. 07	69
Abbildung 8-10 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zur Außentemperatur laut Klimadaten – Testgeb. 07.....	69

Abbildung 8-11 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zur Außentemperatur laut Klimadaten (zu Zeiten ohne solare Einstrahlung) – Testgeb. 07	69
Abbildung 8-12 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zur Außentemperatur laut Klimadaten (zu Zeiten ohne solare Einstrahlung) – Testgeb. 07	69
Abbildung 8-13 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 07	70
Abbildung 8-14 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 07	70
Abbildung 8-15 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zu solarer Globalstrahlung – Testgeb. 07	70
Abbildung 8-16 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zu solarer Globalstrahlung – Testgeb. 07 .	70
Abbildung 8-17 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zur Außentemperatur laut Klimadaten – Testgeb. 08	72
Abbildung 8-18 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zur Außentemperatur laut Klimadaten – Testgeb. 08	72
Abbildung 8-19 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zur Außentemperatur laut Klimadaten (zu Zeiten ohne solare Einstrahlung) – Testgeb. 08	72
Abbildung 8-20 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zur Außentemperatur laut Klimadaten (zu Zeiten ohne solare Einstrahlung) – Testgeb. 08	72
Abbildung 8-21 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 08	73
Abbildung 8-22 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 08	73
Abbildung 8-23 Gegenüberstellung der Monitoring Heizleistungen zu solarer Globalstrahlung – Testgeb. 08	73
Abbildung 8-24 Gegenüberstellung der Simulationsdaten zu solarer Globalstrahlung – Testgeb. 08 .	73
Abbildung 8-25 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 01 - Gegenüberstellung jährliches Minimum des 48 h-Mittels mit NAT	75
Abbildung 10-1 Referenz Untersuchung Einfluss solarer Architektur - ungünstiger Fall (Quelle: eigene Darstellung wpplus)	80
Abbildung 10-2 Referenz Untersuchung Einfluss solarer Architektur - günstiger Fall (Quelle: eigene Darstellung wpplus)	80
Abbildung 10-3 Auswertung Energiebilanz Testgebäude 02 (Quelle: eigene Darstellung wpplus)	81
Abbildung 13-1 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 02 (Bauweise leicht; RLT: ja)	96
Abbildung 13-2 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 03 (Bauweise leicht; RLT: nein) .	96
Abbildung 13-3 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 06 (Bauweise leicht; RLT: nein) ..	97
Abbildung 13-4 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 07 (Bauweise mittelschwer; RLT: ja)	97
Abbildung 13-5 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 08 (Bauweise schwer; RLT: ja) ...	98
Abbildung 13-6 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 09 (Bauweise mittelschwer; RLT: ja)	98
Abbildung 13-7 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 10 (Bauweise schwer; RLT: ja) ...	99

Abbildung 13-8 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 12 (Bauweise mittelschwer; RLT: nein).....	99
Abbildung 13-9 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 13 (Bauweise schwer; RLT: ja) .	100
Abbildung 13-10 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 14 (Bauweise mittelschwer; RLT: nein).....	100
Abbildung 13-11 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 16 (Bauweise schwer; RLT: ja)	101
Abbildung 13-12 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 17 (Bauweise schwer; RLT: nein)	101
Abbildung 13-13 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 18 (Bauweise schwer; RLT: nein)	102
Abbildung 13-14 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 19 (Bauweise schwer; RLT: ja)	102
Abbildung 13-15 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 20 (Bauweise mittelschwer; RLT: ja).....	103
Abbildung 13-16 Gebäudekennlinien in Abhängigkeit der Außentemperatur normiert nach ÖNORM H 7500-3 für die Simulation (Medianbereich)	104
Abbildung 13-17 Gebäudekennlinien in Abhängigkeit der Außentemperatur normiert nach ÖNORM H 7500-3 für das Monitoring (Medianbereich)	105
Abbildung 13-18 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 01 (Bauweise leicht; RLT: ja).....	106
Abbildung 13-19 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 03 (Bauweise leicht; RLT: nein).....	106
Abbildung 13-20 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 04 (Bauweise schwer; RLT: nein).....	107
Abbildung 13-21 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 05 (Bauweise leicht; RLT: nein).....	107
Abbildung 13-22 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 06 (Bauweise leicht; RLT: nein).....	108
Abbildung 13-23 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 08 (Bauweise schwer; RLT: ja).....	108
Abbildung 13-24 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 09 (Bauweise mittelschwer; RLT: ja).....	109
Abbildung 13-25 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 10 (Bauweise schwer; RLT: ja).....	109
Abbildung 13-26 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 11 (Bauweise schwer; RLT: nein).....	110
Abbildung 13-27 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 12 (Bauweise mittelschwer; RLT: nein).....	110
Abbildung 13-28 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 13 (Bauweise schwer; RLT: ja).....	111

Abbildung 13-29 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 14 (Bauweise mittelschwer; RLT: nein).....	111
Abbildung 13-30 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 15 (Bauweise schwer; RLT: ja).....	112
Abbildung 13-31 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 16 (Bauweise schwer; RLT: ja).....	112
Abbildung 13-32 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 17 (Bauweise schwer; RLT: nein).....	113
Abbildung 13-33 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 18 (Bauweise schwer; RLT: nein).....	113
Abbildung 13-34 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 19 (Bauweise schwer; RLT: ja).....	114
Abbildung 13-35 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 21 (Bauweise schwer; RLT: ja).....	114
Abbildung 13-36 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 22 (Bauweise leicht; RLT: ja).....	115
Abbildung 13-37 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 23 (Bauweise mittelschwer; RLT: nein).....	115
Abbildung 13-38 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 01	116
Abbildung 13-39 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb. 01	116
Abbildung 13-40 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 01	116
Abbildung 13-41 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 01	116
Abbildung 13-42 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 01	117
Abbildung 13-43 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 01	117
Abbildung 13-44 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 01	117
Abbildung 13-45 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation – Testgeb. 01	117
Abbildung 13-46 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 03	118
Abbildung 13-47 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb. 03	118
Abbildung 13-48 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 03.....	118
Abbildung 13-49 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 03.....	118
Abbildung 13-50 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 03	119
Abbildung 13-51 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 03	119
Abbildung 13-52 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 03	119
Abbildung 13-53 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 03	119
Abbildung 13-54 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb. 04	120
Abbildung 13-55 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 04.....	120
Abbildung 13-56 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 04	120

Abbildung 13-57 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 04	120
Abbildung 13-58 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 05	121
Abbildung 13-59 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb. 05	121
Abbildung 13-60 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 05	121
Abbildung 13-61 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 05	121
Abbildung 13-62 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 05	122
Abbildung 13-63 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 05	122
Abbildung 13-64 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 05	122
Abbildung 13-65 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 05	122
Abbildung 13-66 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 06	123
Abbildung 13-67 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb. 06	123
Abbildung 13-68 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 06	123
Abbildung 13-69 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 06	123
Abbildung 13-70 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 06	124
Abbildung 13-71 Simulation Median-Gebäudekennlinie - Testgeb. 06	124
Abbildung 13-72 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 06	124
Abbildung 13-73 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 06	124
Abbildung 13-74 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 09	125
Abbildung 13-75 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb. 09	125
Abbildung 13-76 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 09	125
Abbildung 13-77 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 09	125
Abbildung 13-78 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 09	126
Abbildung 13-79 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 09	126
Abbildung 13-80 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 09	126
Abbildung 13-81 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation – Testgeb. 09	126
Abbildung 13-82 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 10	127
Abbildung 13-83 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb. 10	127
Abbildung 13-84 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 10	127
Abbildung 13-85 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 10	127
Abbildung 13-86 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 10	128
Abbildung 13-87 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 10	128
Abbildung 13-88 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 10	128
Abbildung 13-89 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 10	128
Abbildung 13-90 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 11	129

Abbildung 13-91 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb 11	129
Abbildung 13-92 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 11	129
Abbildung 13-93 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 11	129
Abbildung 13-94 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 11	130
Abbildung 13-95 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 11	130
Abbildung 13-96 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 11	130
Abbildung 13-97 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 11	130
Abbildung 13-98 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 12	131
Abbildung 13-99 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb 12	131
Abbildung 13-100 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 12	131
Abbildung 13-101 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 12	131
Abbildung 13-102 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 12	132
Abbildung 13-103 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 12	132
Abbildung 13-104 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 12	132
Abbildung 13-105 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 12	132
Abbildung 13-106 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 13	133
Abbildung 13-107 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb 13	133
Abbildung 13-108 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 13	133
Abbildung 13-109 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 13	133
Abbildung 13-110 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 13	134
Abbildung 13-111 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 13	134
Abbildung 13-112 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 13	134
Abbildung 13-113 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 13	134
Abbildung 13-114 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 14	135
Abbildung 13-115 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb 14	135
Abbildung 13-116 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 14	135
Abbildung 13-117 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 14	135
Abbildung 13-118 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 14	136
Abbildung 13-119 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 14	136
Abbildung 13-120 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 14	136
Abbildung 13-121 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 14	136
Abbildung 13-122 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb 15	137
Abbildung 13-123 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 15	137
Abbildung 13-124 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 15	137

Abbildung 13-125 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 15	137
Abbildung 13-126 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 16	138
Abbildung 13-127 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb 16	138
Abbildung 13-128 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 16	138
Abbildung 13-129 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 16	138
Abbildung 13-130 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 16	139
Abbildung 13-131 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 16	139
Abbildung 13-132 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 16	139
Abbildung 13-133 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 16	139
Abbildung 13-134 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 17	140
Abbildung 13-135 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb 17	140
Abbildung 13-136 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 17	140
Abbildung 13-137 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 17	140
Abbildung 13-138 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 17	141
Abbildung 13-139 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 17	141
Abbildung 13-140 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 17	141
Abbildung 13-141 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 17	141
Abbildung 13-142 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 18	142
Abbildung 13-143 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb 18	142
Abbildung 13-144 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 18	142
Abbildung 13-145 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 18	142
Abbildung 13-146 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 18	143
Abbildung 13-147 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 18	143
Abbildung 13-148 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 18	143
Abbildung 13-149 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 18	143
Abbildung 13-150 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 19	144
Abbildung 13-151 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb 19	144
Abbildung 13-152 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 19	144
Abbildung 13-153 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 19	144
Abbildung 13-154 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 19	145
Abbildung 13-155 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 19	145
Abbildung 13-156 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 19	145
Abbildung 13-157 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 19	145
Abbildung 13-158 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 20	146

Abbildung 13-159 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb 20	146
Abbildung 13-160 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 20	146
Abbildung 13-161 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 20	146
Abbildung 13-162 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 20	147
Abbildung 13-163 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 20	147
Abbildung 13-164 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 20	147
Abbildung 13-165 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 20	147
Abbildung 13-166 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 21	148
Abbildung 13-167 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb 21	148
Abbildung 13-168 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 21	148
Abbildung 13-169 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 21	148
Abbildung 13-170 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 21	149
Abbildung 13-171 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 21	149
Abbildung 13-172 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 21	149
Abbildung 13-173 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 21	149
Abbildung 13-174 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 22	150
Abbildung 13-175 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb 22	150
Abbildung 13-176 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 22	150
Abbildung 13-177 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 22	150
Abbildung 13-178 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 22	151
Abbildung 13-179 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 22	151
Abbildung 13-180 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 22	151
Abbildung 13-181 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 22	151
Abbildung 13-182 Einfluss Außentemperatur am Tag Monitoring – Testgeb. 23	152
Abbildung 13-183 Einfluss Außentemperatur am Tag Simulation – Testgeb 23	152
Abbildung 13-184 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Monitoring – Testgeb. 23	152
Abbildung 13-185 Einfluss Außentemperatur in der Nacht Simulation – Testgeb. 23	152
Abbildung 13-186 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 23	153
Abbildung 13-187 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 23	153
Abbildung 13-188 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 23	153
Abbildung 13-189 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 23	153
Abbildung 13-190 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 02	154
Abbildung 13-191 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 03	154
Abbildung 13-192 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 04	155

Abbildung 13-193 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 05	155
Abbildung 13-194 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 06	155
Abbildung 13-195 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 07	155
Abbildung 13-196 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 08	156
Abbildung 13-197 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 09	156
Abbildung 13-198 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 10	156
Abbildung 13-199 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 11	156
Abbildung 13-200 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 12	157
Abbildung 13-201 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 13	157
Abbildung 13-202 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 14	157
Abbildung 13-203 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 15	157
Abbildung 13-204 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 16	158
Abbildung 13-205 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 17	158
Abbildung 13-206 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 18	158
Abbildung 13-207 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 19	158
Abbildung 13-208 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 20	159
Abbildung 13-209 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 21	159
Abbildung 13-210 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 22	159
Abbildung 13-211 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 23	159

11.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Testgebäude Stammdaten Parameter und Kürzel	17
Tabelle 2 Auflistung der relevanten Testgebäude Stammdaten	18
Tabelle 3 Dateistruktur und Berechnungsschema nach ÖNORM H 7500-1	22
Tabelle 4 Diagramm Kürzel Zuordnung für Monitoringdaten Analysen	34
Tabelle 5 Gesamtergebnisse für alle Testgebäude	45

12 Literaturverzeichnis

Austrian Standards International (2012 04 01): ÖNORM EN ISO 15927-5. Wärme- und feuchteschutz-technisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung und Darstellung von Klimadaten - Teil 5: Daten zur Bestimmung der Norm-Heizlast für die Raumheizung (ISO 15927-5:2004 + Amd 1:2011). Wien: Austrian Standards plus GmbH (07.060 | 91.120.10 | 91.120.30), 2012 04 01, zuletzt geprüft am 08.06.2026.

Austrian Standards International (2013 03 15): ÖNORM B 8110-7. Wärmeschutz im Hochbau - Teil 7: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte. Wien: Austrian Standards plus GmbH (91.120.10), 2013 03 15, zuletzt geprüft am 21.02.2025.

Austrian Standards International (2014 07 01): ÖNORM H 7500-3. Heizungssysteme in Gebäuden - Teil 3: Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der Norm-Gebäudeheizlast. Wien: Austrian Standards plus GmbH (91.140.10), 2014 07 01. Online verfügbar unter https://lesesaal.austrian-standards.at/action/de/private/details/523421/OENORM_H_7500-3_2014_07_01, zuletzt geprüft am 22.01.2025.

Austrian Standards International (2015 02 15): 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 plus GmbH (91.140.10), 2015 02 15. Online verfügbar unter https://lesesaal.austrian-standards.at/action/de/private/details/535721/OENORM_H_7500-1_2015_02_15, zuletzt geprüft am 22.01.2025.

Austrian Standards International (2016 03 15): ÖNORM EN ISO 9972. Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren (ISO 9972:2015). Wien: Austrian Standards plus GmbH (91.120.10), 2016 03 15, zuletzt geprüft am 22.05.2026.

Austrian Standards International (2024a 03 01): ÖNORM EN 16798-1. Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik - Module M1-6 (konsolidierte Fassung). Wien: Austrian Standards plus GmbH, 2024 03 01, zuletzt geprüft am 01.06.2026.

Austrian Standards International (2024b 03 01): ÖNORM H 5056-1. Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Ermittlung des Heiztechnikenergiebedarfs. Wien: Austrian Standards plus GmbH (91.140.10), 2024 03 01. Online verfügbar unter https://lesesaal.austrian-standards.at/action/de/private/details/1305836/OENORM_H_5056-1_2024_03_01, zuletzt geprüft am 22.01.2025.

Austrian Standards International (2025a 10 15): ÖNORM B 8110-5. Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile. Wien: Austrian Standards plus GmbH (91.120.10), 2025 10 15, zuletzt geprüft am 18.05.2026.

Austrian Standards International (2025b 10 15): ÖNORM B 8110-6-1. Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6-1: Grundlagen und Ermittlung des Heizwärmebedarfs und des Kühlbedarfs. Wien: Austrian Standards plus GmbH (91.120.10), 2025 10 15, zuletzt geprüft am 08.06.2026.

Austrian Standards International (2025 05 01): ÖNORM EN 12831-1. Energetische Bewertung von Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast - Teil 1: Raumheizlast, Modul M3-3. Wien: Austrian Standards plus GmbH (91.140.10), 2025 05 01, zuletzt geprüft am 08.06.2026.

Austrian Standards International (2025c 10 15): ÖNORM H 5056-2. Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Heiztechnikenergiebedarf – Teil 2: Validierung. Wien: Austrian Standards plus GmbH (91.140.10), 2025 10 15, zuletzt geprüft am 08.06.2026.

Bosshard, Igor; Wemhöner, Carsten (2023): Überdimensionierung von Heizungen. Wenn zu grosse Reserven zum Problem werden. OST - Ostschweizer Fachhochschule. Rapperswil. Online verfügbar unter https://www.ost.ch/fileadmin/dateiliste/3_forschung_dienstleistung/institute/spf/forschung/projekte/optipower-factsheet-de.pdf, zuletzt geprüft am 23.07.2026.

Copernicus Atmosphere Monitoring Service (2020): CAMS solar radiation time-series, zuletzt geprüft am 01.06.2026.

Egmond-Fröhlich, Andreas van (2025): Heizlastberechnungen mit Normdaten. führen zu überdimensionierten Wärmepumpen. Hg. v. IBO Verein und GmbH. Verein Klimadörfli. Online verfügbar unter <https://www.ibo.at/meldungen/detail/data/heizlastberechnungen-mit-normdaten-fuehren-zu-ueberdimensionierten-waermepumpen>, zuletzt aktualisiert am 07.07.2025.

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE (2016): Ermittlung der Wärmeerzeugerleistung. Online verfügbar unter <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/2781&ved=2ahU-KEwi7p9GWgPWVAXWk9LsIHRa2BWgQFnoECBwQAQ&usg=AOvVaw3e6mPm4nBUmJi4Jtav9G5N>, zuletzt geprüft am 27.07.2026.

EQUA Simulation AB (2013): User Manual. IDA Indoor Climate and Energy. Version 4.5. EQUA Simulation AB. Solna, Sweden, zuletzt aktualisiert am Februar 2013, zuletzt geprüft am 04.06.2026.

Europäisches Parlament, Rat der Europäischen Union (28.05.2024): Richtlinie (EU) 2024/1275 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. April 2024 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung) (Text von Bedeutung für den EWR). PE/102/2023/REV/1, vom 24.04.2024. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32024L1275>, zuletzt geprüft am 25.07.2026.

Feist, Wolfgang; Pfluger, Rainer; Schnieders, Jürgen; Kah, Oliver; Kaufmann, Berthold; Krick, Benjamin et al. (2022): Passivhaus Projektierungs Paket (2022). Anforderungen an qualitätsgeprüfte Passivhäuser. Systemvoraussetzungen: Microsoft. Version Version 10.5 DE. Darmstadt: Passivhaus Institut. Online verfügbar unter <https://passivehouse.com>, zuletzt geprüft am 29.05.2026.

GeoSphere Austria (2021): INCA-v1 (1 h): Meteorologische Analysedaten für Österreich, zuletzt geprüft am 15.06.2026.

Grim-Schlink, Margot; Preisler, Anita; Stipsits, Alina (2020): Heizlast optimieren. Studie: Strategien zur Vermeidung von Überdimensionierung bei Wärmepumpen. Erstellt im Auftrag der Energieplanung der Stadt Wien. Magistratsabteilung 20 Energieplanung -Stadt Wien. Online verfügbar unter <https://www.wien.gv.at/pdf/ma20/heizlast-studie.pdf>, zuletzt geprüft am 23.07.2026.

Jgrovesmith (2026): PHPP - Das Passivhaus-Projektierungspaket. PHPP - Mehr als nur eine Energiebilanz. Passivhaus Institut. Online verfügbar unter https://passipedia.de/planung/energieeffizienz_ist_berechenbar/energiebilanzen_mit_dem_phpp, zuletzt aktualisiert am 08.01.2026, zuletzt geprüft am 29.05.2026.

Karlsson, Frederik; Andersson, Cari (2016): Dimensionerande vinterutetemperatur – DVUT 1981-2010, 310 orter i Sverige. Hg. v. Robert Johannesson und Göran Zackheden. Boverket (2016 - 69), zuletzt aktualisiert am 07.12.2016, zuletzt geprüft am 10.06.2026.

Leeb, Markus (2018): Gebäudetechnik PLUS. Heizlast und Energieausweis. Nennwärmeleistung aus Energieausweis und Heizlast - Wo liegt der Unterschied? Vergleich der verschiedenen Rahmenbedingungen und Anforderungen. Handwerkskammer für München und Oberbayern. Wirtschaftskammer Salzburg, Sparte Gewerbe und Handwerk. Salzburg, 30.01.2018, zuletzt geprüft am 10.06.2026.

myUplink Pro Web (2026). Online verfügbar unter <https://pro.myuplink.com/systems>, zuletzt aktualisiert am 01.07.2026, zuletzt geprüft am 28.07.2026.

NIBE Systemtechnik GmbH (2020): Benutzerhandbuch. Erdwärmepumpe. NIBE F1155. NIBE Systemtechnik GmbH. Online verfügbar unter <https://www.nibe.eu/de-de/support/handbuecher>, zuletzt geprüft am 28.07.2026.

NIBE Wärmepumpen (2026): NIBE Wärmepumpen - Effiziente Heiz- & Energiesysteme für Zuhause. Online verfügbar unter <https://www.nibe.at/>, zuletzt aktualisiert am 21.07.2026, zuletzt geprüft am 28.07.2026.

Saippuakauppias; Bahnmoeller; Scholless; ChristophDemmer; Aka; Berita et al. (2025): Max Hottinger. Hg. v. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. (262801444). Online verfügbar unter https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Max_Hottinger&oldid=262801444, zuletzt geprüft am 01.07.2026.

Samer, Kari El; Olsson, Thomas (2019): Energy and Building Services Engineering L9 Energy Balance. [Presentation WS2019]. Jönköping University, School of Engineering.

Schmitz, Simon (2018): Die Strompreis-Automatik für KNV Wärmepumpen. Online verfügbar unter <https://www.awattar.at/blog/knvstrompreisautomatik>, zuletzt geprüft am 27.07.2026.

Schoch, Torsten (2023): Neuer Wärmebrückenkatalog. Beispiele und Erläuterungen nach DIN 4108 Beiblatt 2 : mit zahlreichen Gleichwertigkeitsnachweisen. 5., aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin, Wien, Zürich: Beuth Verlag GmbH (Bauwerk). Online verfügbar unter <http://www.beuth.de/cmd?level=tpl-langanzeige&websource=vib&smoid=278952460>, zuletzt geprüft am 20.04.2026.

Wolff, Dieter Prof. Dr.-Ing. (2006): Optimierung von Heizsystemen. Das "OPTIMUS"-Projekt - VdW-Bayern. DELTA-Q. Online verfügbar unter <https://www.delta-q.de/wp-content/uploads/061005vdwbayern.pdf>, zuletzt geprüft am 27.07.2026.

13 Anhang

13.1 Monitoring Analyse - minimale Außentemperaturen im Betrachtungszeitraum

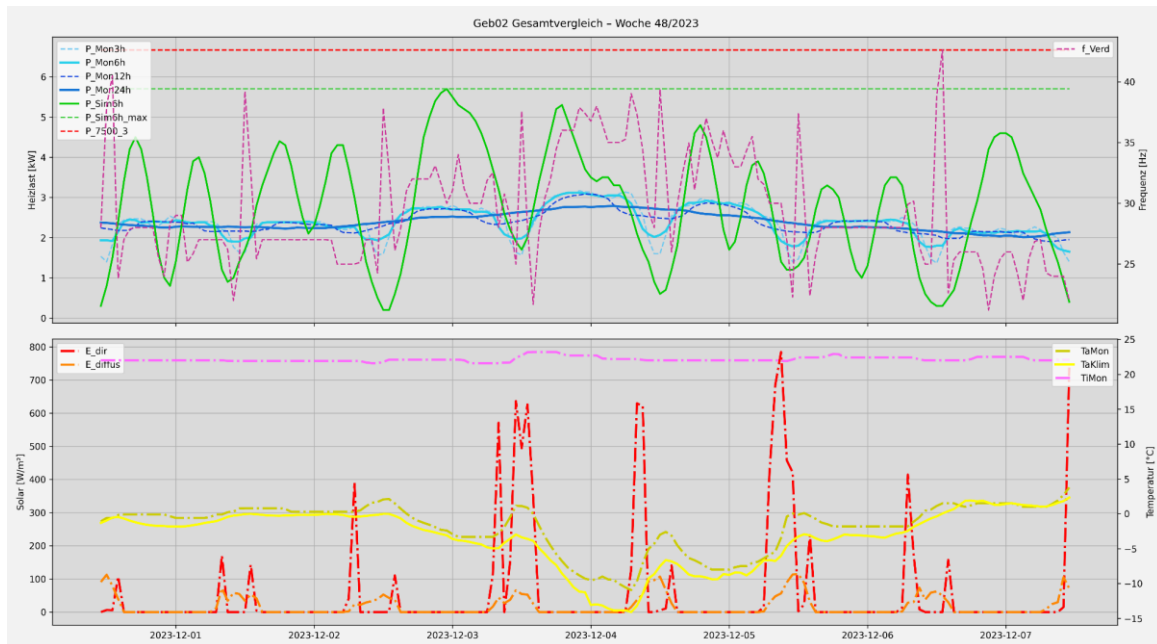


Abbildung 13-1 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 02 (Bauweise leicht; RLT: ja)

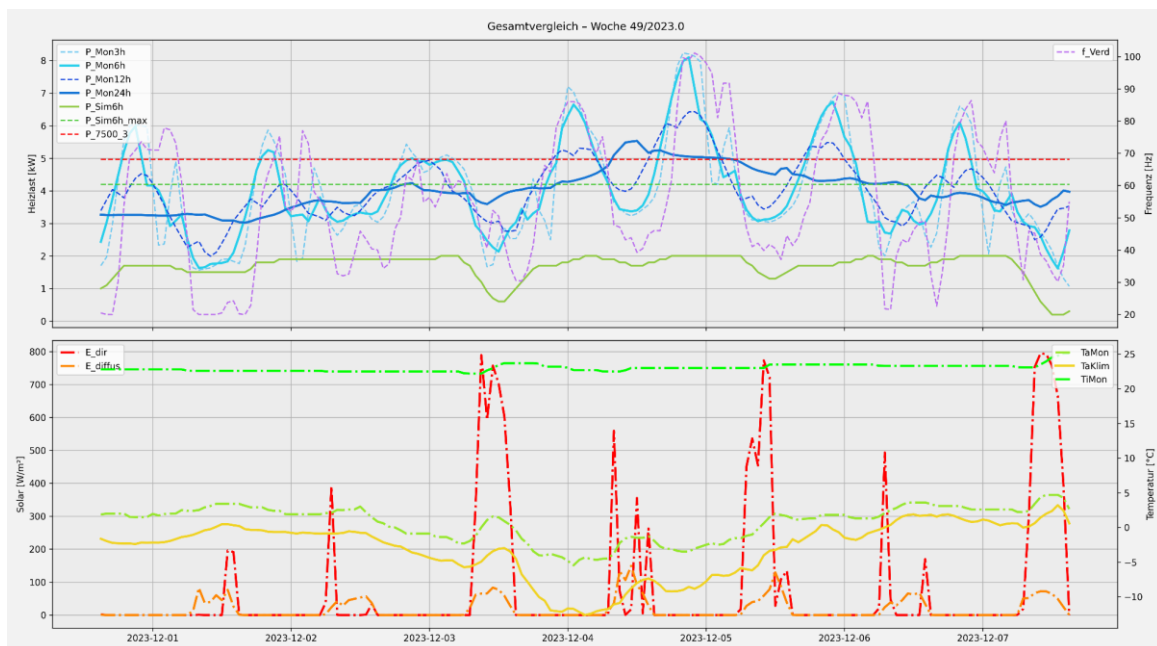


Abbildung 13-2 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 03 (Bauweise leicht; RLT: nein)

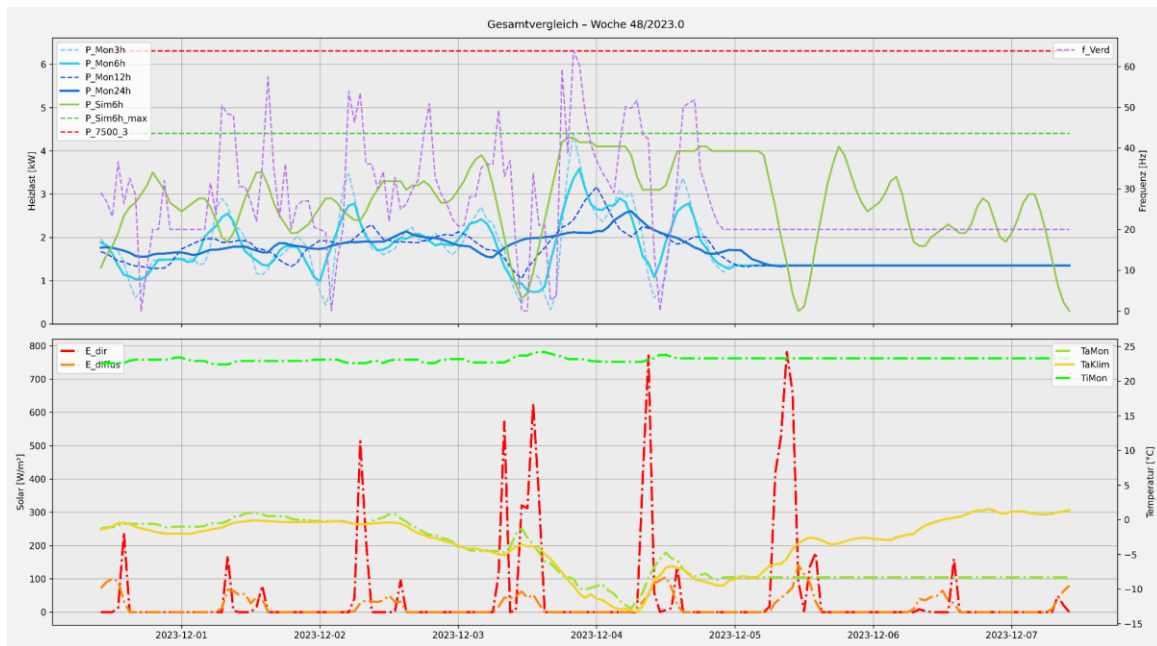


Abbildung 13-3 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 06 (Bauweise leicht; RLT: nein)

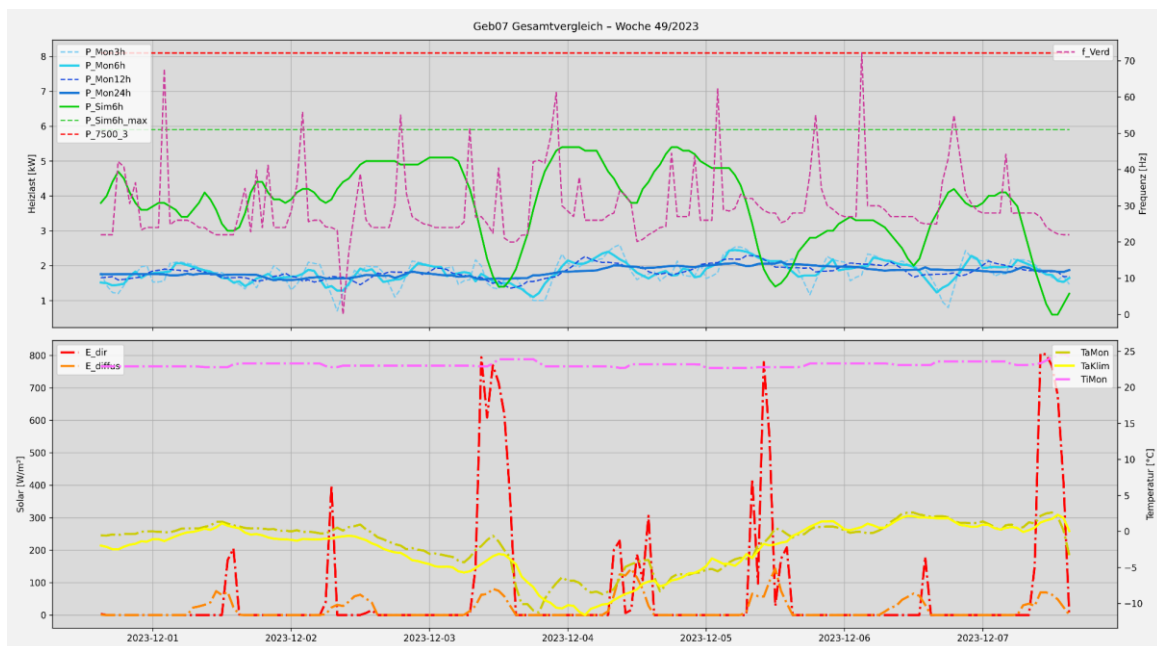


Abbildung 13-4 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 07 (Bauweise mittelschwer; RLT: ja)

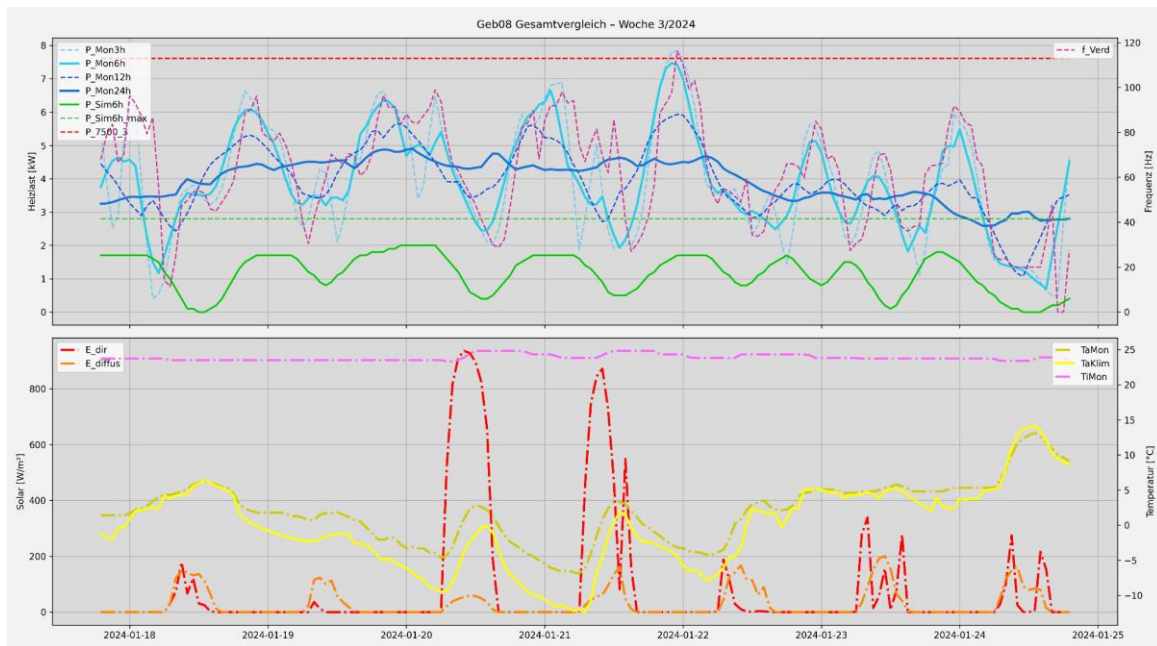


Abbildung 13-5 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 08 (Bauweise schwer; RLT: ja)

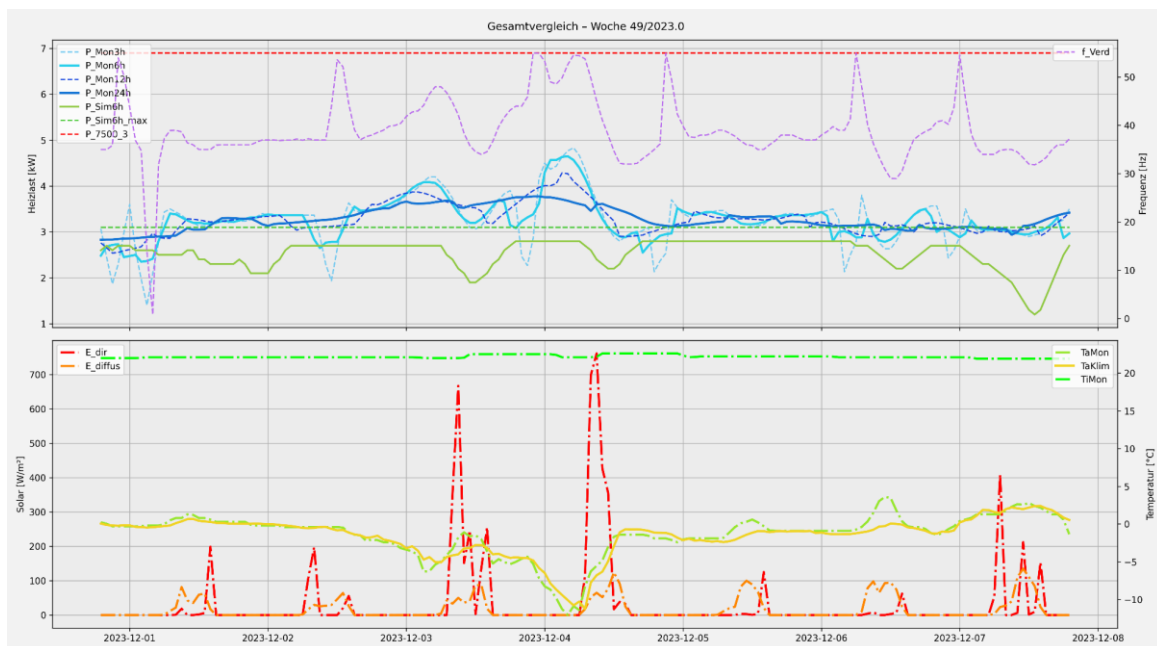


Abbildung 13-6 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 09 (Bauweise mittelschwer; RLT: ja)

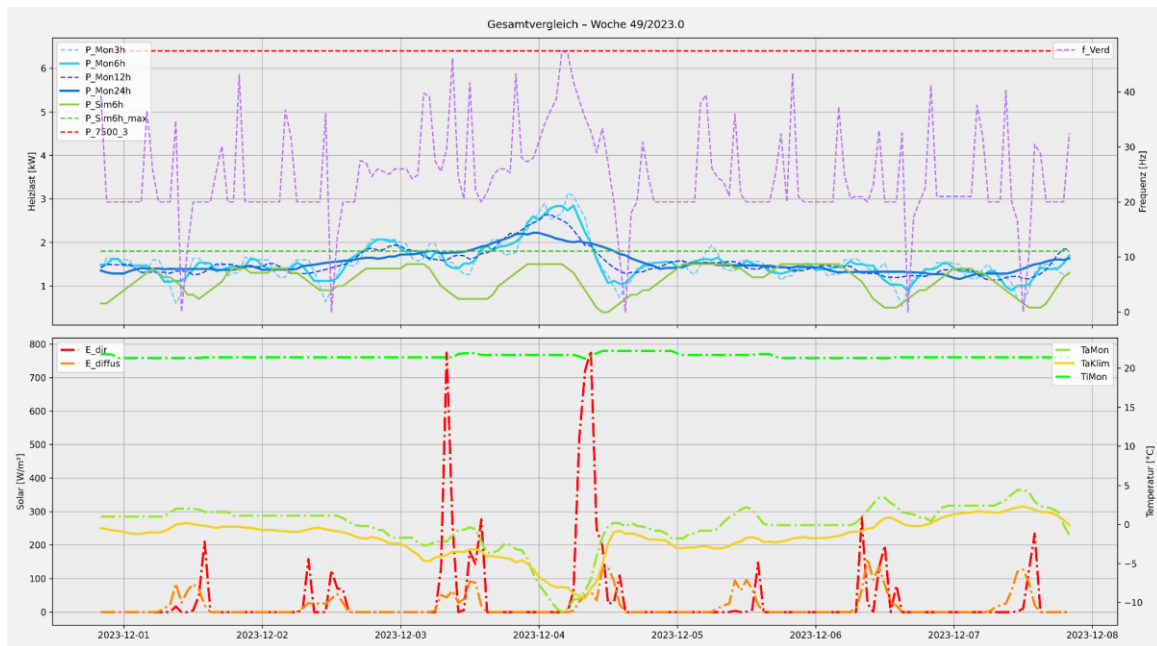


Abbildung 13-7 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 10 (Bauweise schwer; RLT: ja)

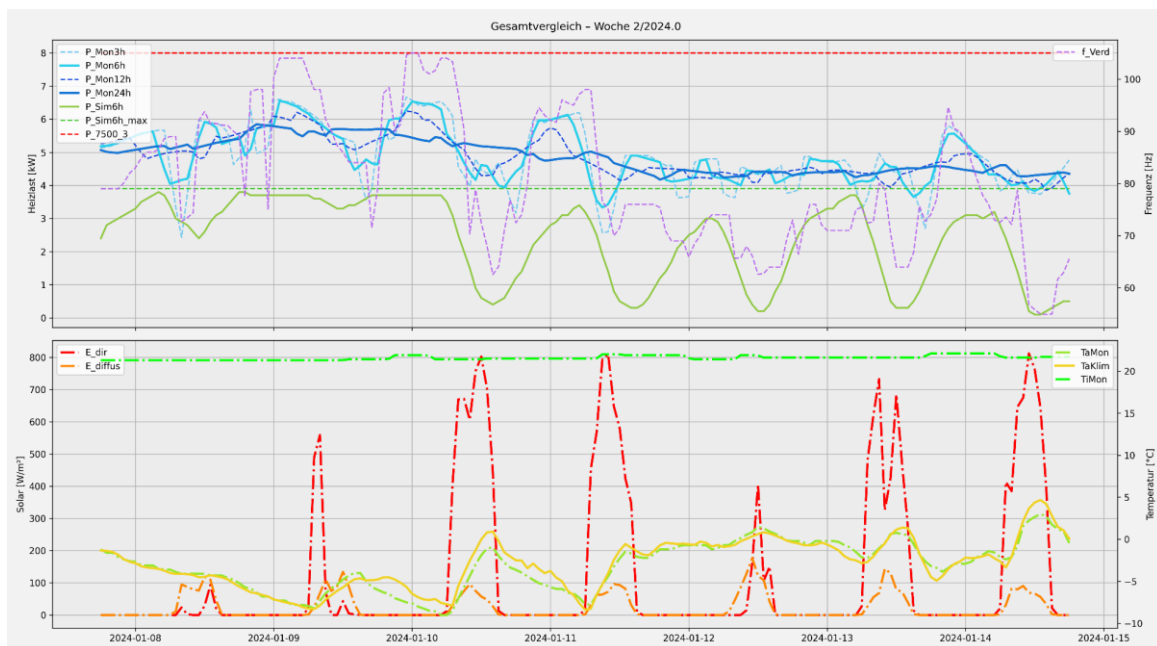


Abbildung 13-8 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 12 (Bauweise mittelschwer; RLT: nein)

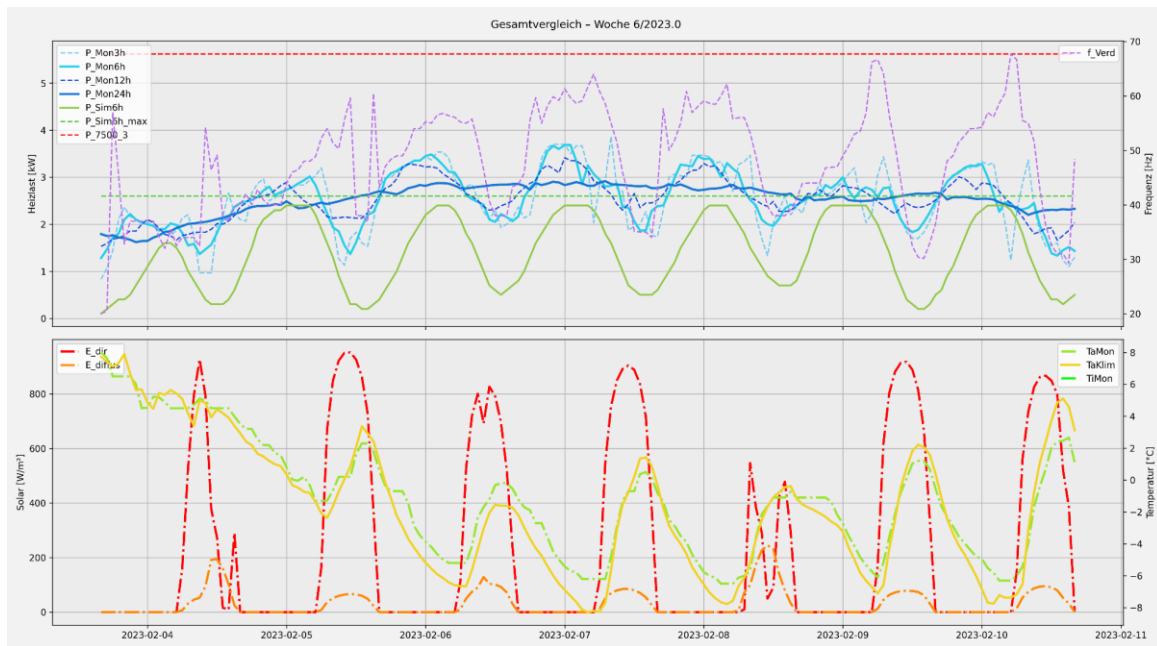


Abbildung 13-9 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 13 (Bauweise schwer; RLT: ja)

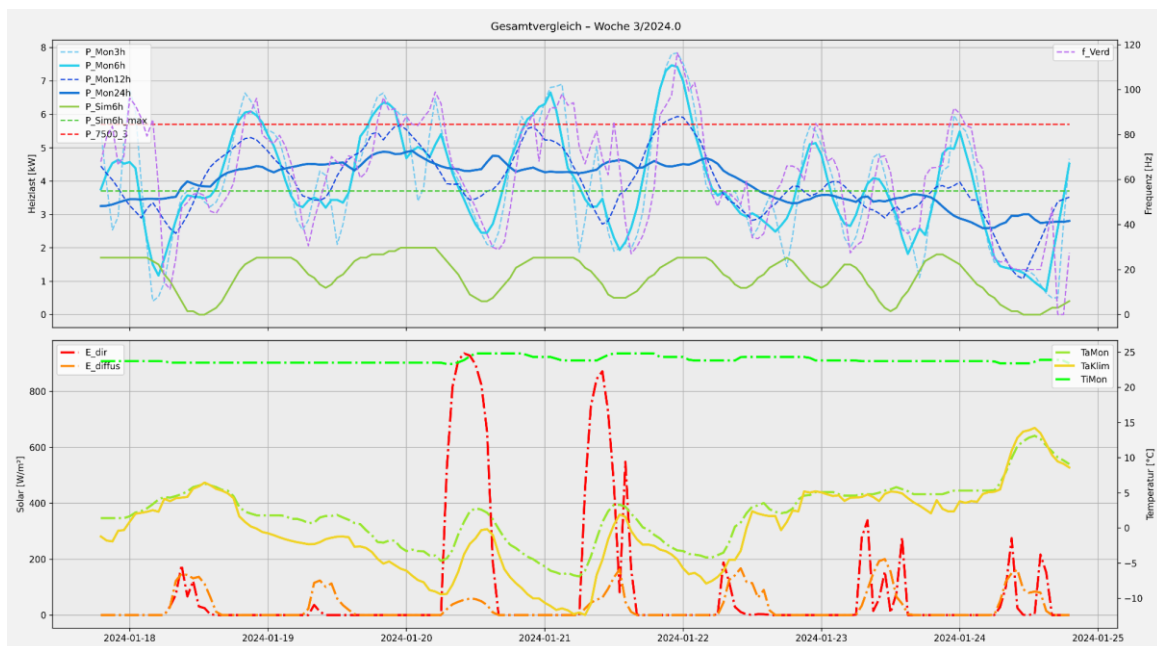


Abbildung 13-10 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 14 (Bauweise mittelschwer; RLT: nein)

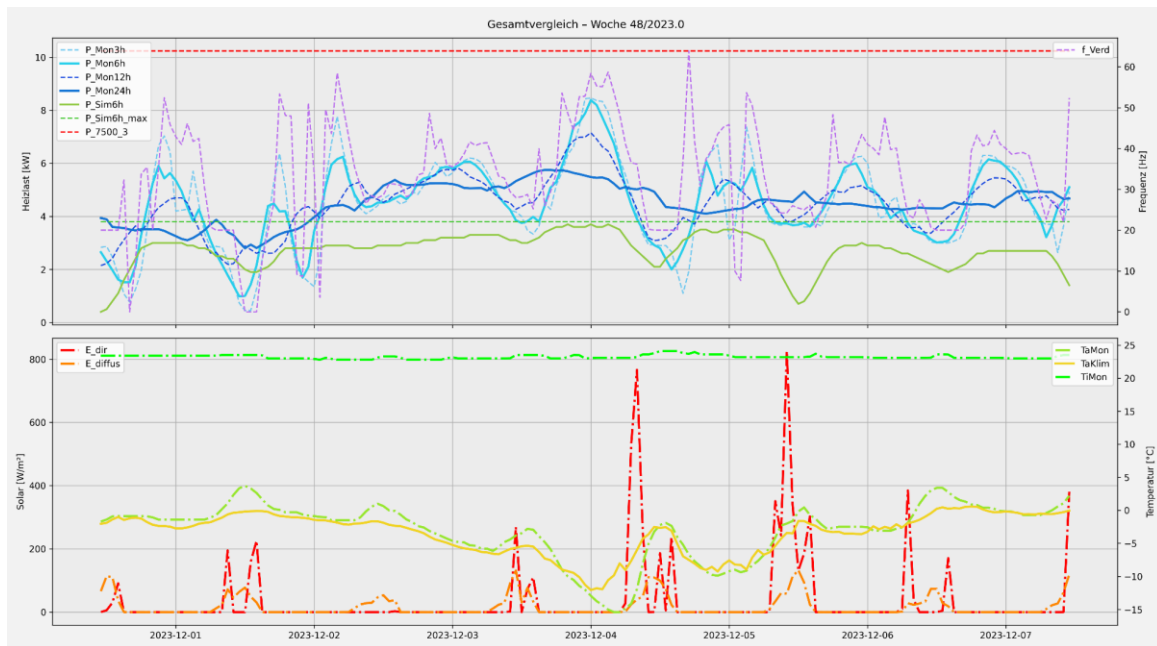


Abbildung 13-11 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 16 (Bauweise schwer; RLT: ja)

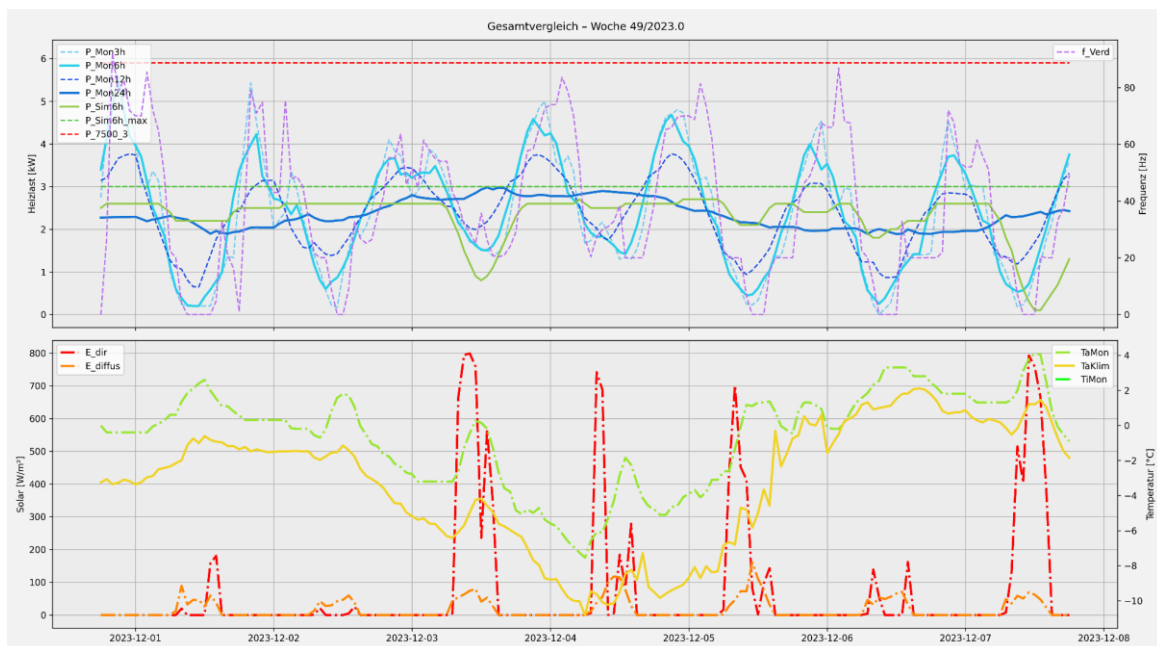


Abbildung 13-12 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 17 (Bauweise schwer; RLT: nein)

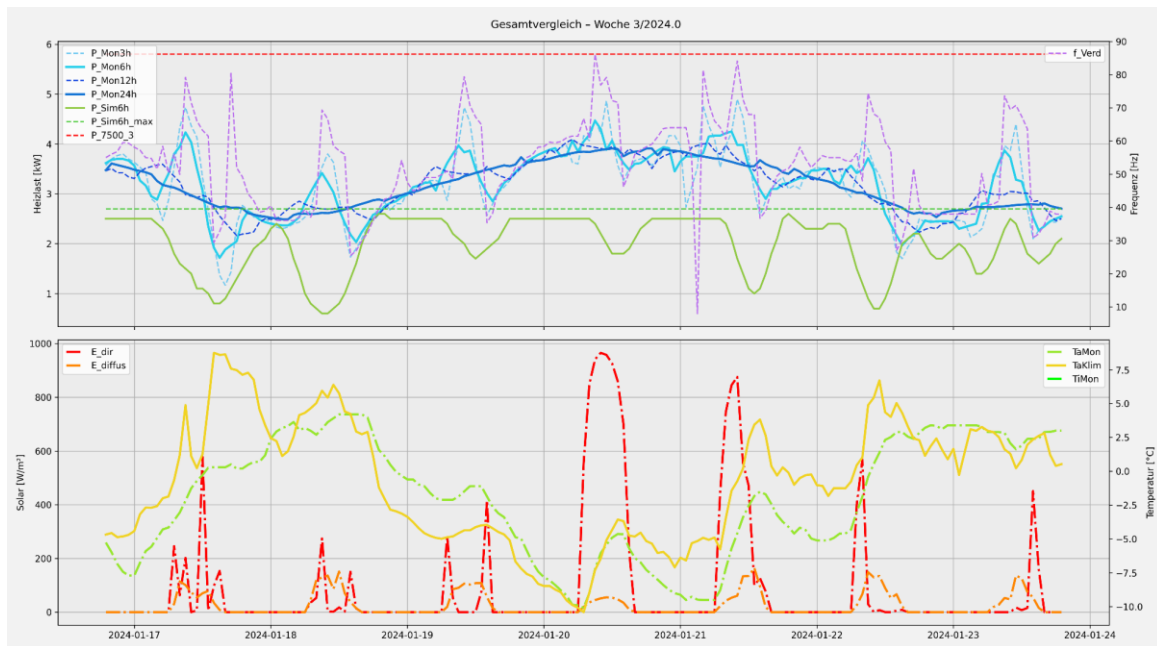


Abbildung 13-13 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 18 (Bauweise schwer; RLT: nein)

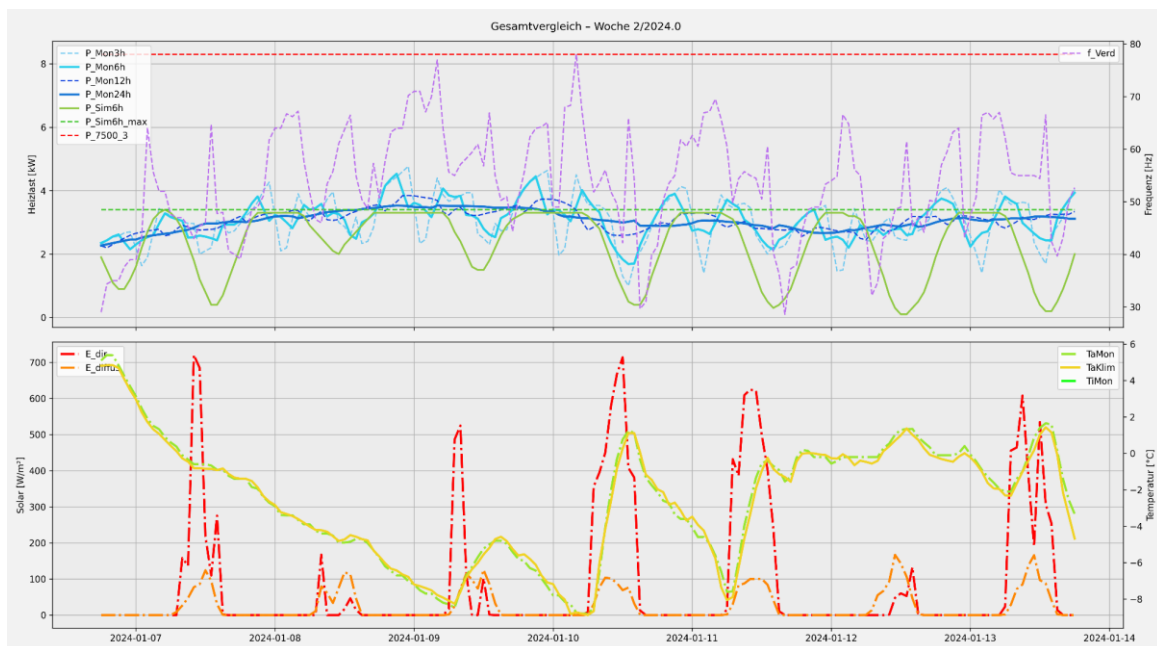


Abbildung 13-14 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 19 (Bauweise schwer; RLT: ja)

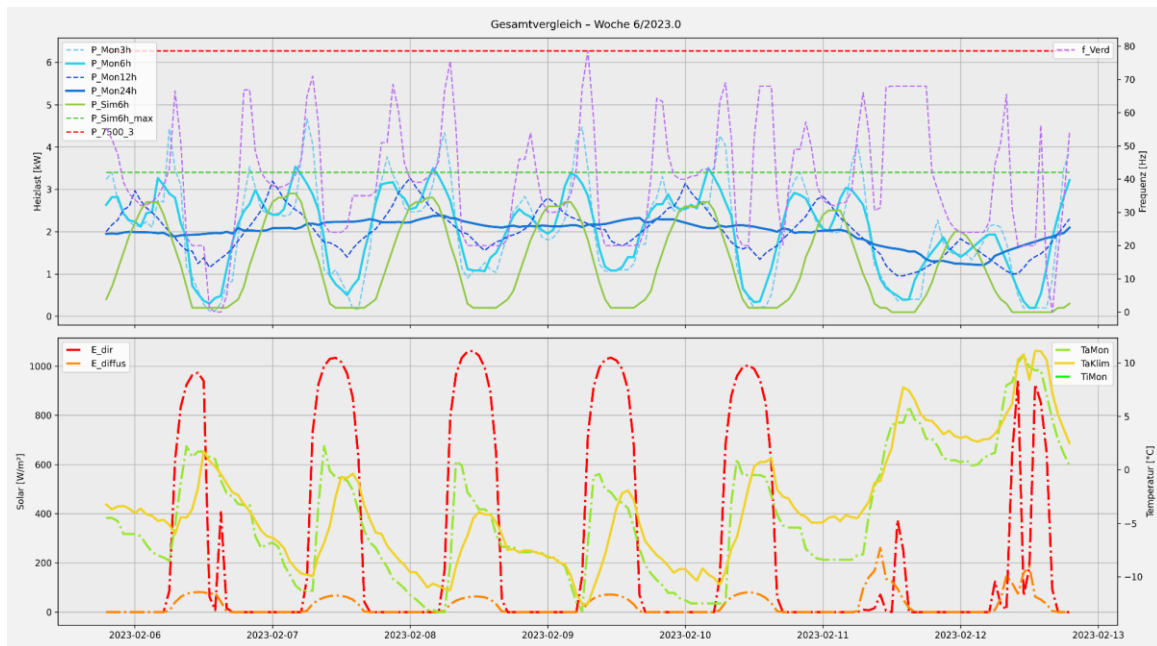
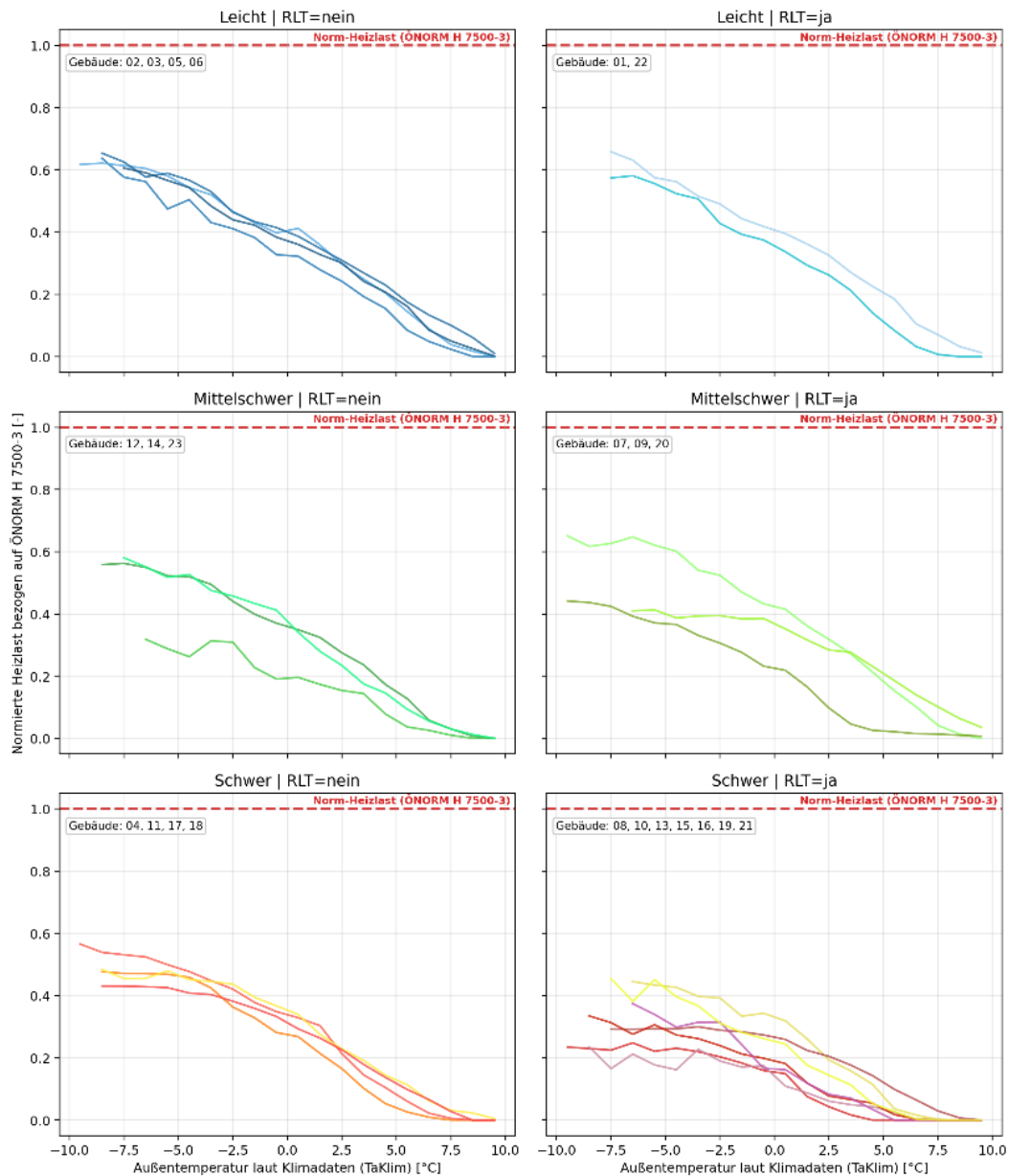


Abbildung 13-15 Monitoringdaten zum kältesten Zeitraum Testgeb. 20 (Bauweise mittelschwer; RLT: ja)

13.2 Normierte Gebäudekennlinien aus Simulation und Monitoring

Normierte Gebäudekennlinien - Simulation

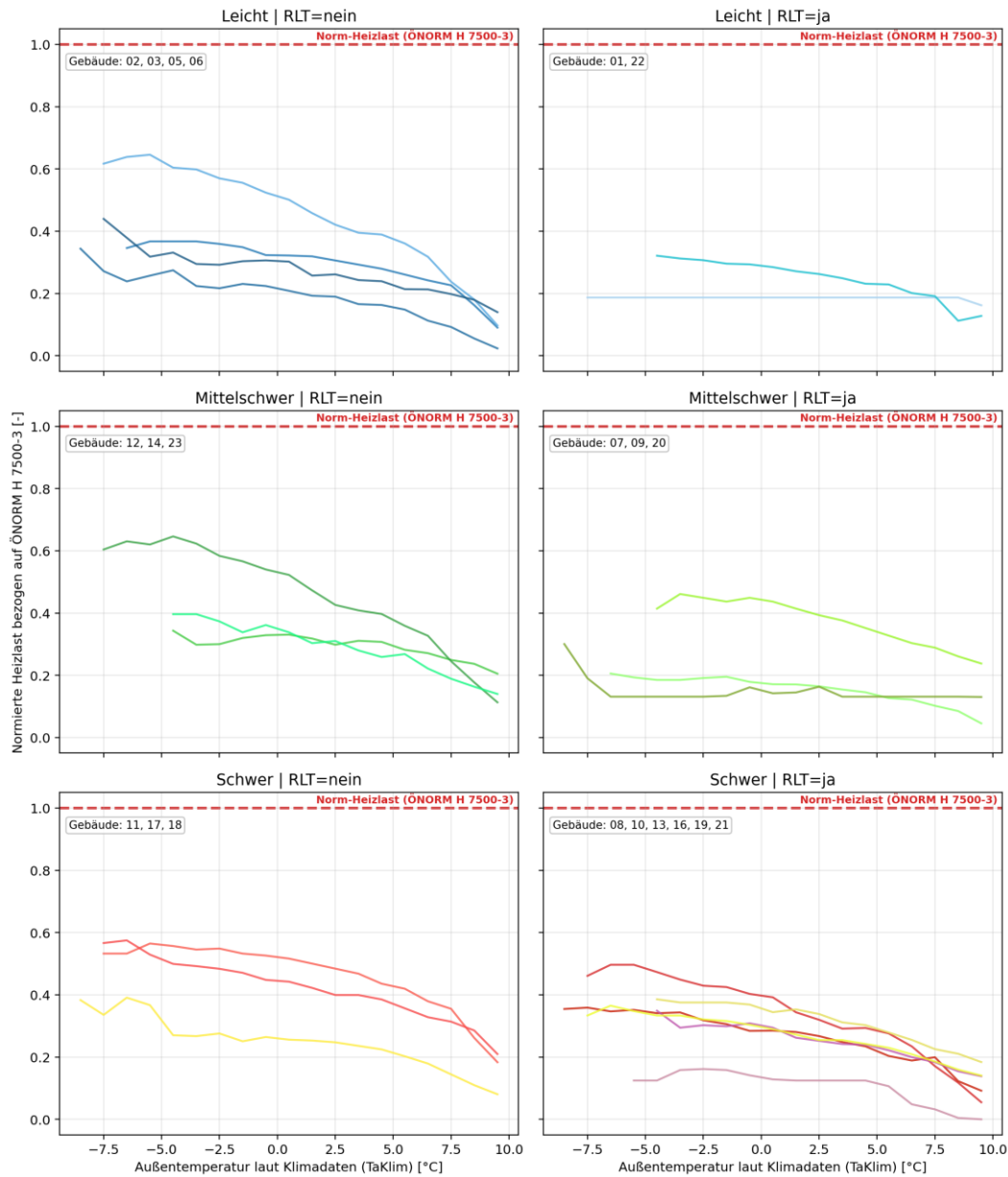


Hinweise zur Darstellung:

- Jede Linie entspricht einem Testgebäude.
- Heizleistungen sind auf die jeweilige Norm-Heizlast nach ÖNORM H 7500-3 normiert.
- Die gestrichelte rote Referenzlinie entspricht der Norm-Heizlast.
- Farben dienen ausschließlich der Zuordnung derselben Gebäude zwischen Monitoring und Simulation.

Abbildung 13-16 Gebäudekennlinien in Abhängigkeit der Außentemperatur normiert nach ÖNORM H 7500-3 für die Simulation (Medianbereich)

Normierte Gebäudekennlinien - Monitoring



Hinweise zur Darstellung:

- Jede Linie entspricht einem Testgebäude.
- Heizleistungen sind auf die jeweilige Norm-Heizlast nach ÖNORM H 7500-3 normiert.
- Die gestrichelte rote Referenzlinie entspricht der Norm-Heizlast.
- Farben dienen ausschließlich der Zuordnung derselben Gebäude zwischen Monitoring und Simulation.

Abbildung 13-17 Gebäudekennlinien in Abhängigkeit der Außentemperatur normiert nach ÖNORM H 7500-3 für das Monitoring (Medianbereich)

13.3 Ergebnisse der Einzelgebäude

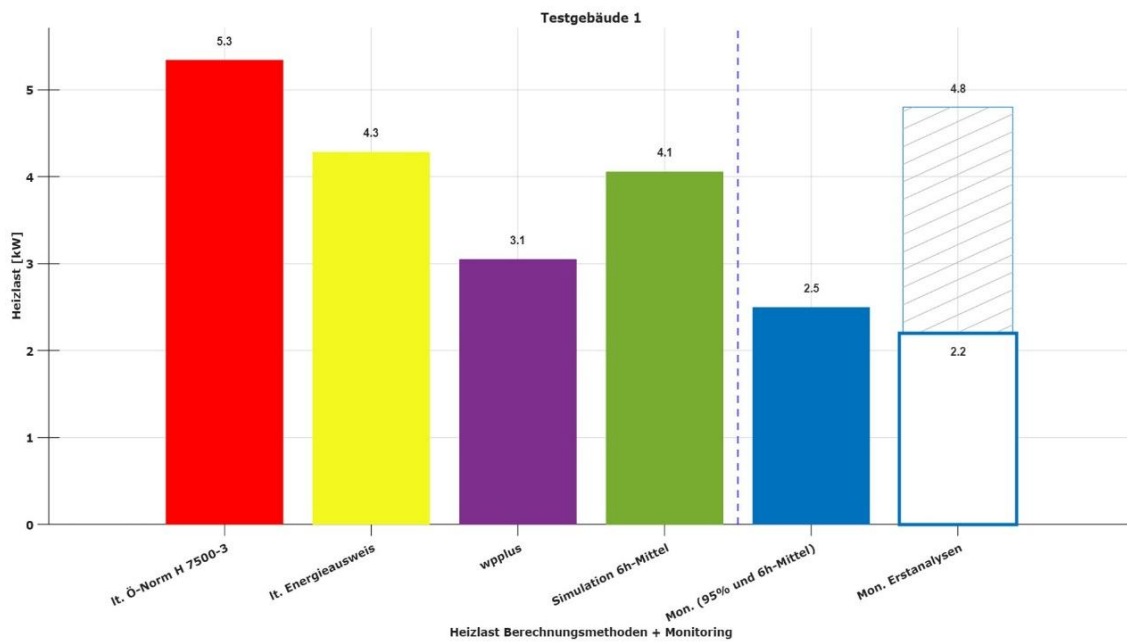


Abbildung 13-18 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 01 (Bauweise leicht; RLT: ja)

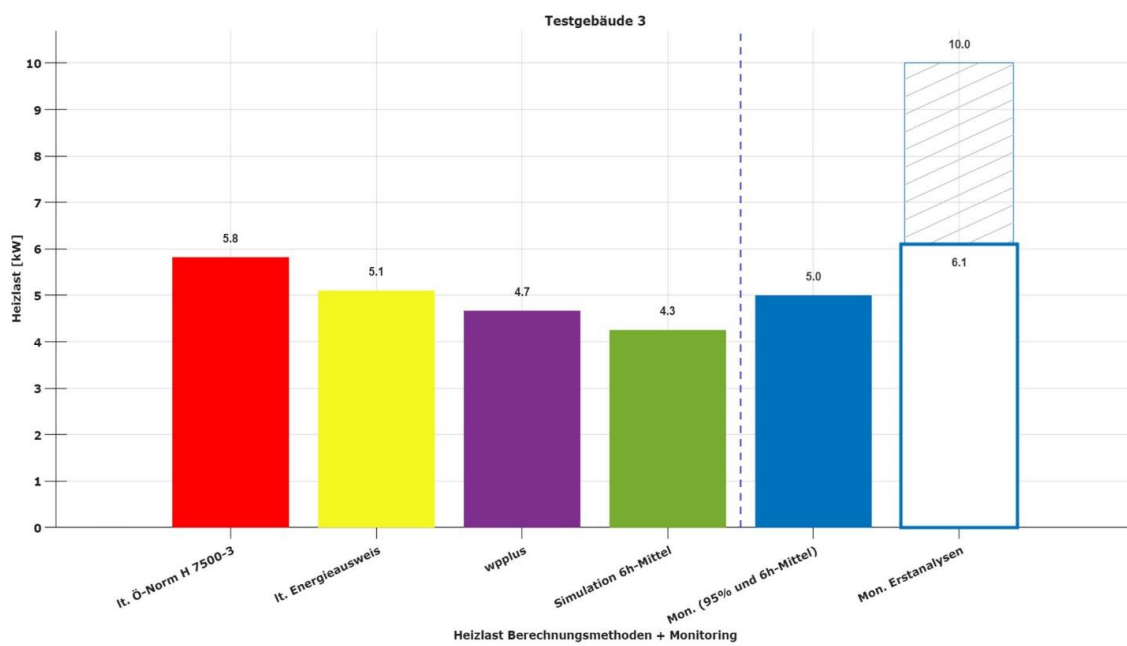


Abbildung 13-19 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 03 (Bauweise leicht; RLT: nein)

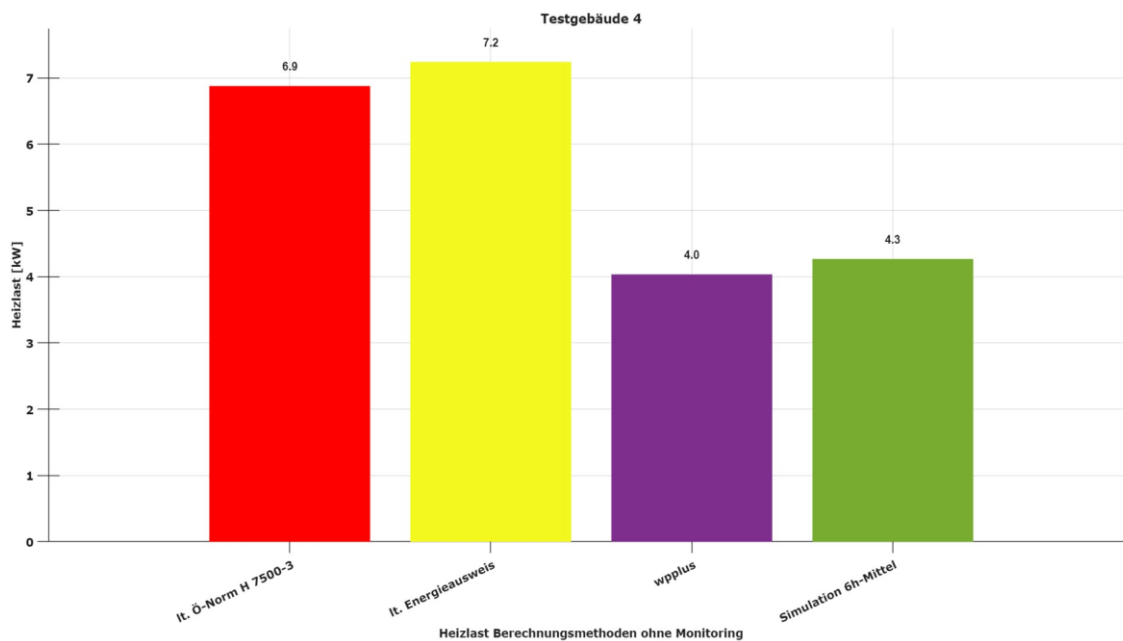


Abbildung 13-20 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 04 (Bauweise schwer; RLT: nein)

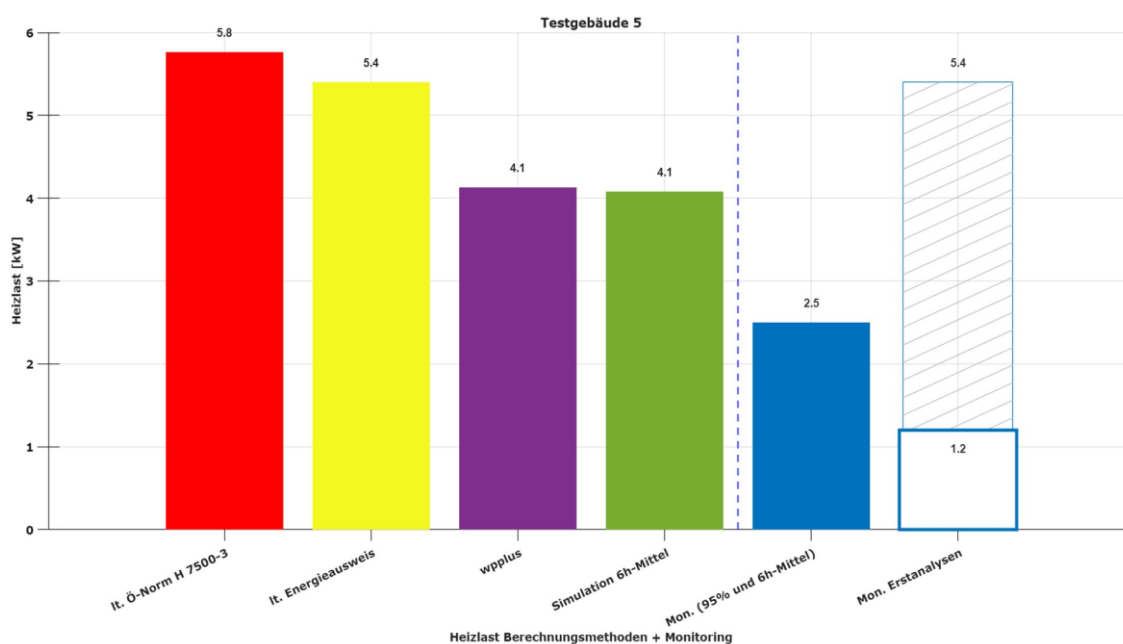


Abbildung 13-21 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 05 (Bauweise leicht; RLT: nein)

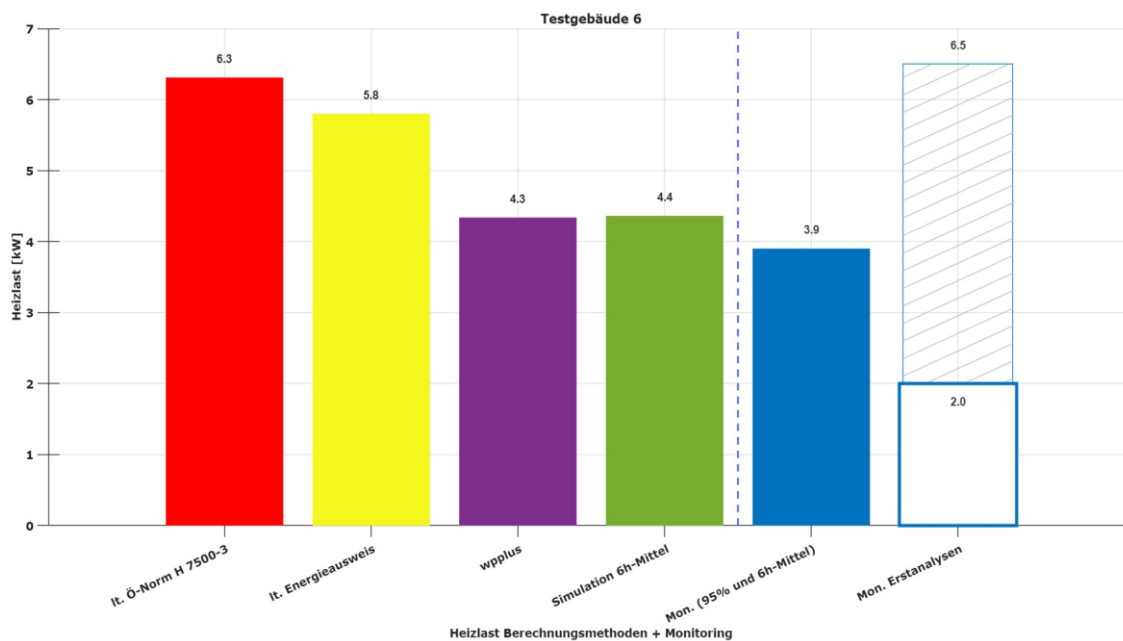


Abbildung 13-22 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 06 (Bauweise leicht; RLT: nein)

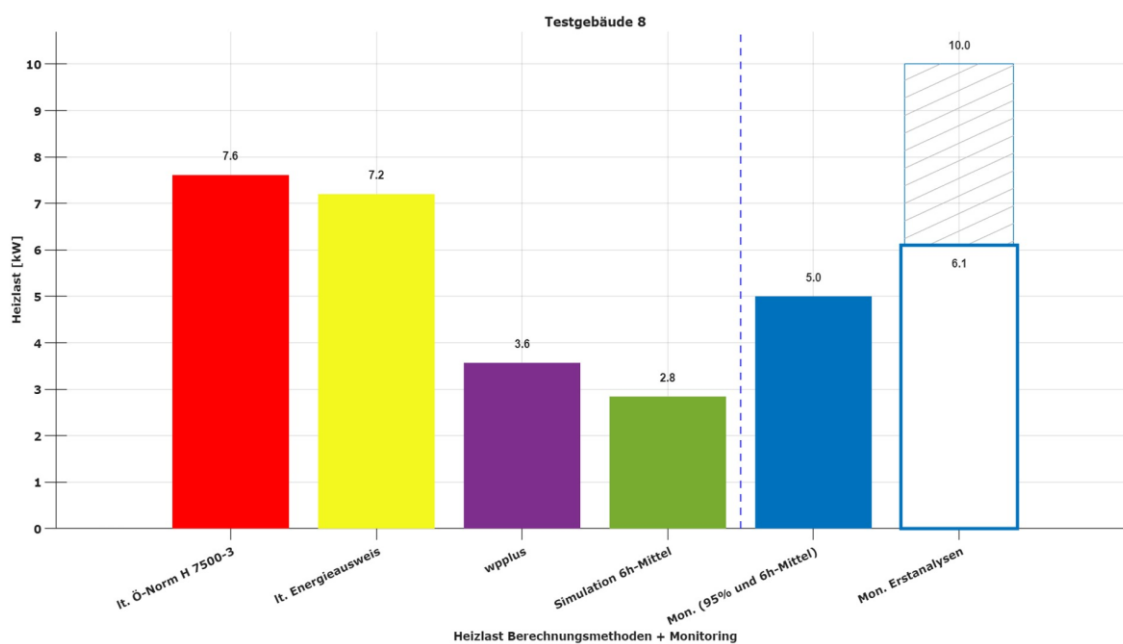


Abbildung 13-23 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 08 (Bauweise schwer; RLT: ja)

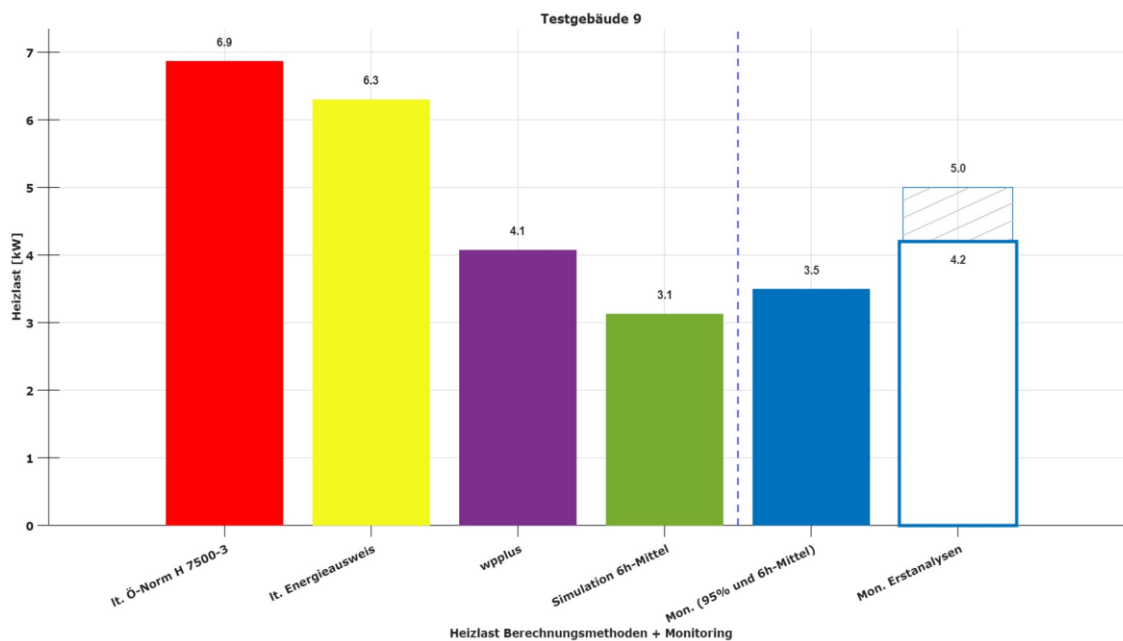


Abbildung 13-24 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 09 (Bauweise mittelschwer; RLT: ja)

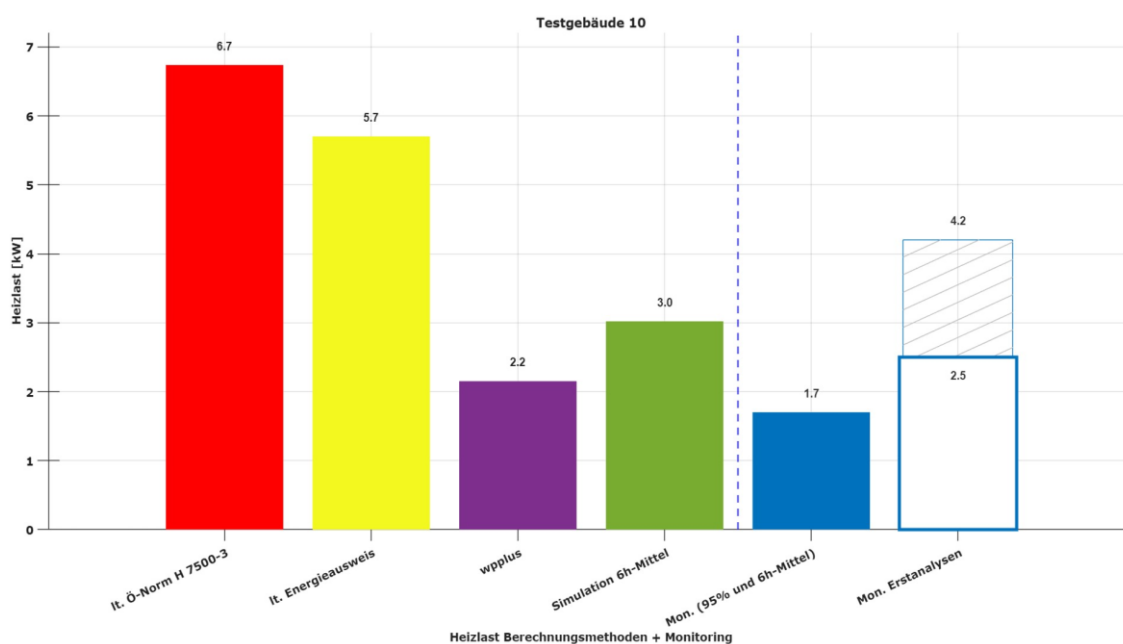


Abbildung 13-25 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 10 (Bauweise schwer; RLT: ja)

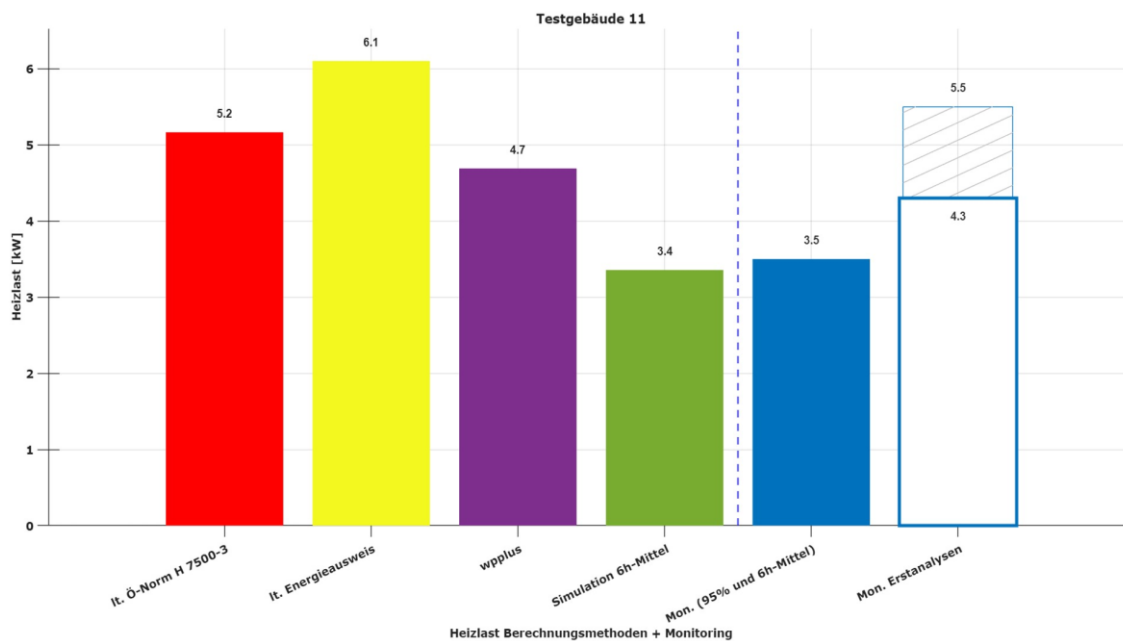


Abbildung 13-26 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 11 (Bauweise schwer; RLT: nein)

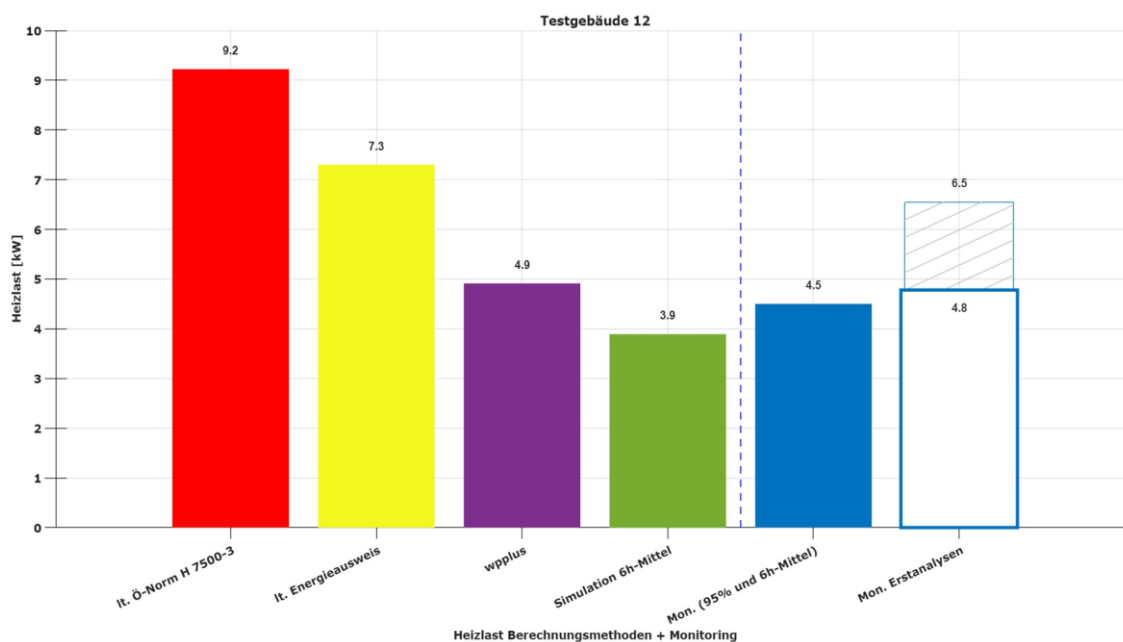


Abbildung 13-27 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 12 (Bauweise mittelschwer; RLT: nein)

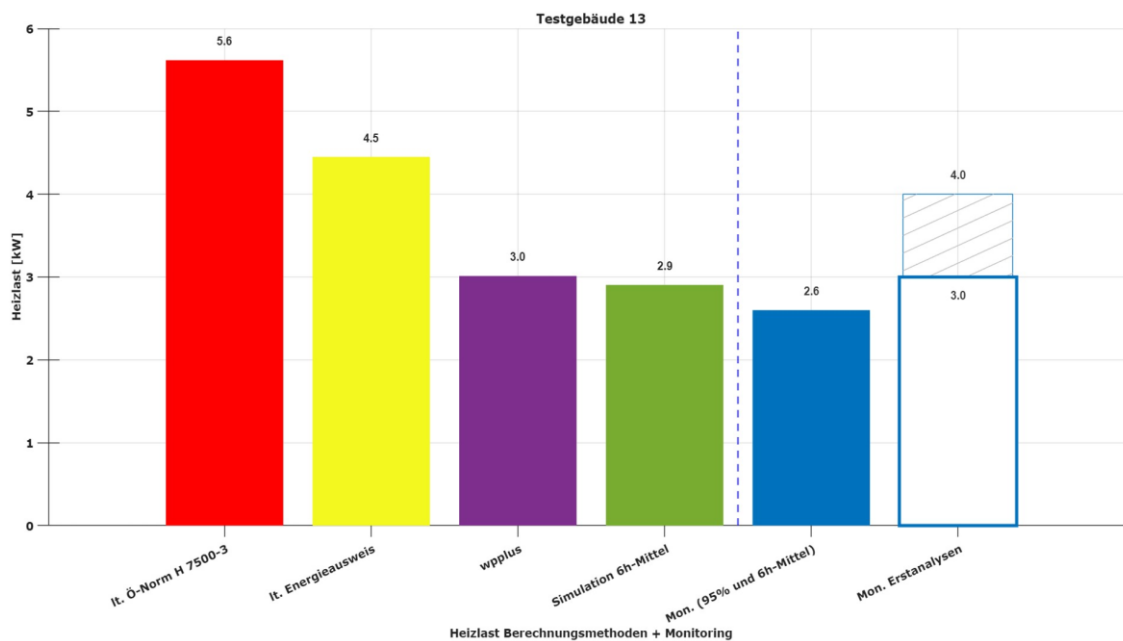


Abbildung 13-28 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 13 (Bauweise schwer; RLT: ja)

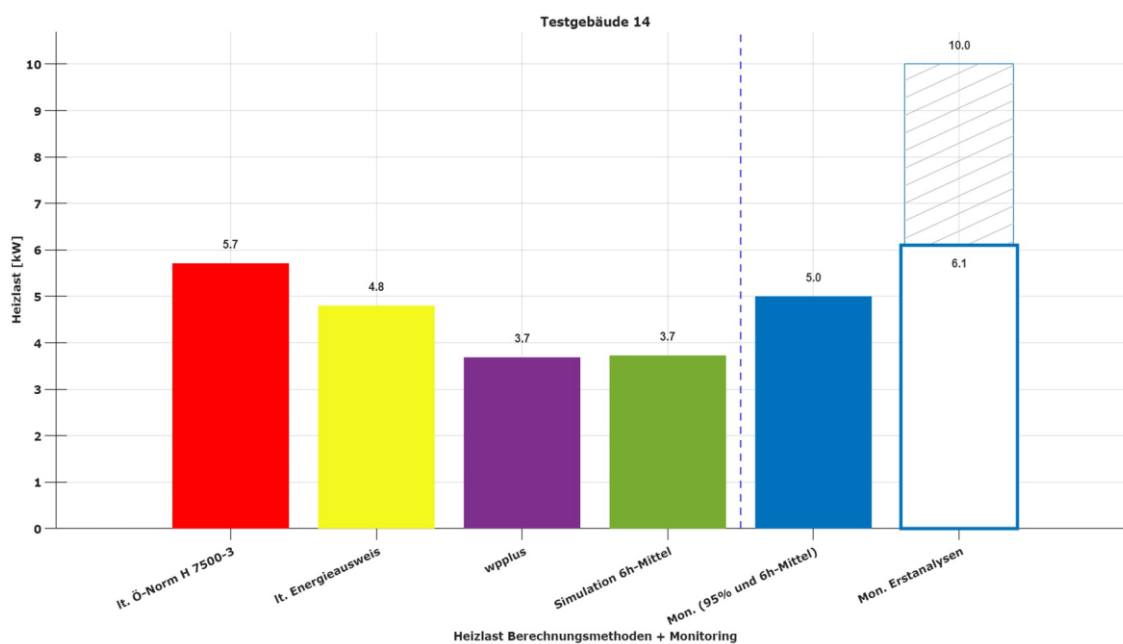


Abbildung 13-29 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 14 (Bauweise mittelschwer; RLT: nein)

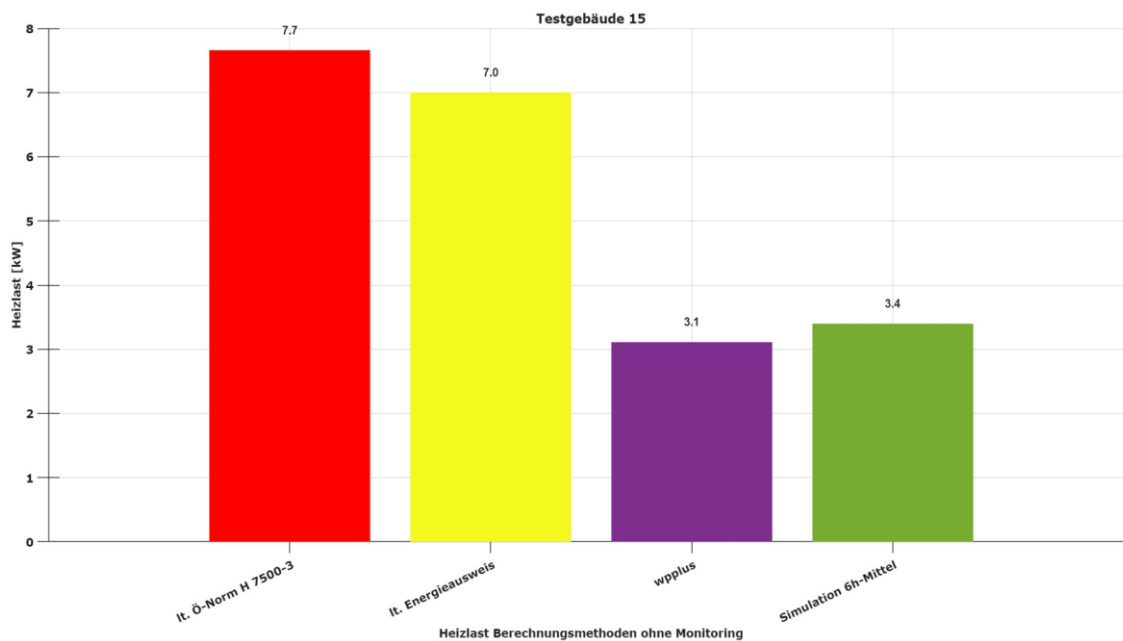


Abbildung 13-30 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 15 (Bauweise schwer; RLT: ja)

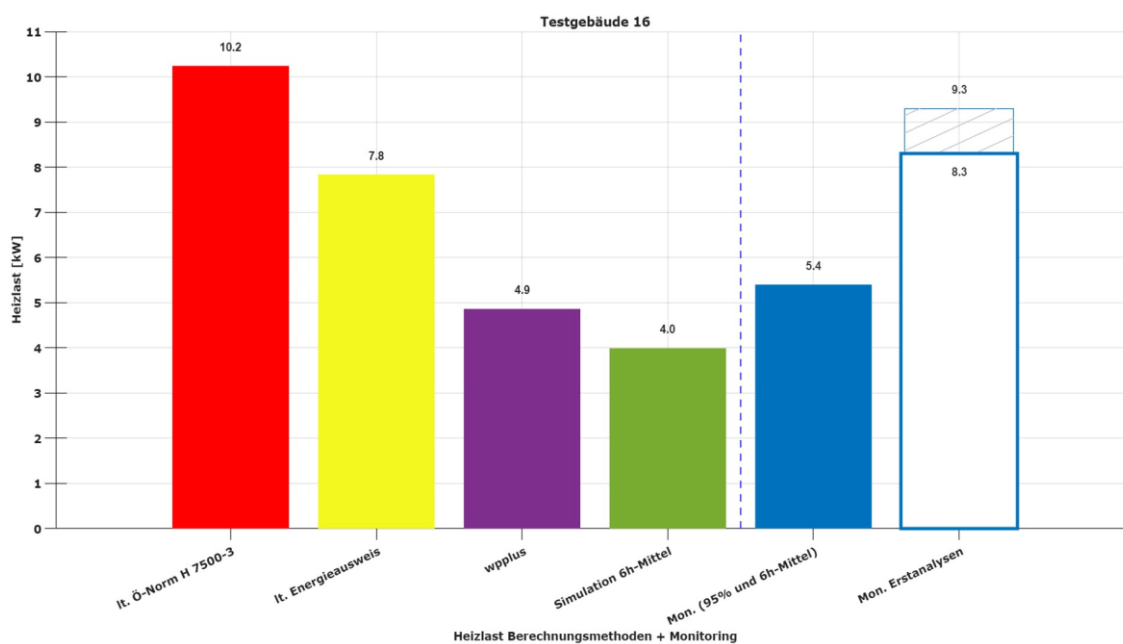


Abbildung 13-31 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 16 (Bauweise schwer; RLT: ja)

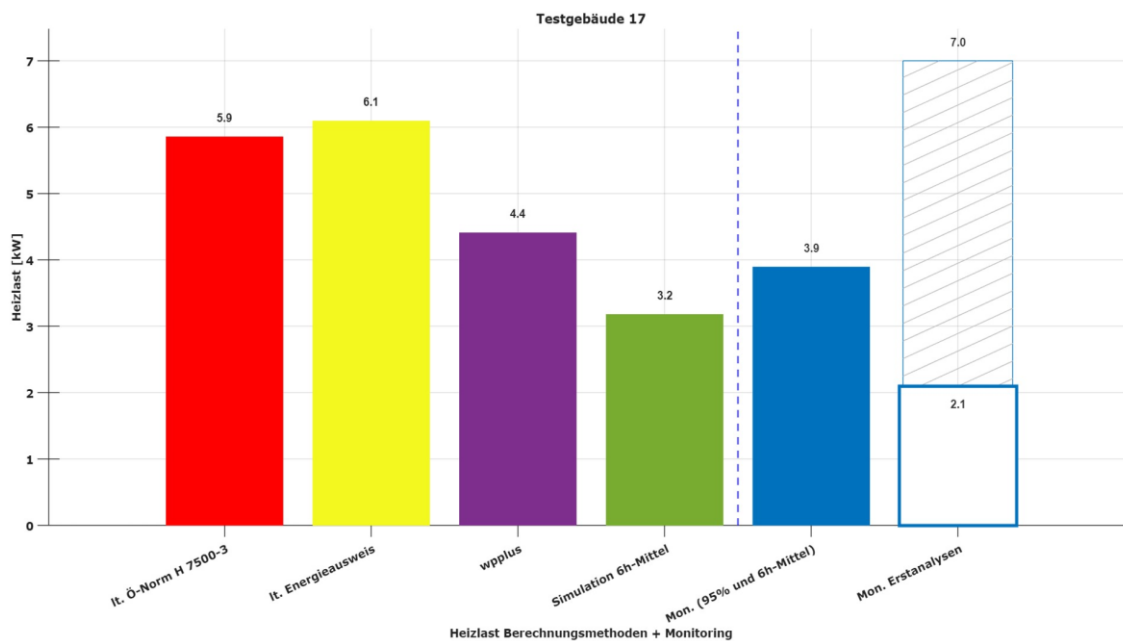


Abbildung 13-32 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 17 (Bauweise schwer; RLT: nein)

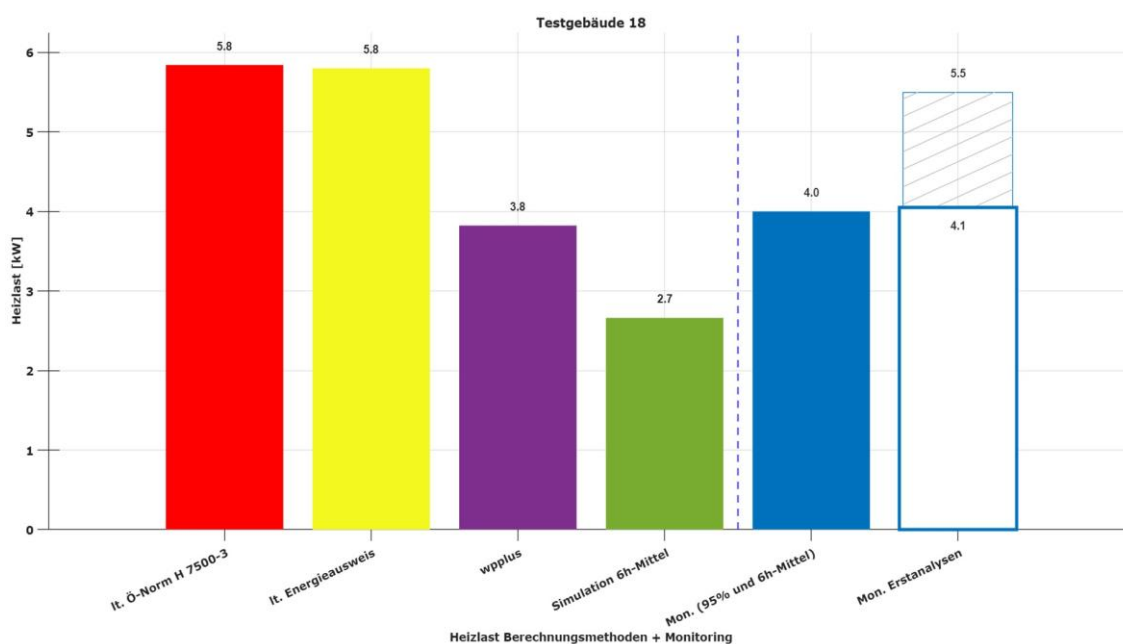


Abbildung 13-33 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 18 (Bauweise schwer; RLT: nein)

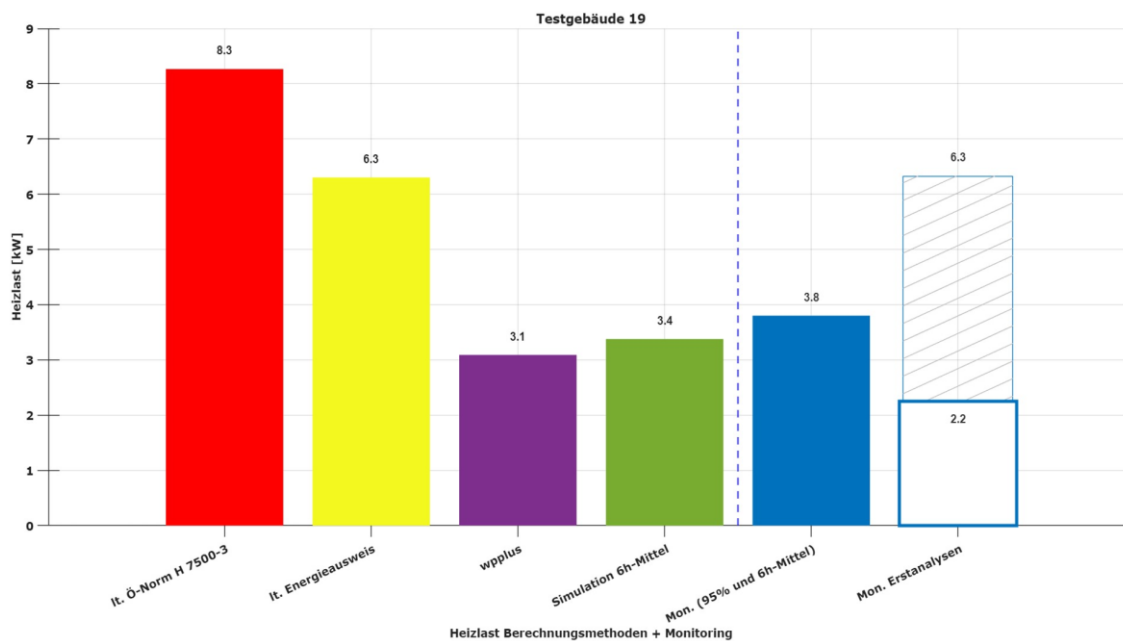


Abbildung 13-34 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 19 (Bauweise schwer; RLT: ja)

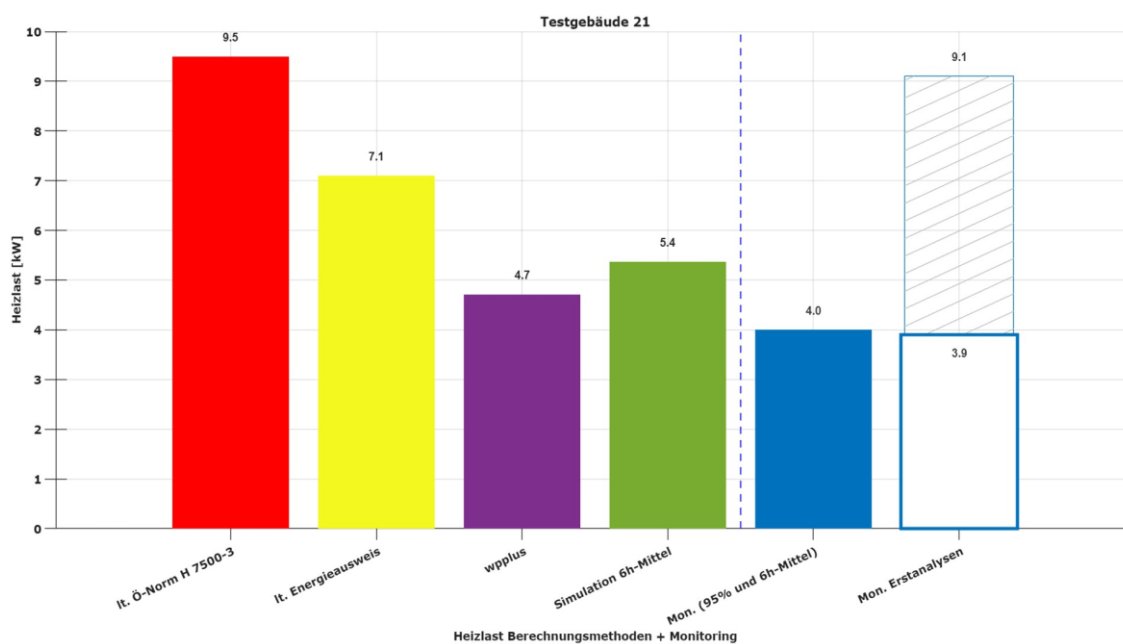


Abbildung 13-35 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 21 (Bauweise schwer; RLT: ja)

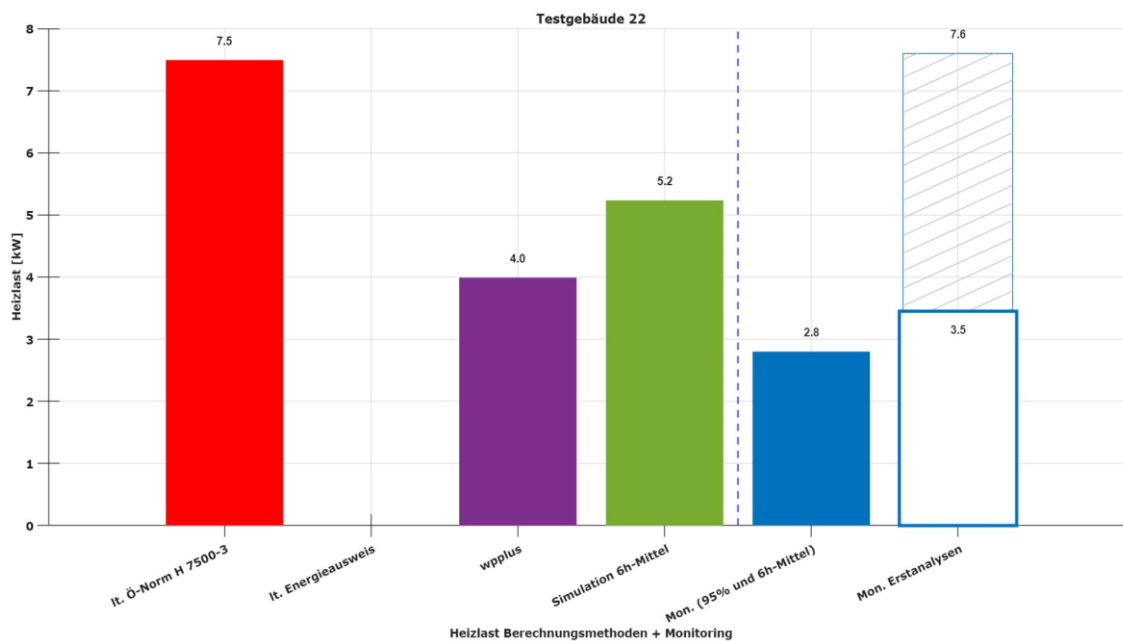


Abbildung 13-36 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 22 (Bauweise leicht; RLT: ja)

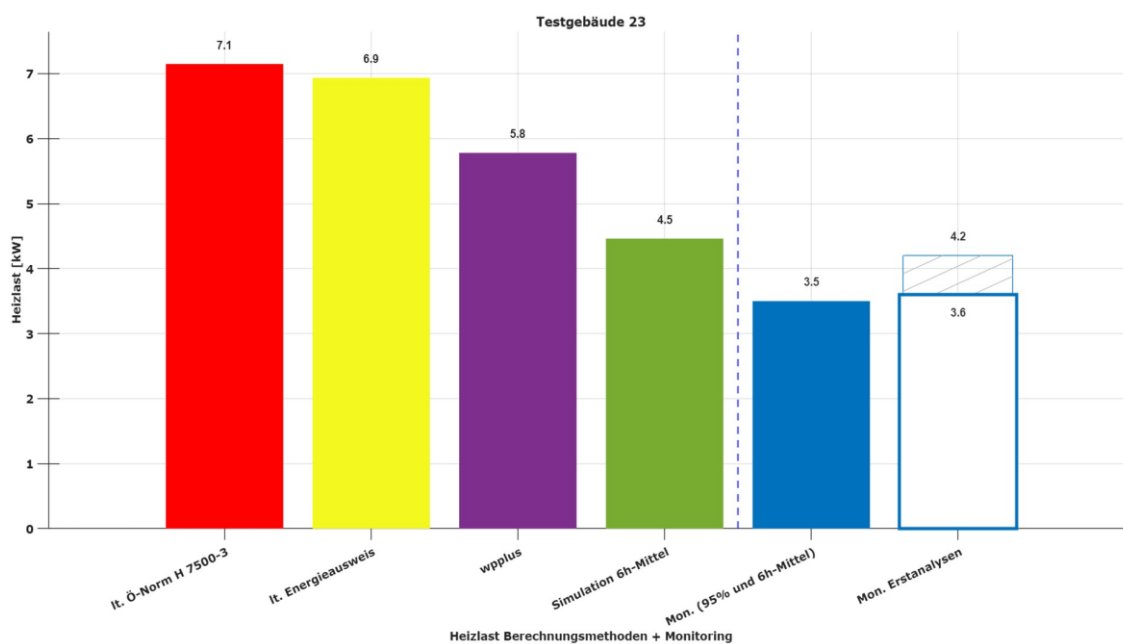


Abbildung 13-37 Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden für Testgebäude 23 (Bauweise mittelschwer; RLT: nein)

13.4 Vertiefte Datenanalysen

Testgebäude 01 (Bauweise leicht; RLT: ja)

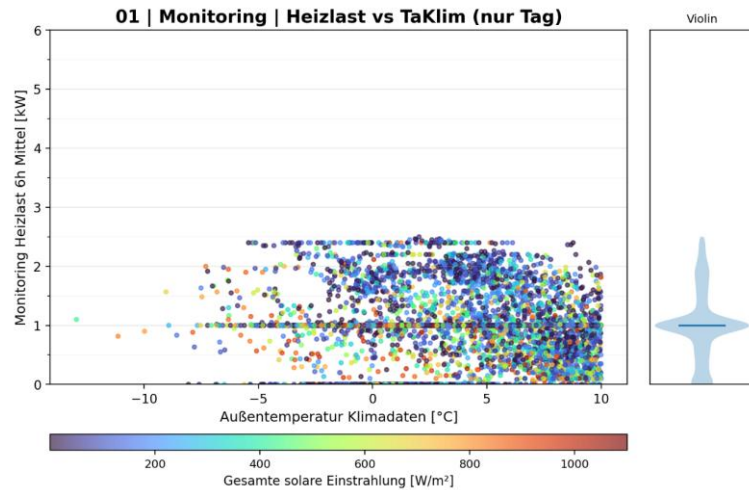


Abbildung 13-38 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 01

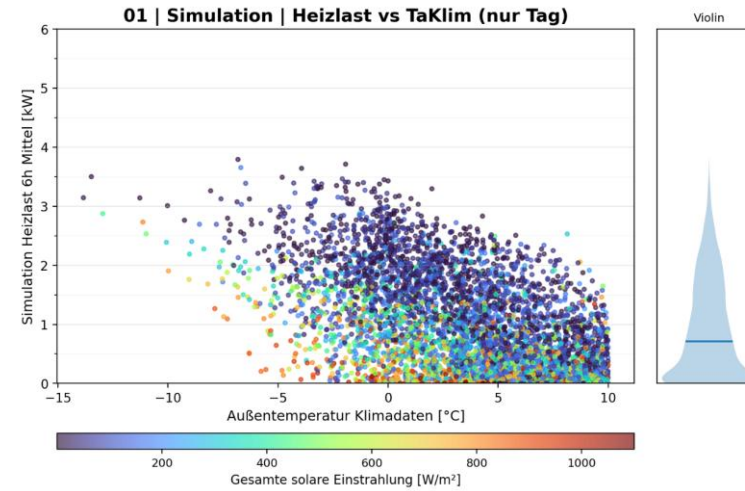


Abbildung 13-39 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 01

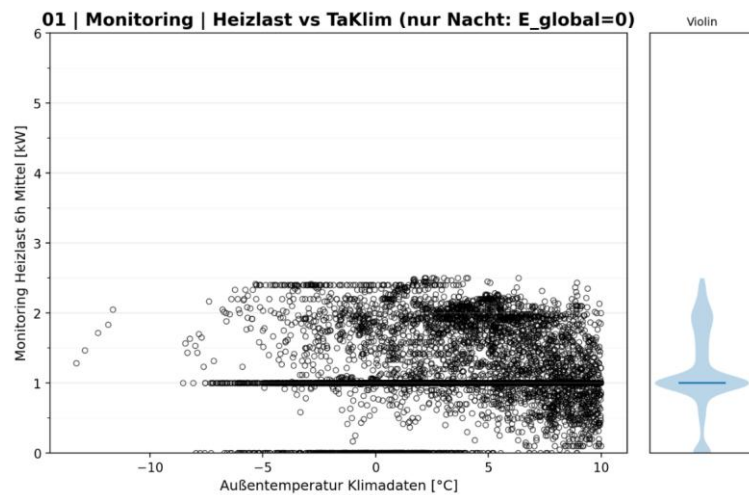


Abbildung 13-40 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 01

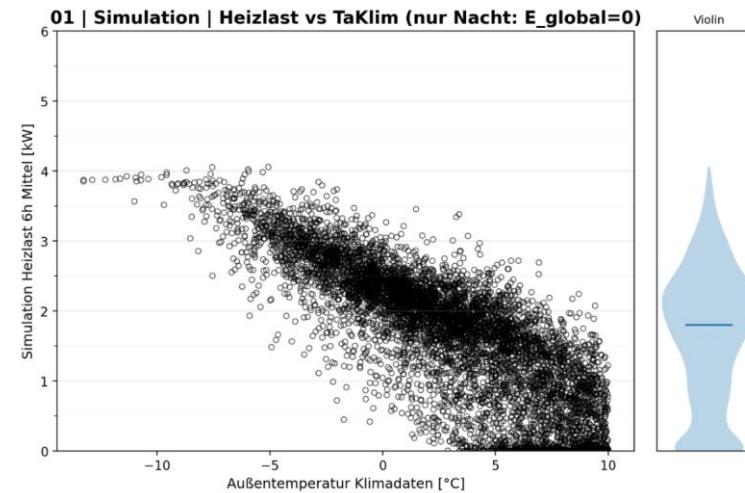


Abbildung 13-41 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 01

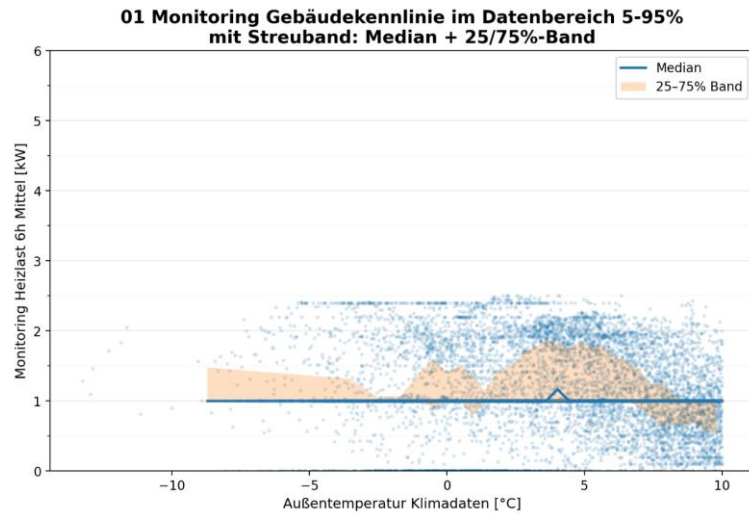


Abbildung 13-42 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 01

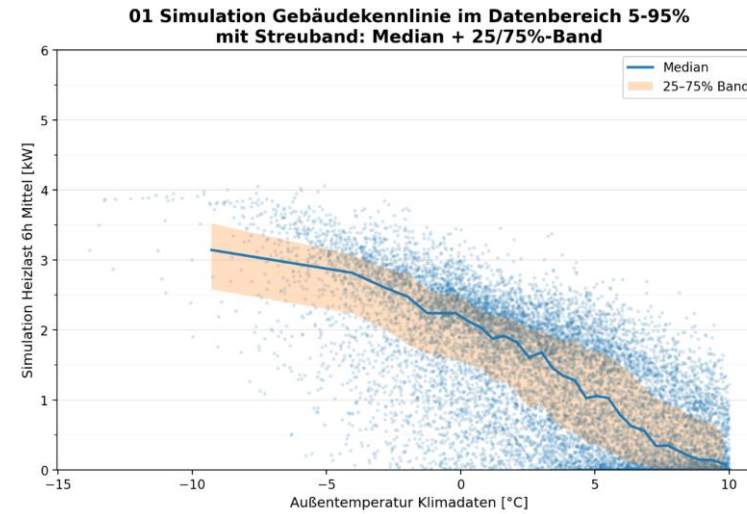


Abbildung 13-43 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 01

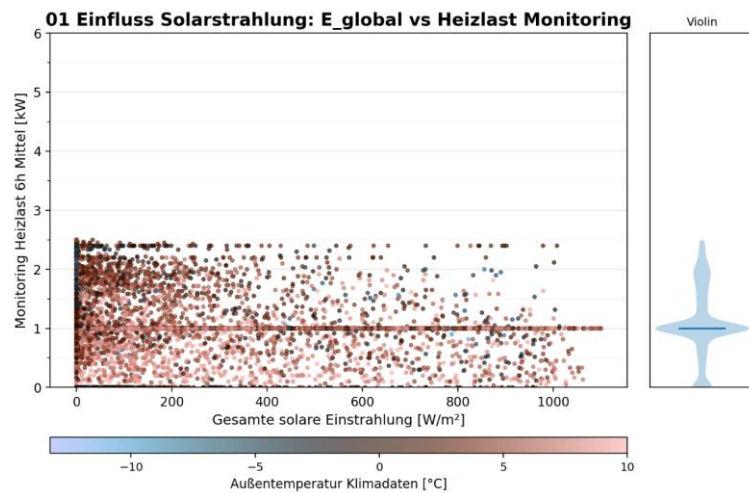


Abbildung 13-44 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 01

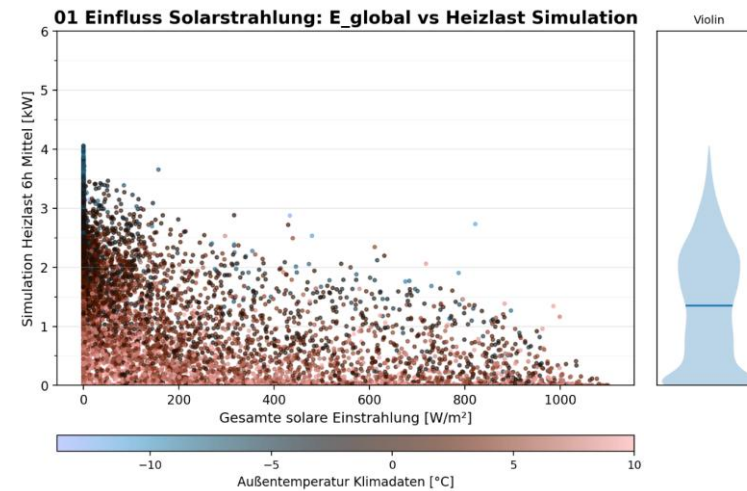


Abbildung 13-45 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation – Testgeb. 01

Testgebäude 03 (Bauweise leicht; RLT: nein)

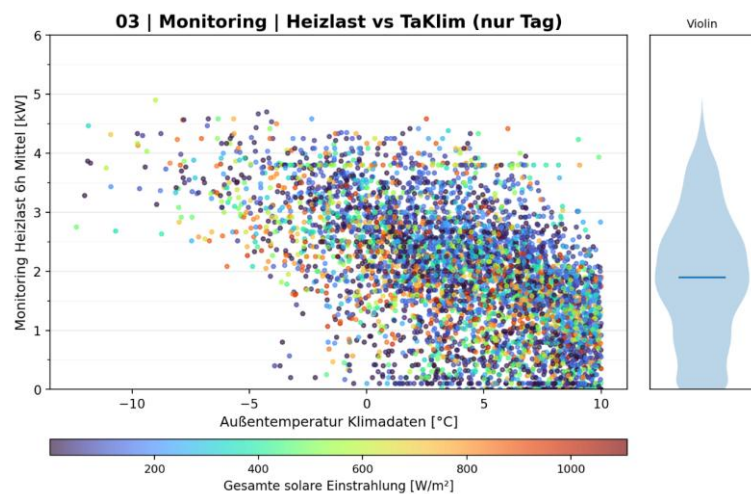


Abbildung 13-46 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 03

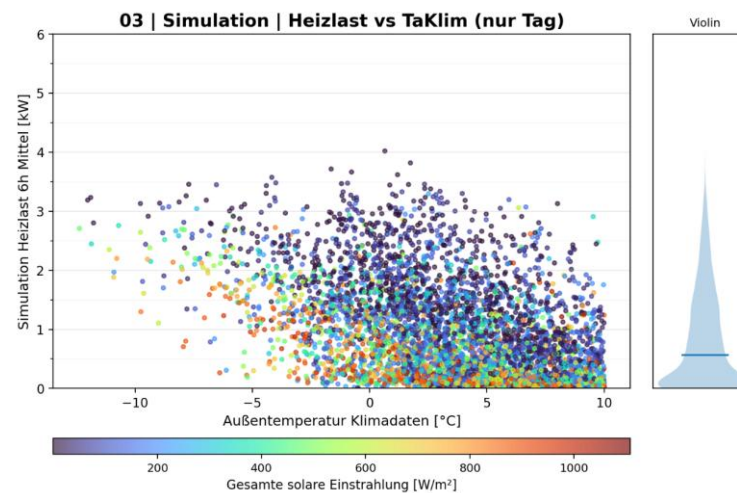


Abbildung 13-47 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 03

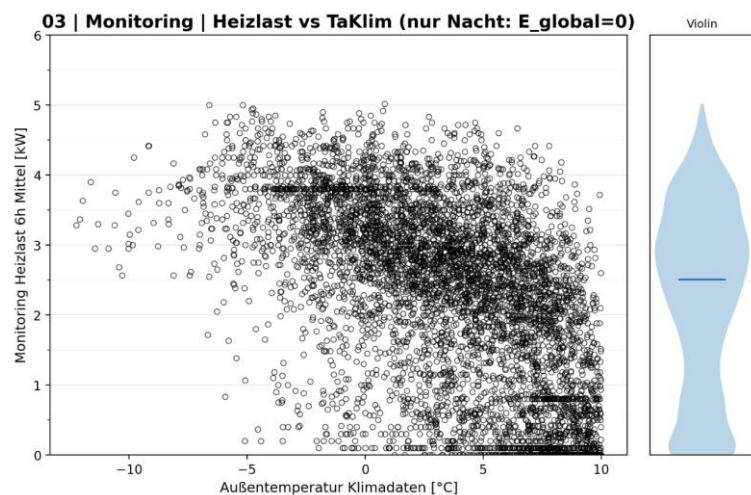


Abbildung 13-48 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 03

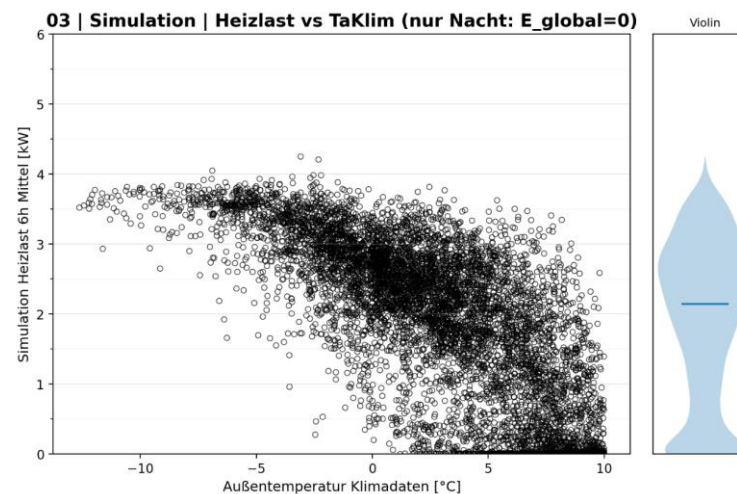


Abbildung 13-49 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 03

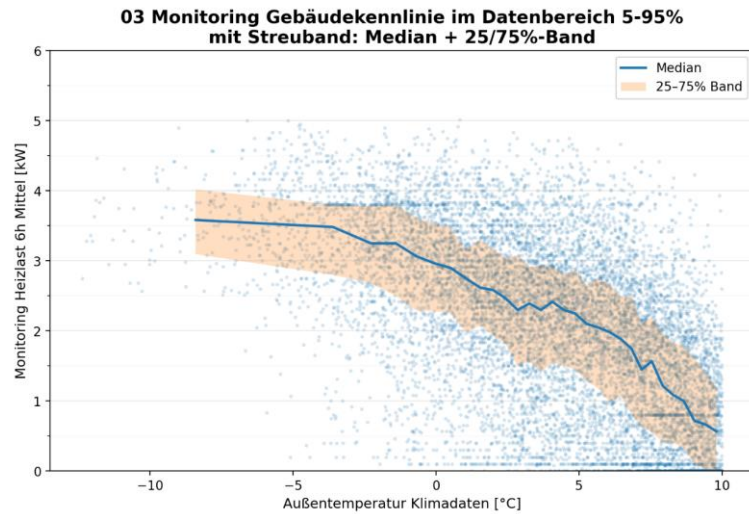


Abbildung 13-50 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 03

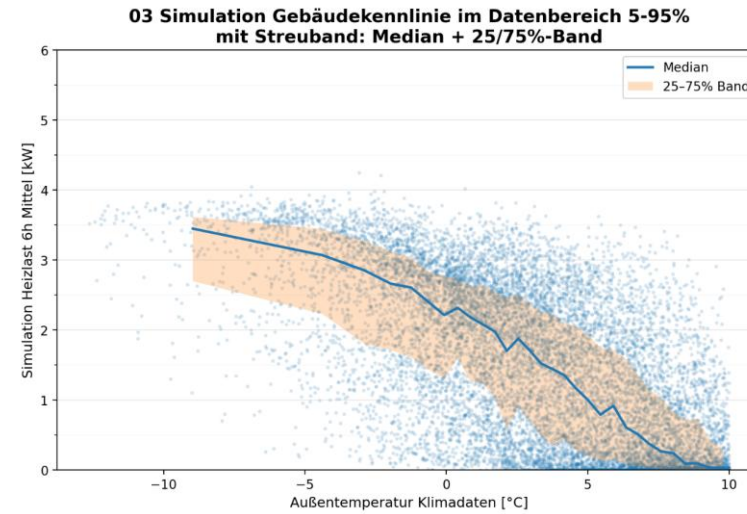


Abbildung 13-51 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 03

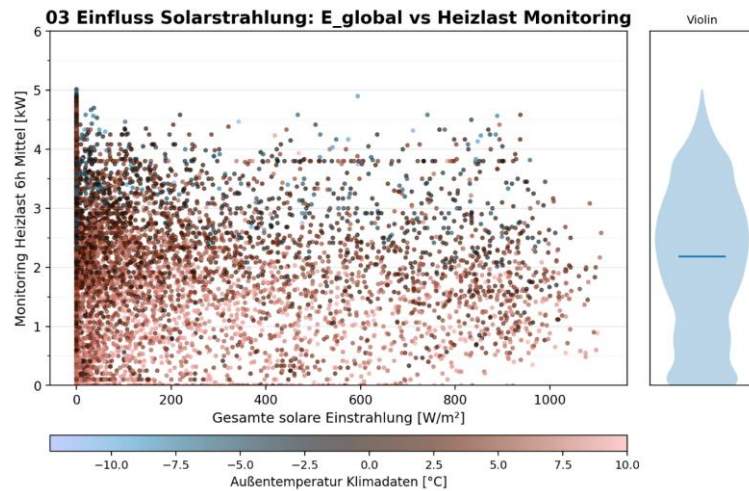


Abbildung 13-52 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 03

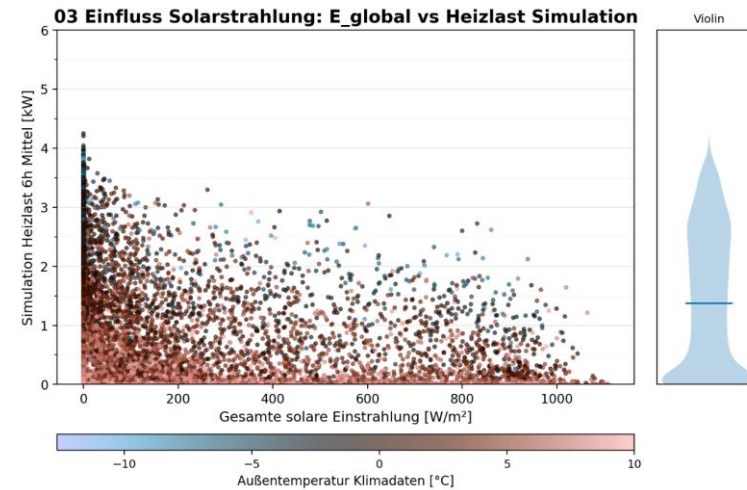


Abbildung 13-53 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 03

Testgebäude 04 (Bauweise schwer; RLT: nein)

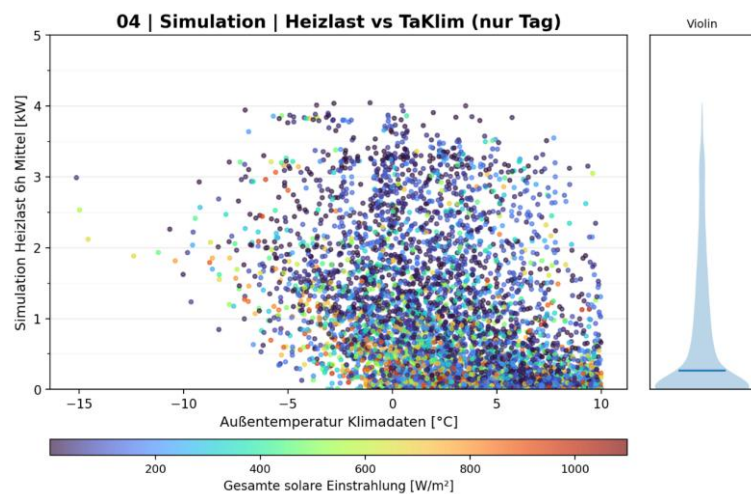


Abbildung 13-54 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 04

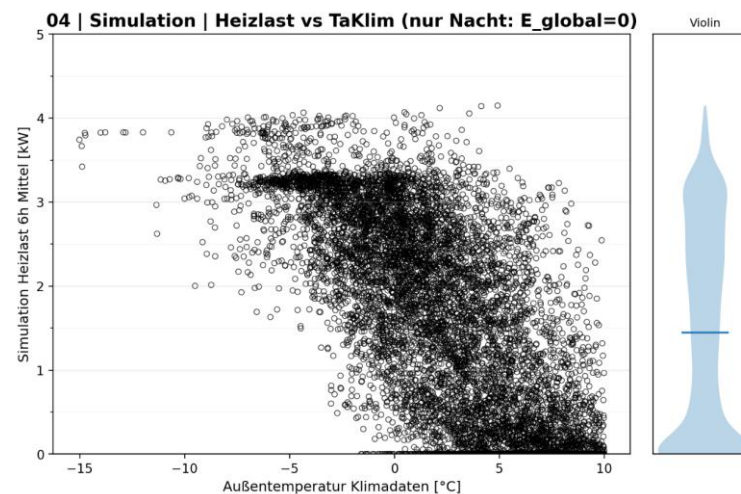


Abbildung 13-55 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 04

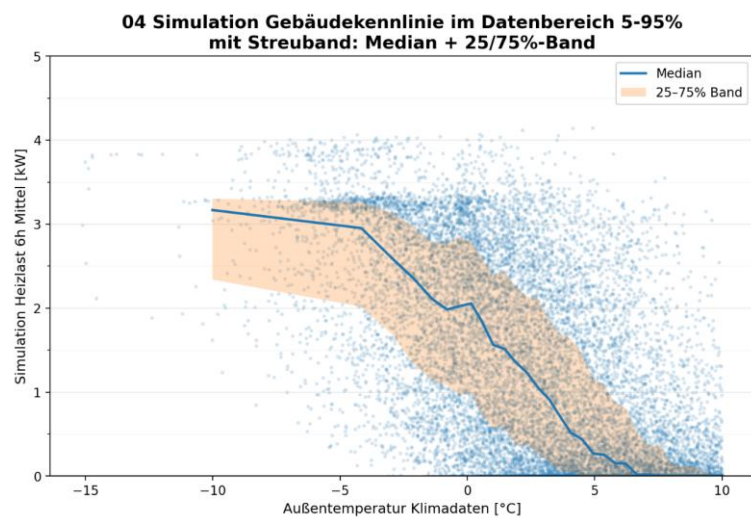


Abbildung 13-56 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 04

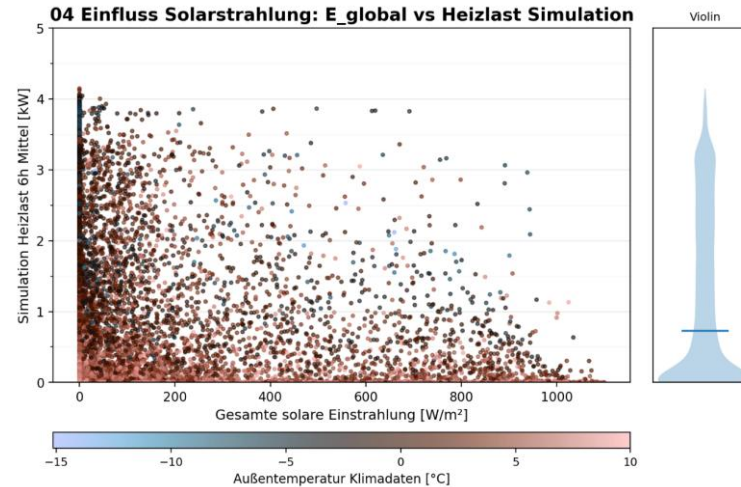


Abbildung 13-57 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 04

Testgebäude 05 (Bauweise leicht; RLT: nein)

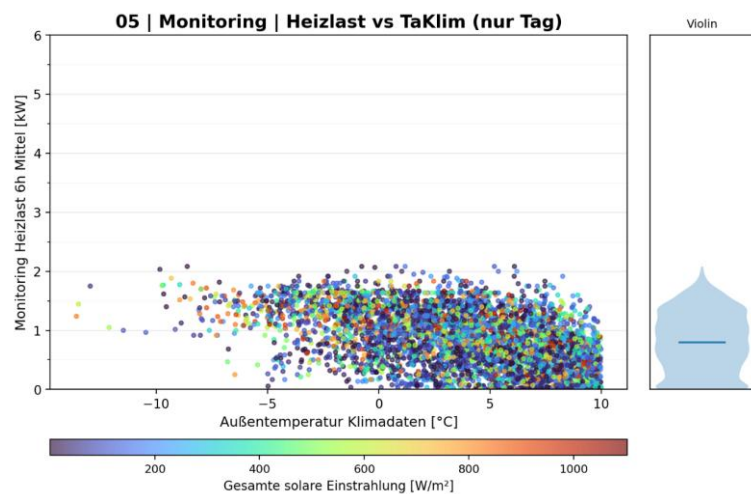


Abbildung 13-58 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 05

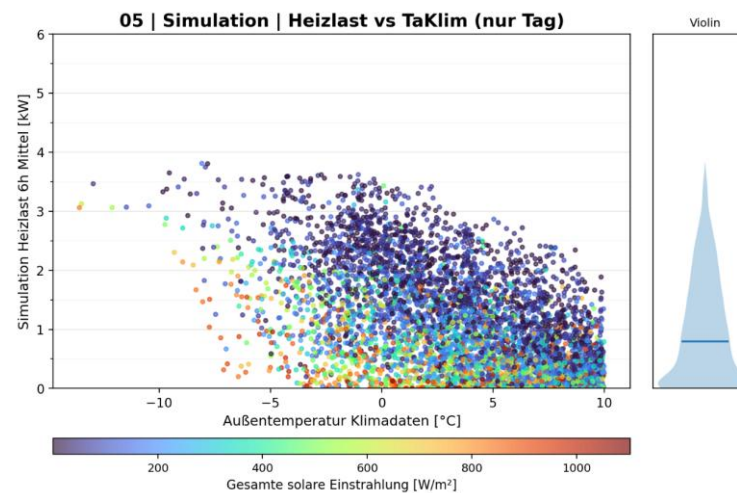


Abbildung 13-59 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 05

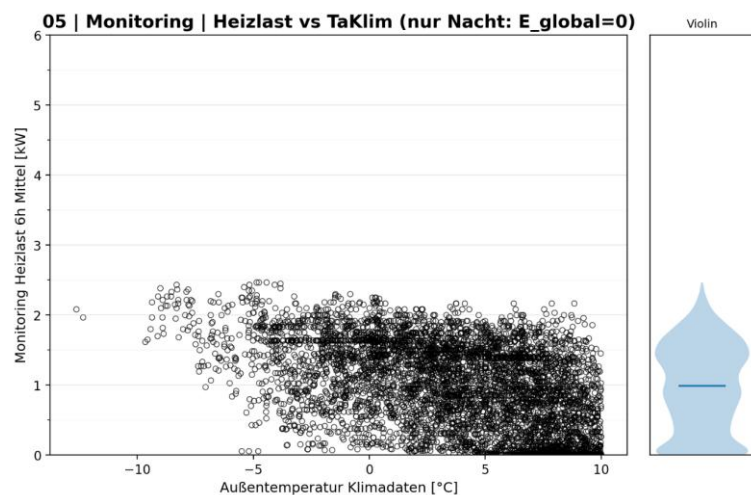


Abbildung 13-60 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 05

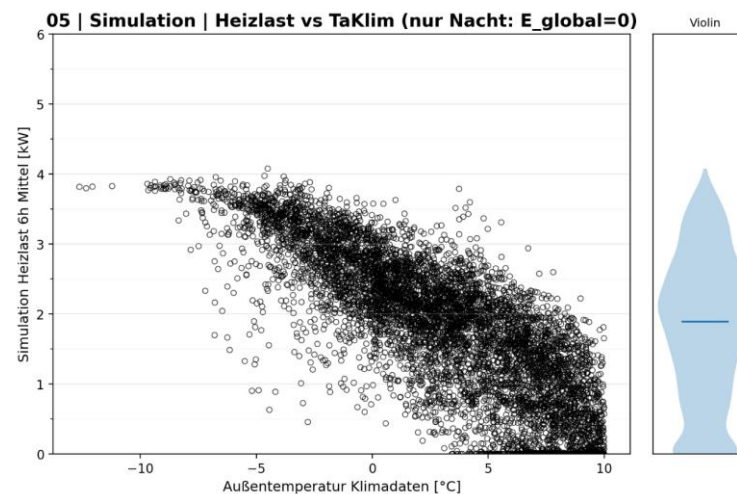


Abbildung 13-61 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 05

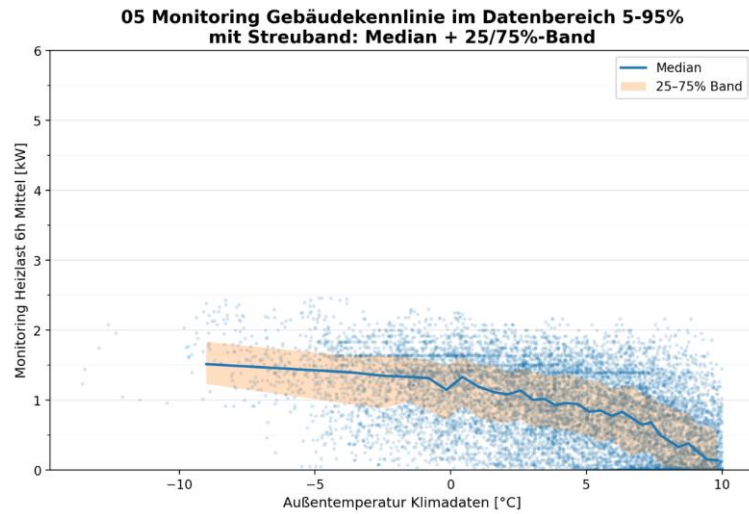


Abbildung 13-62 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 05

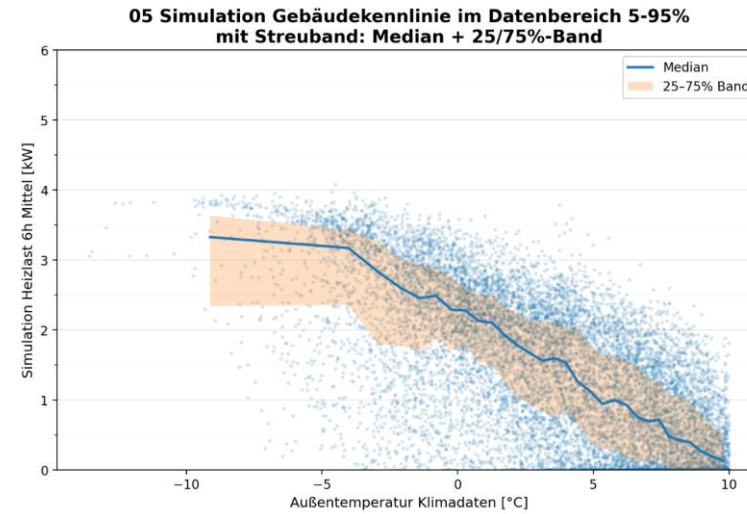


Abbildung 13-63 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 05

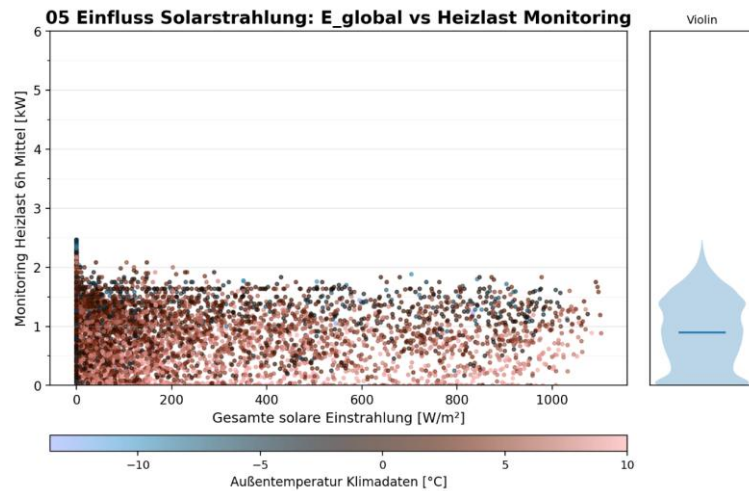


Abbildung 13-64 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 05

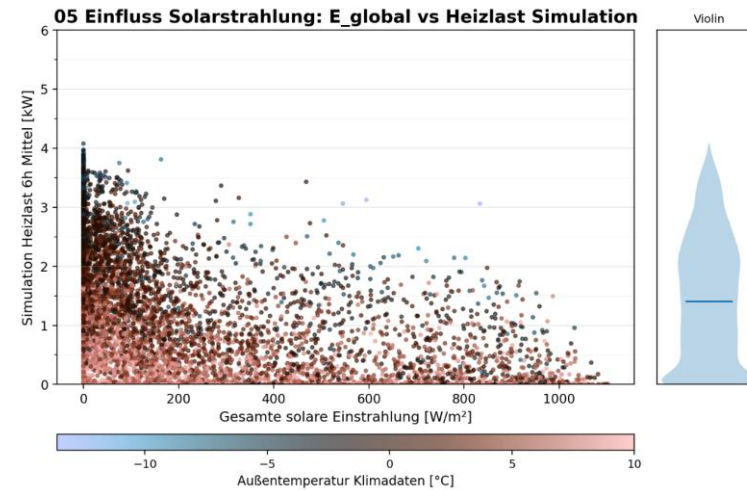


Abbildung 13-65 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 05

Testgebäude 06 (Bauweise leicht; RLT: nein)

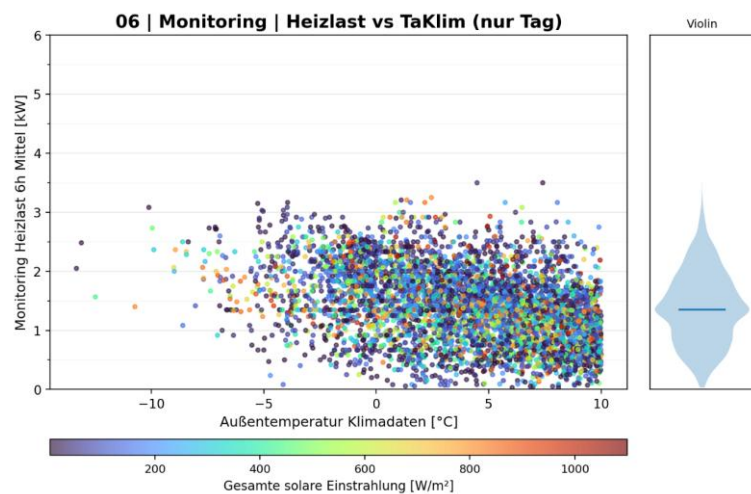


Abbildung 13-66 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 06

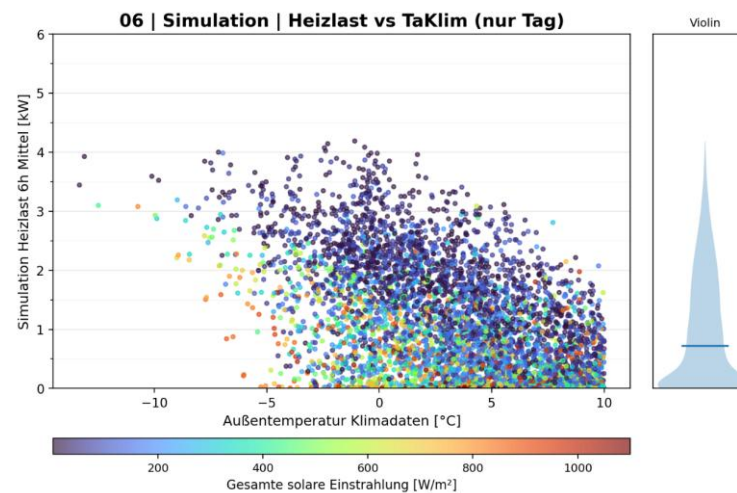


Abbildung 13-67 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 06

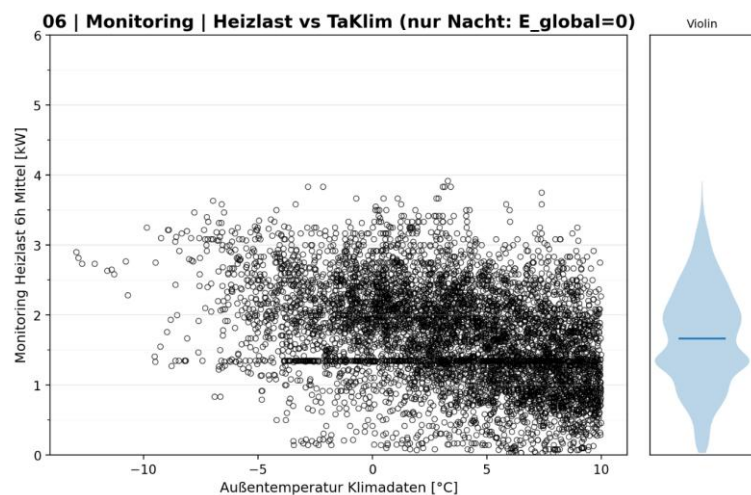


Abbildung 13-68 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 06

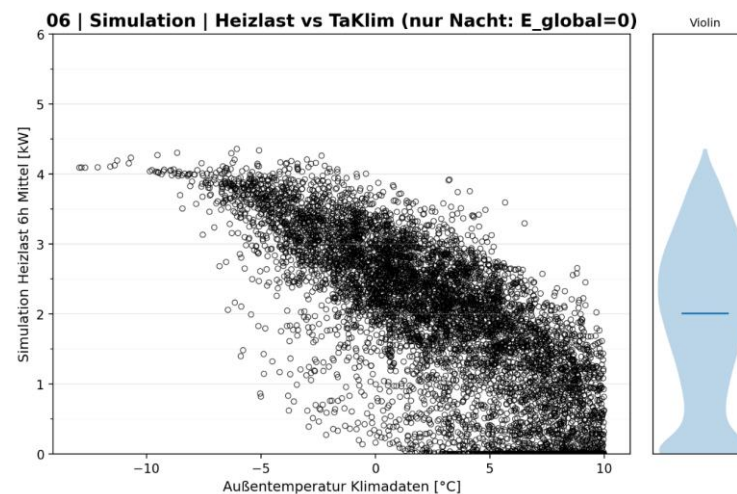


Abbildung 13-69 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 06

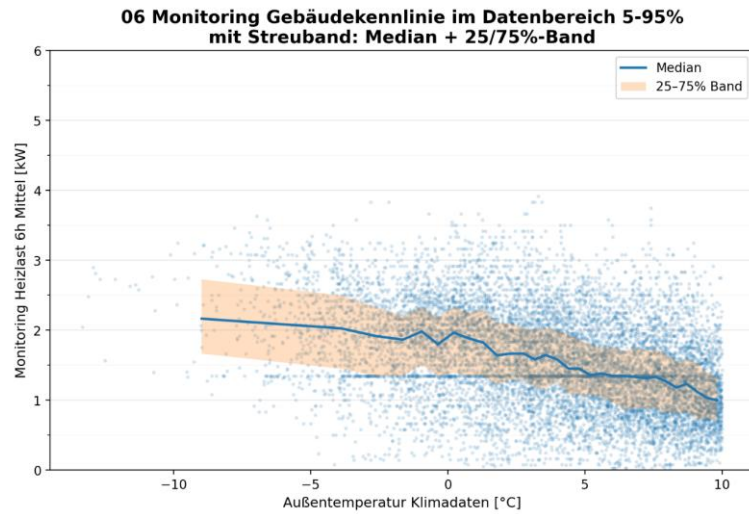


Abbildung 13-70 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 06

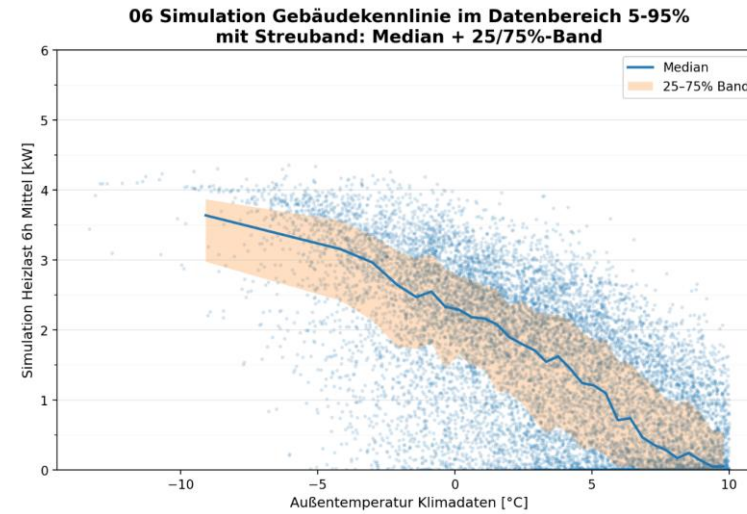


Abbildung 13-71 Simulation Median-Gebäudekennlinie - Testgeb. 06

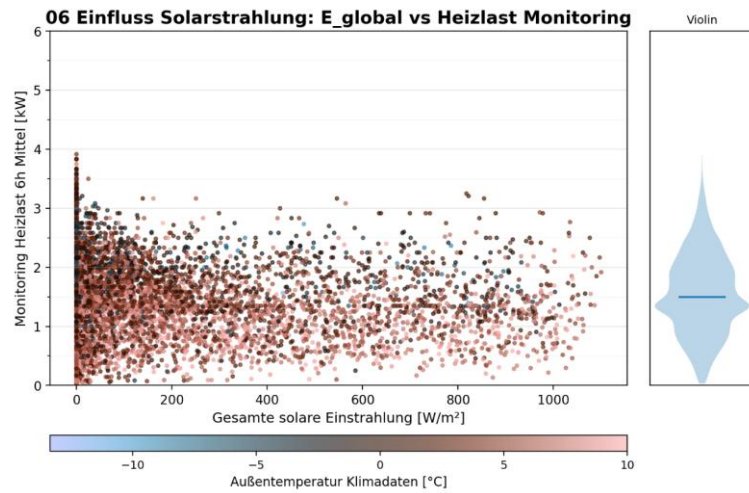


Abbildung 13-72 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 06

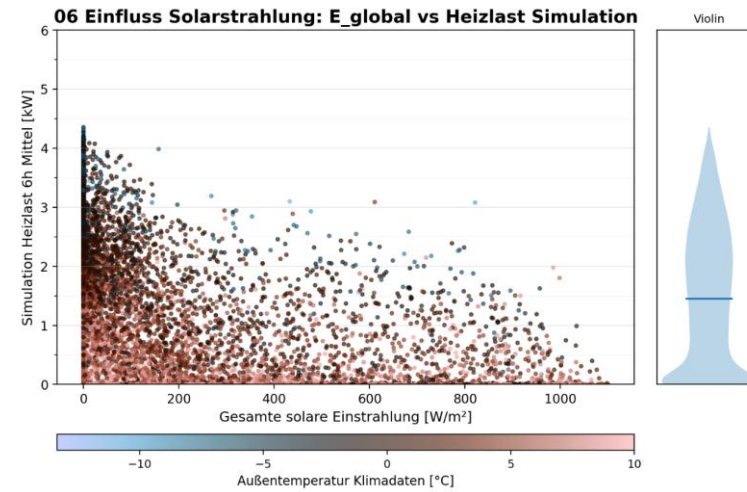


Abbildung 13-73 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 06

Testgebäude 09 (Bauweise mittelschwer; RLT: ja)

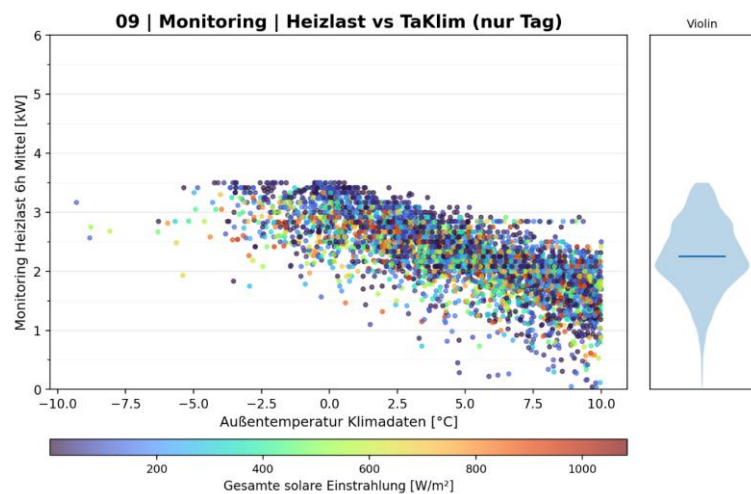


Abbildung 13-74 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 09

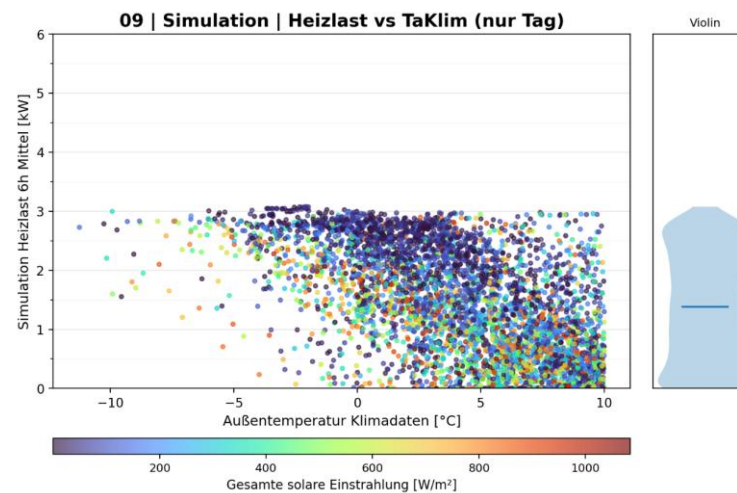


Abbildung 13-75 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 09

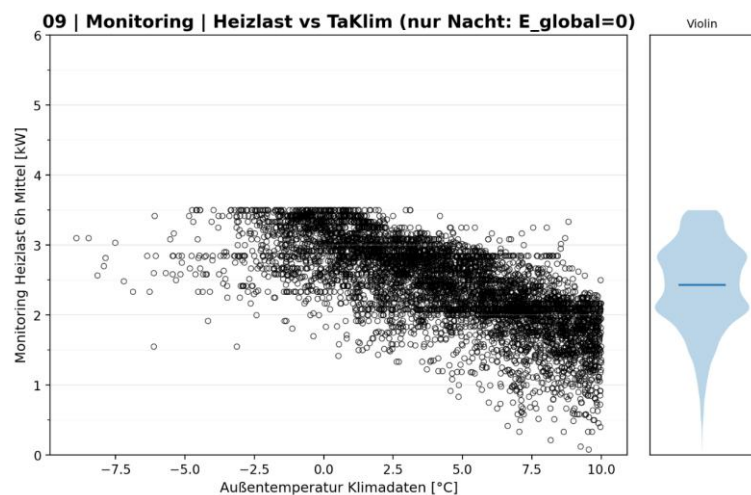


Abbildung 13-76 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 09

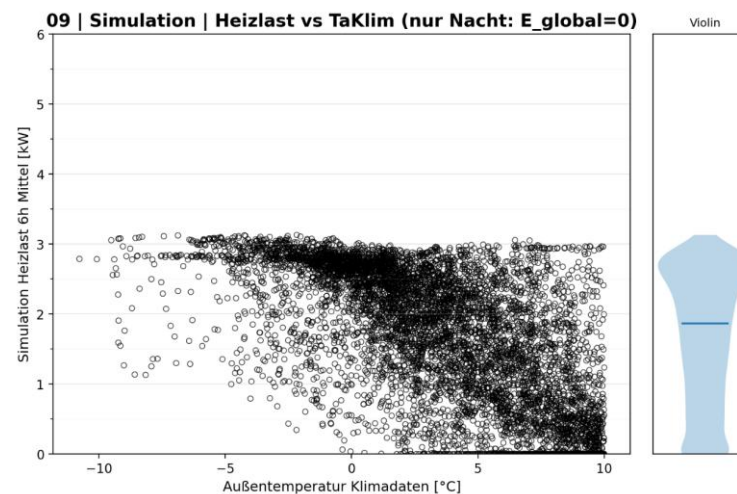


Abbildung 13-77 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 09

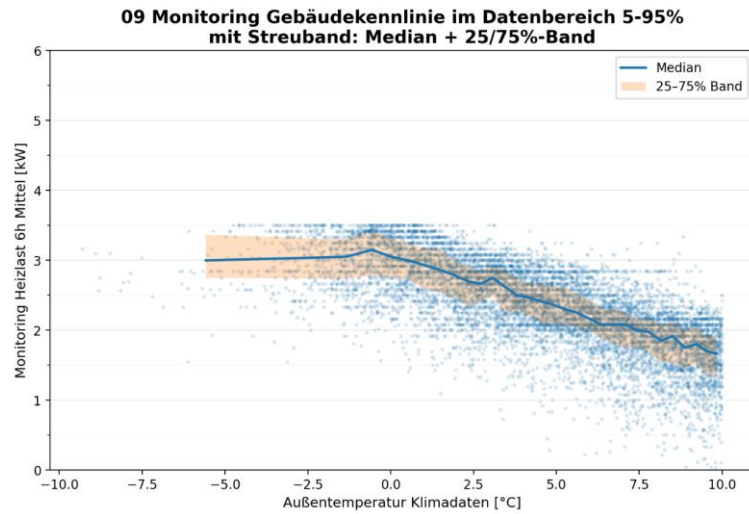


Abbildung 13-78 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 09

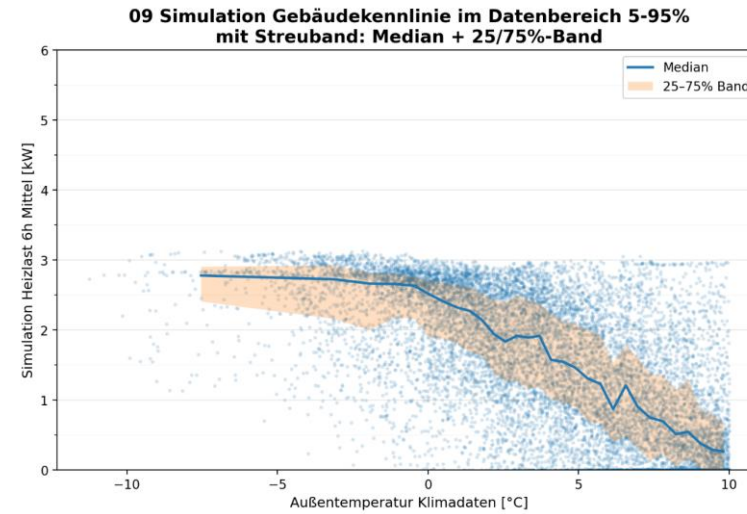


Abbildung 13-79 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 09

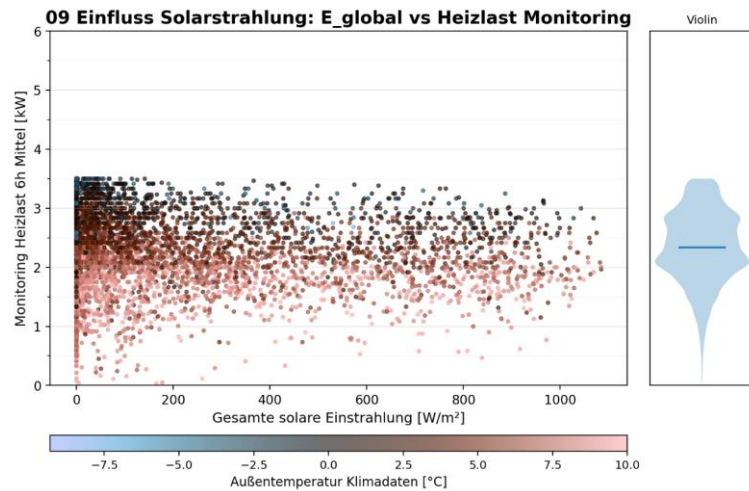


Abbildung 13-80 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 09

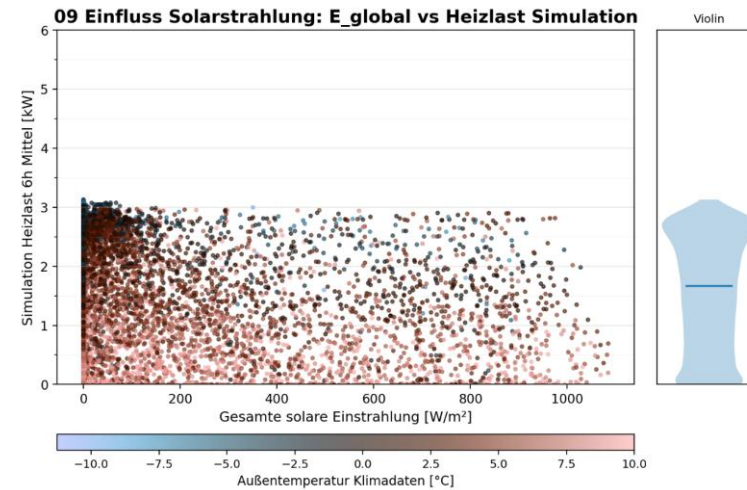


Abbildung 13-81 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation – Testgeb. 09

Testgebäude 10 (Bauweise schwer; RLT: ja)

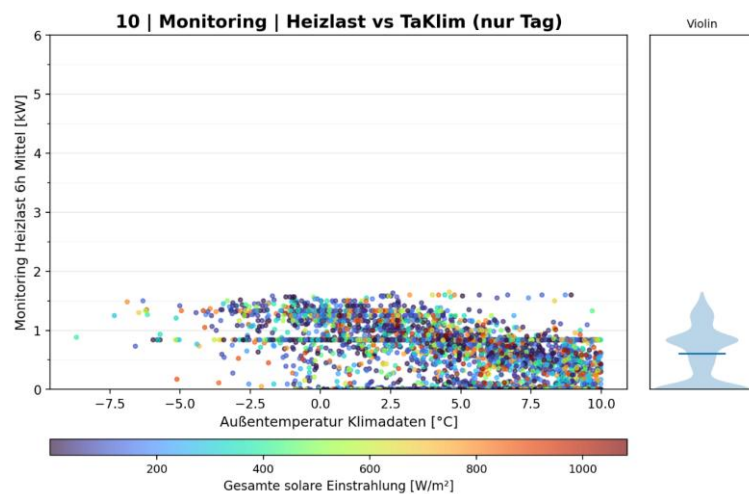


Abbildung 13-82 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 10

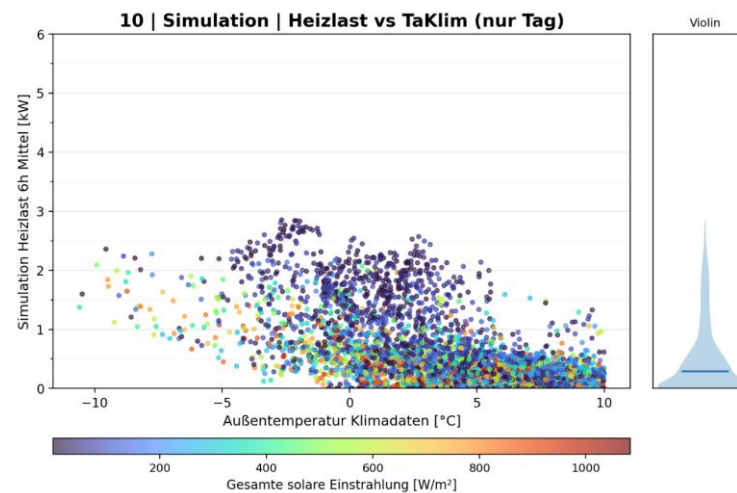


Abbildung 13-83 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb 10

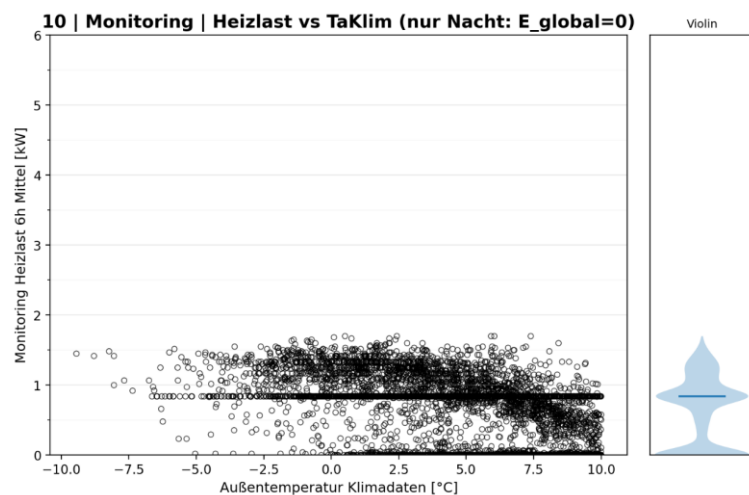


Abbildung 13-84 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 10

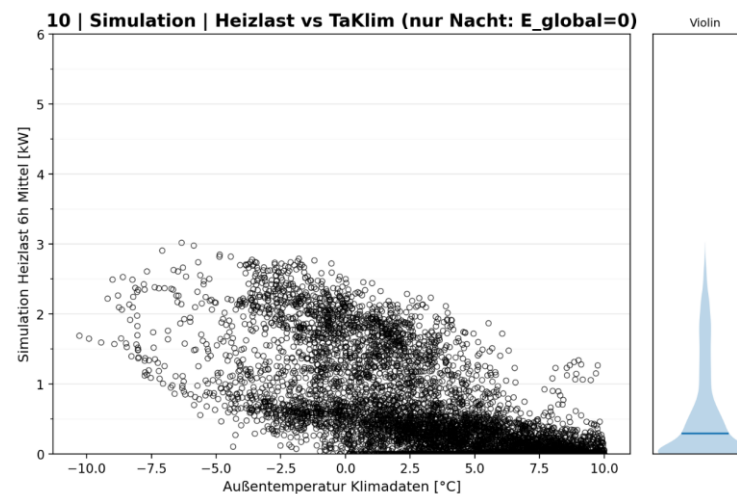


Abbildung 13-85 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 10

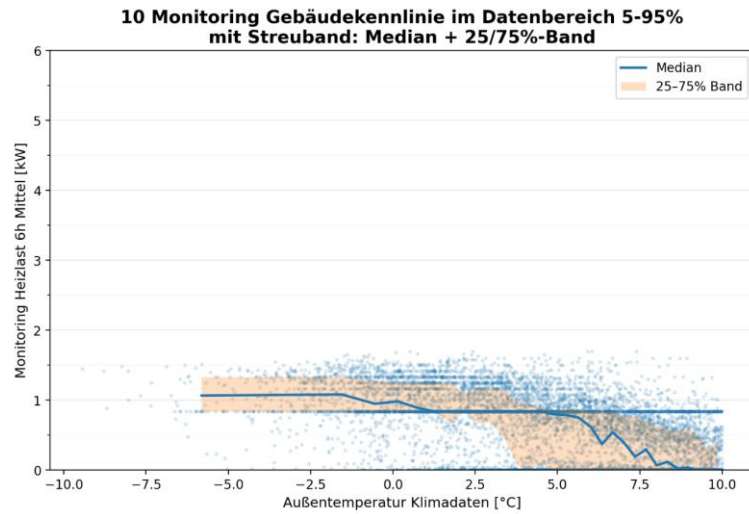


Abbildung 13-86 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 10

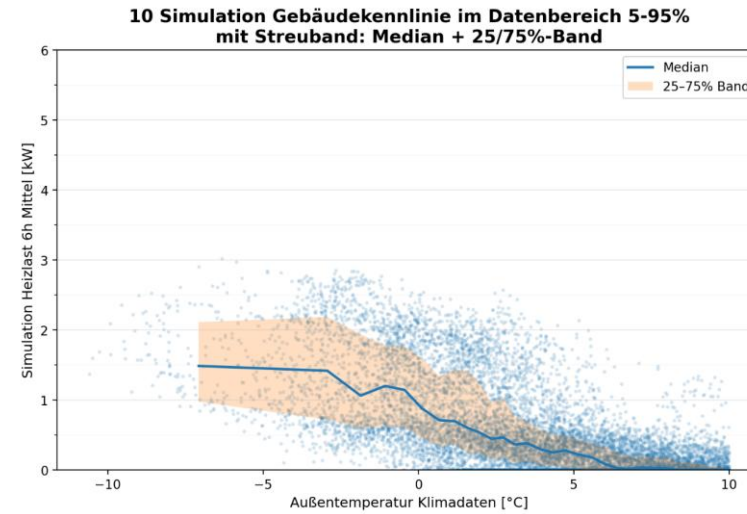


Abbildung 13-87 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 10

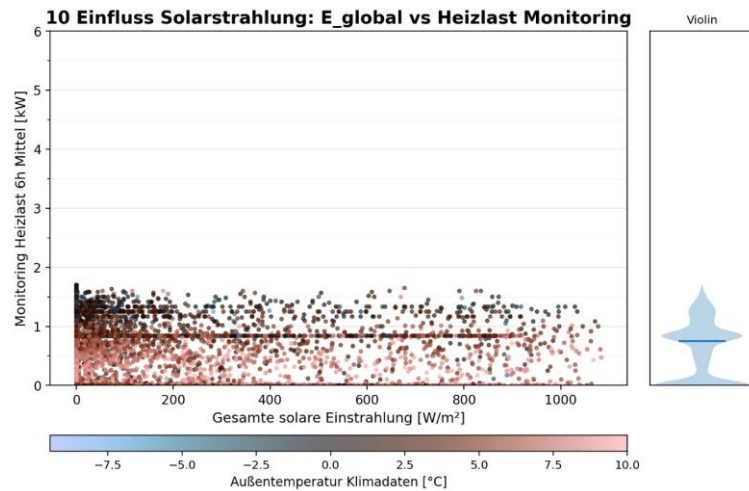


Abbildung 13-88 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 10

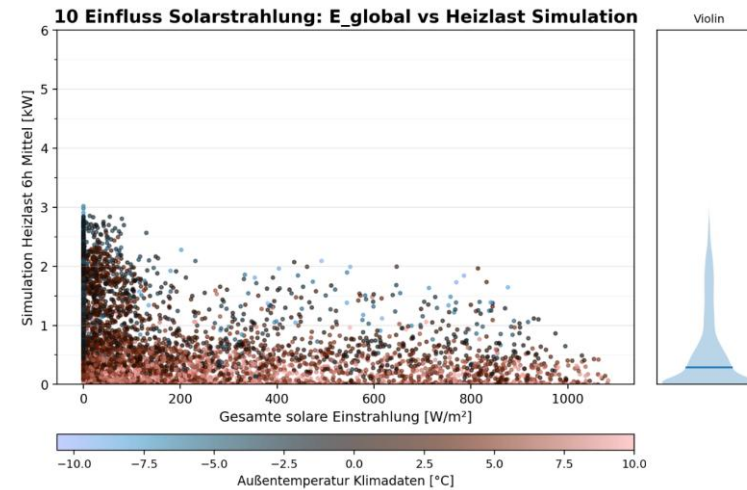


Abbildung 13-89 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 10

Testgebäude 11 (Bauweise schwer; RLT: nein)

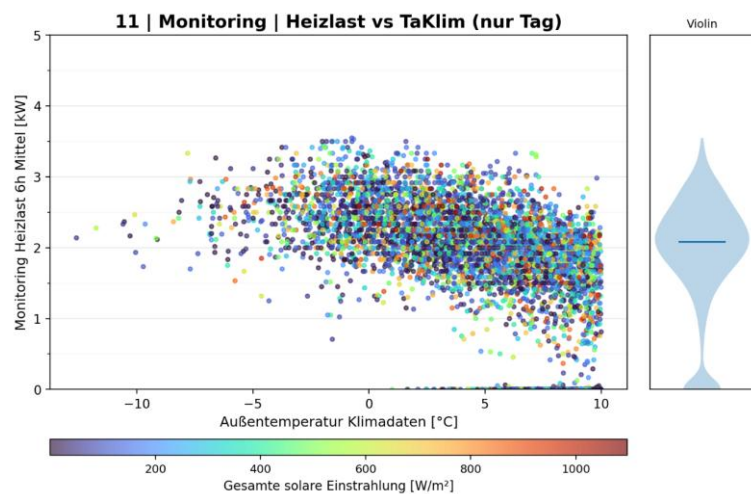


Abbildung 13-90 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 11

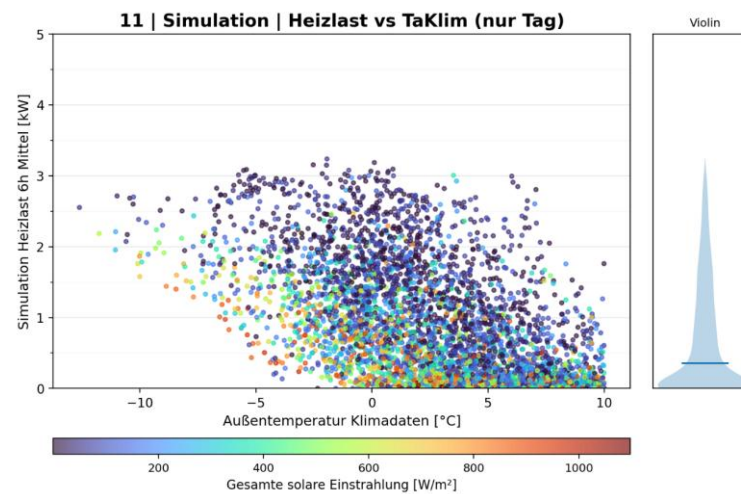


Abbildung 13-91 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 11

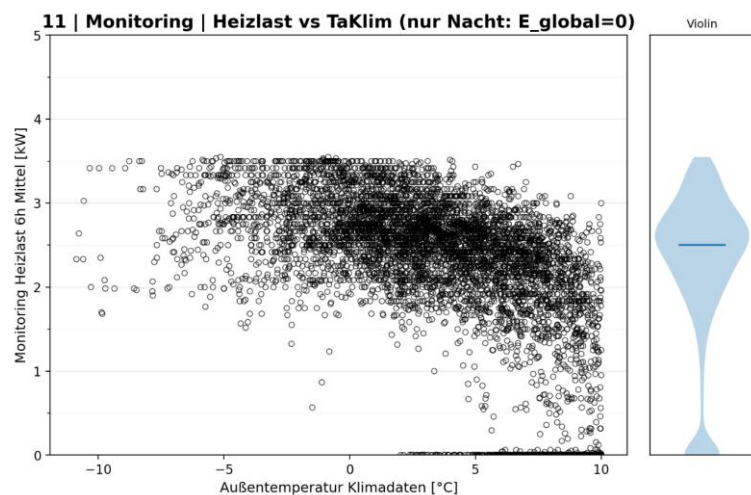


Abbildung 13-92 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 11

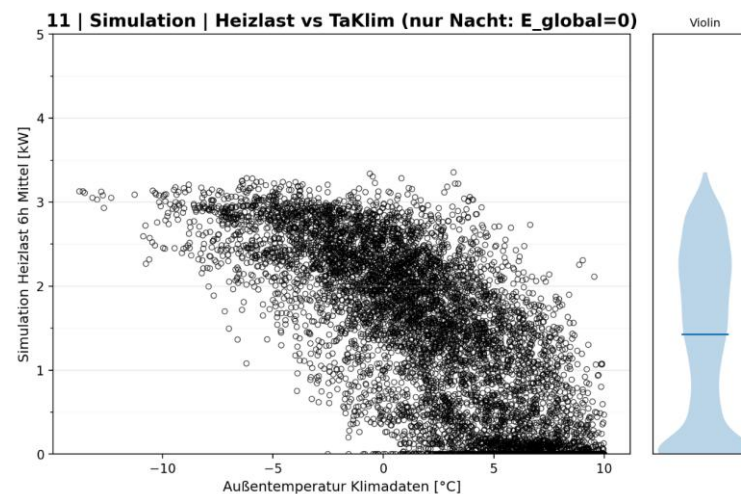


Abbildung 13-93 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 11

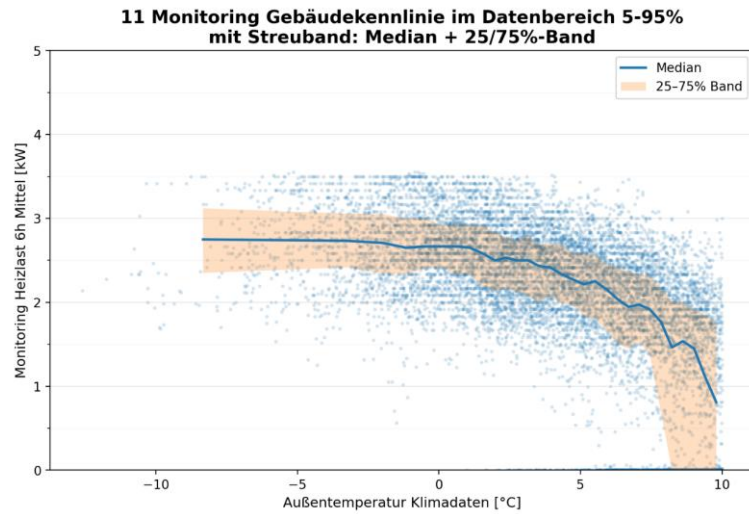


Abbildung 13-94 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 11

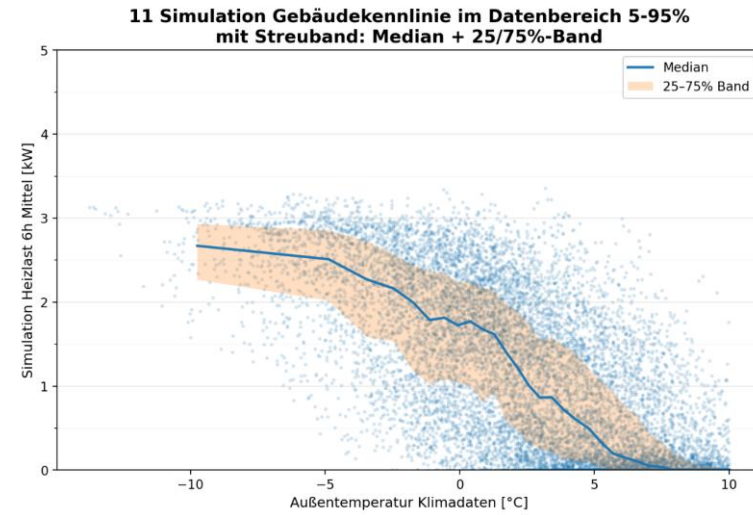


Abbildung 13-95 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 11

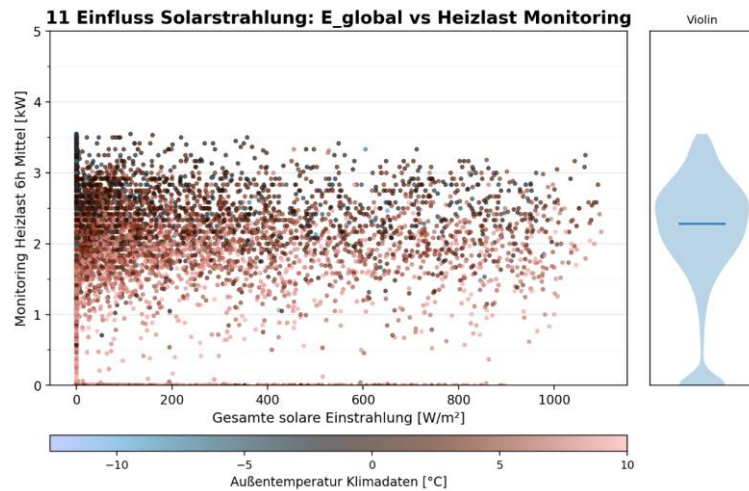


Abbildung 13-96 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 11

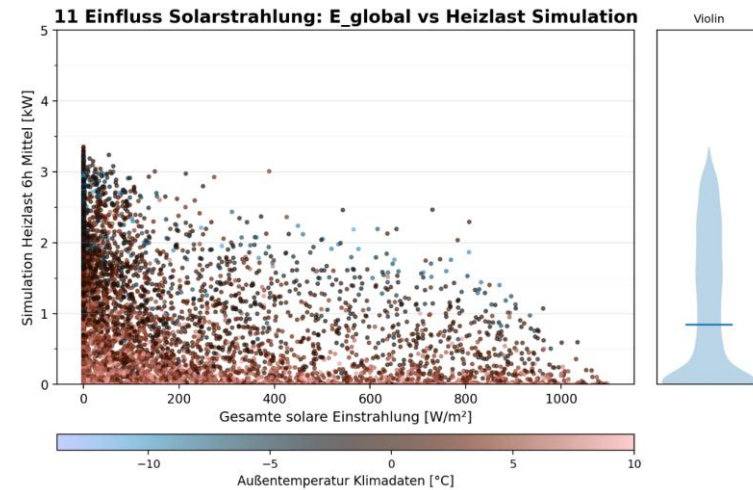


Abbildung 13-97 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 11

Testgebäude 12 (Bauweise mittelschwer; RLT: nein)

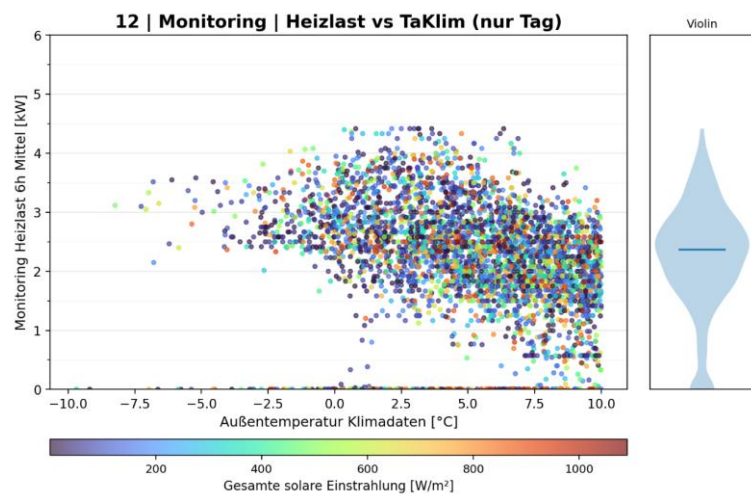


Abbildung 13-98 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 12

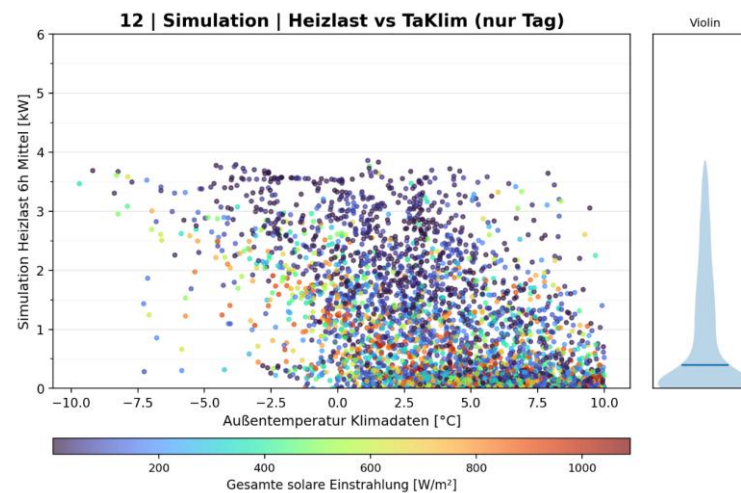


Abbildung 13-99 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb 12

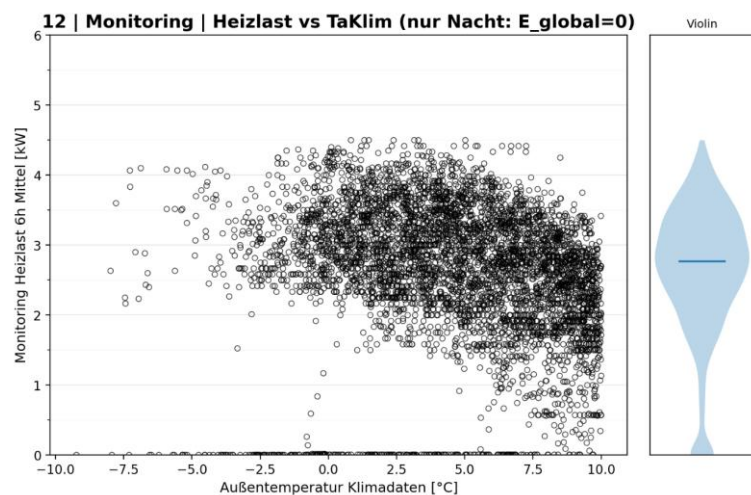


Abbildung 13-100 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 12

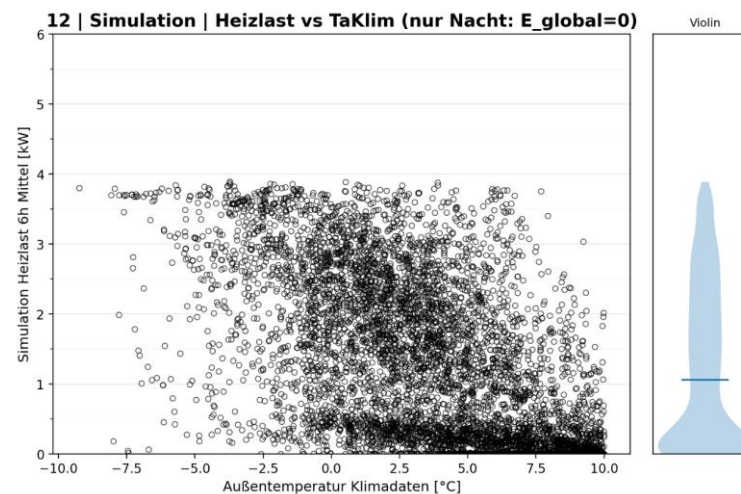


Abbildung 13-101 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 12

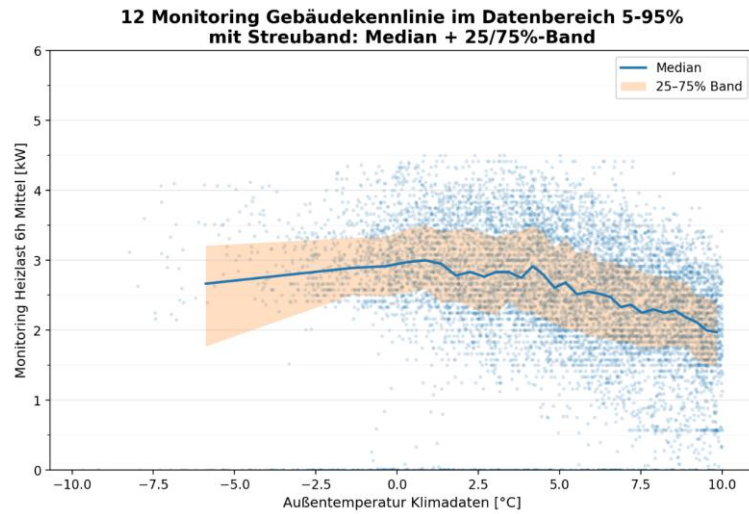


Abbildung 13-102 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 12

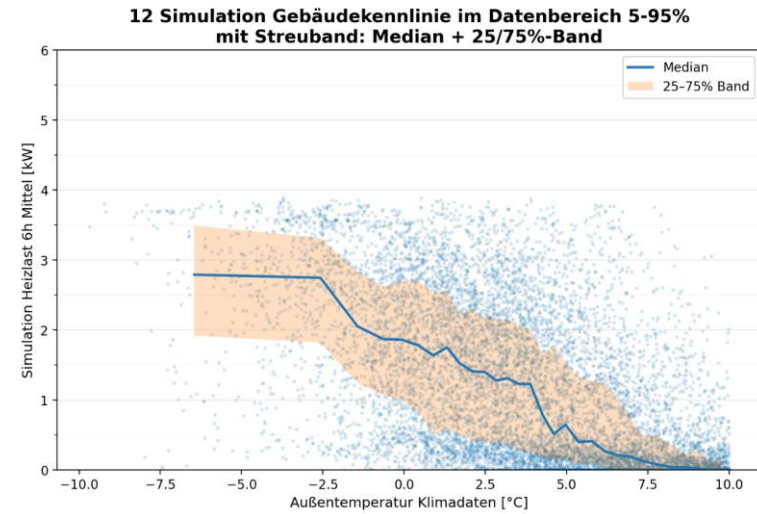


Abbildung 13-103 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 12

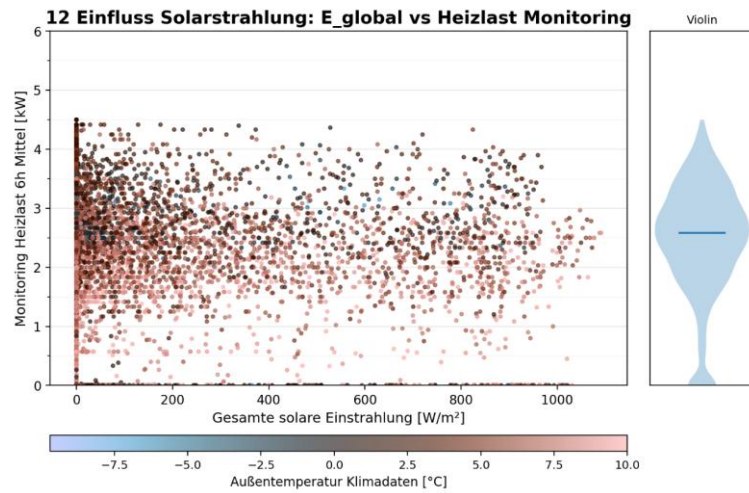


Abbildung 13-104 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 12

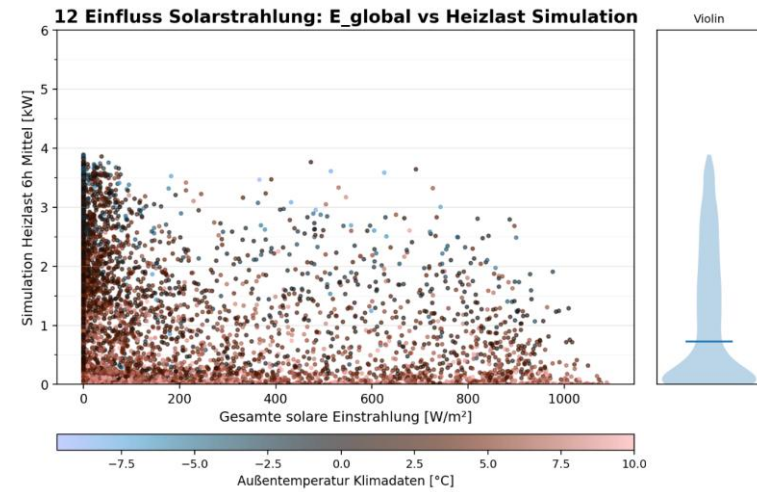


Abbildung 13-105 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 12

Testgebäude 13 (Bauweise schwer; RLT: ja)

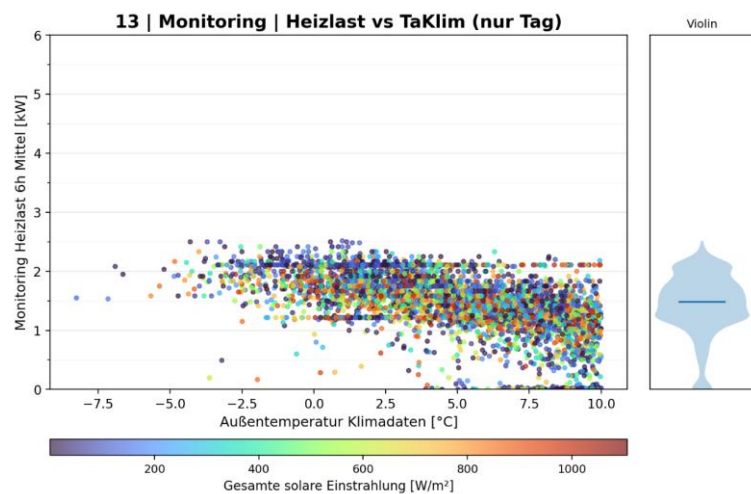


Abbildung 13-106 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 13

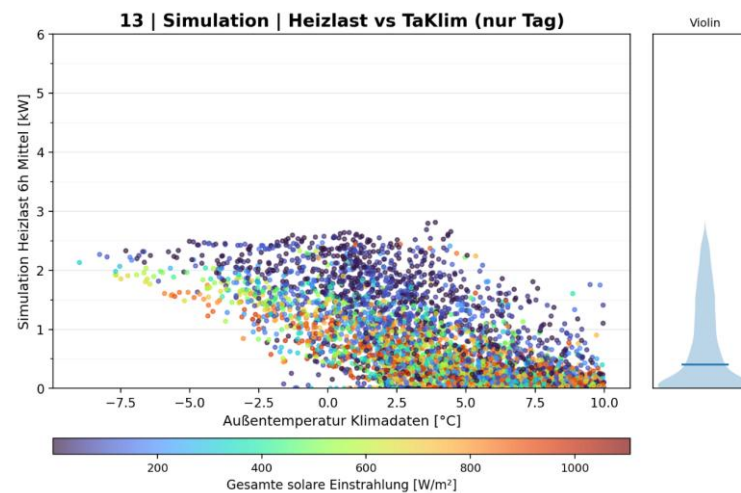


Abbildung 13-107 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 13

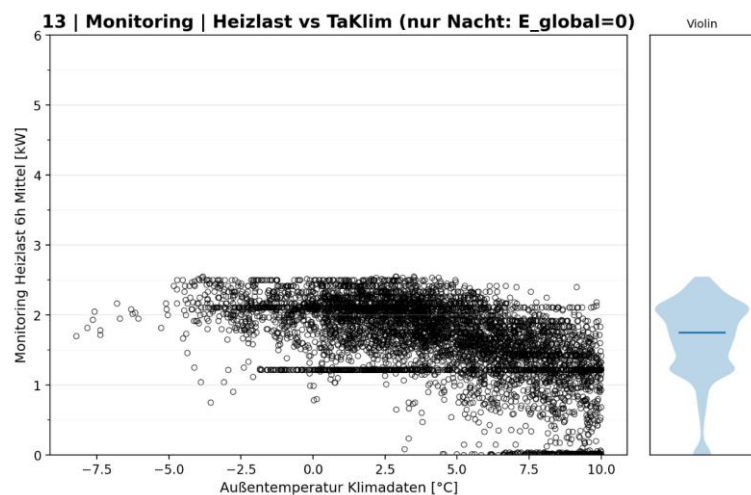


Abbildung 13-108 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 13

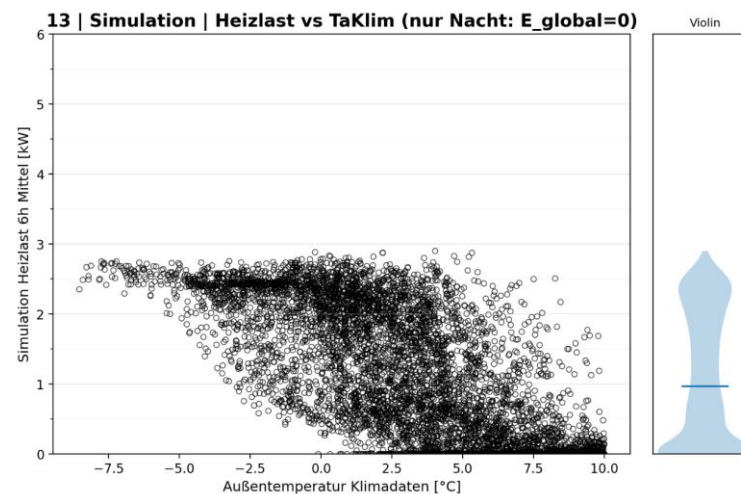


Abbildung 13-109 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 13

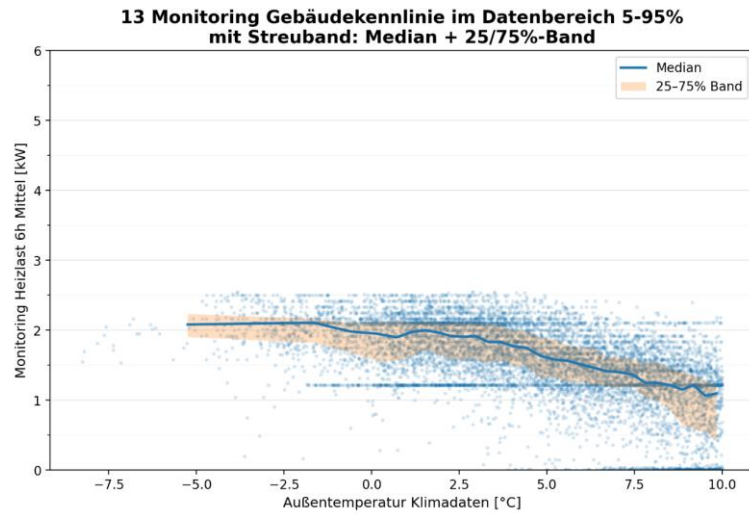


Abbildung 13-110 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 13

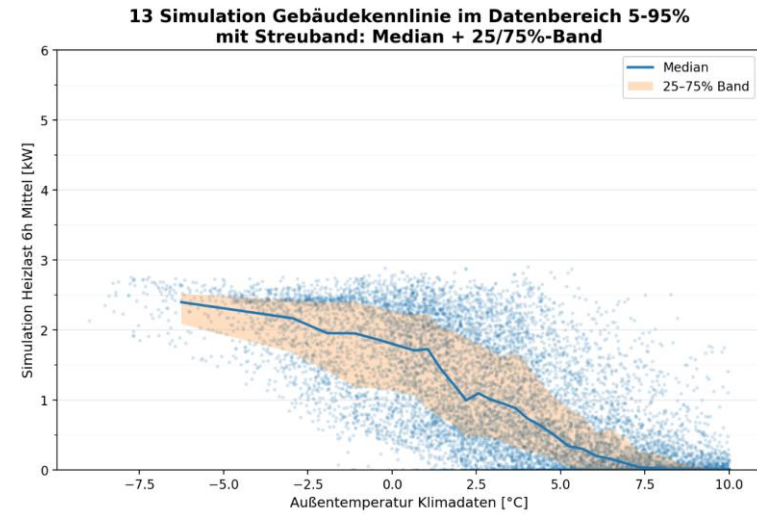


Abbildung 13-111 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 13

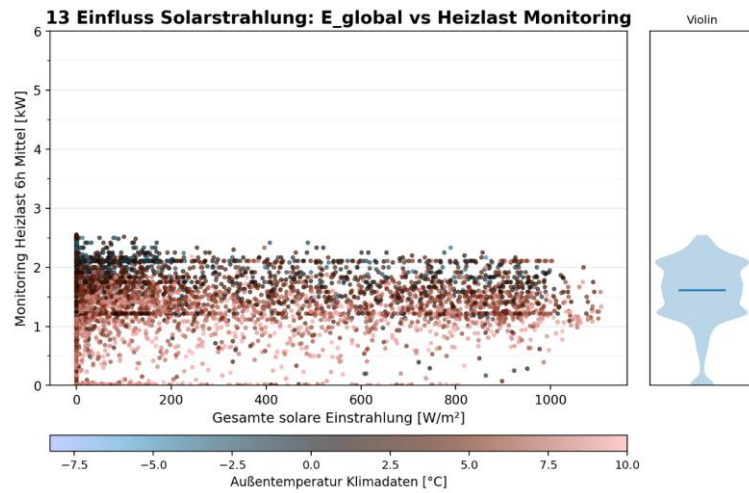


Abbildung 13-112 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 13

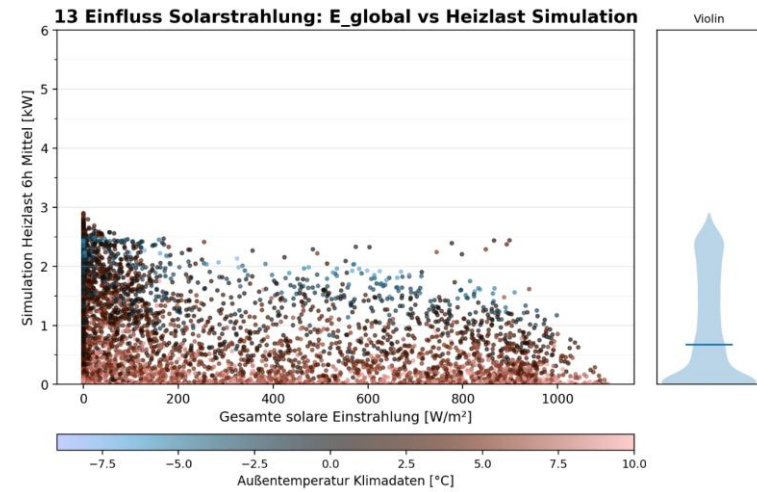


Abbildung 13-113 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 13

Testgebäude 14 (Bauweise mittelschwer; RLT: nein)

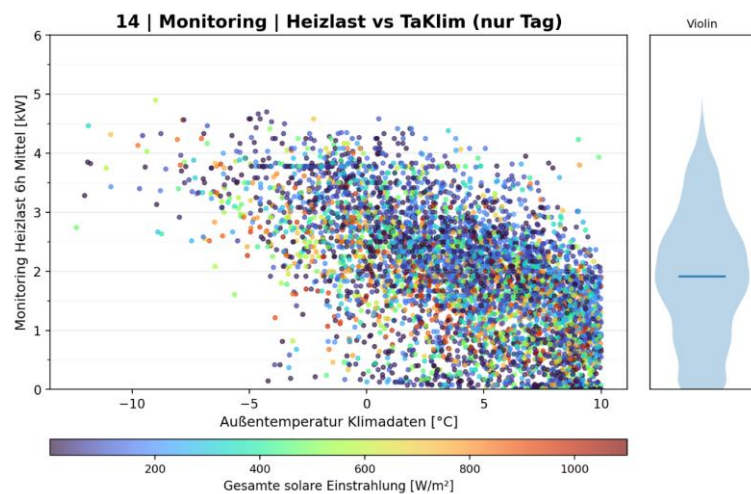


Abbildung 13-114 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 14

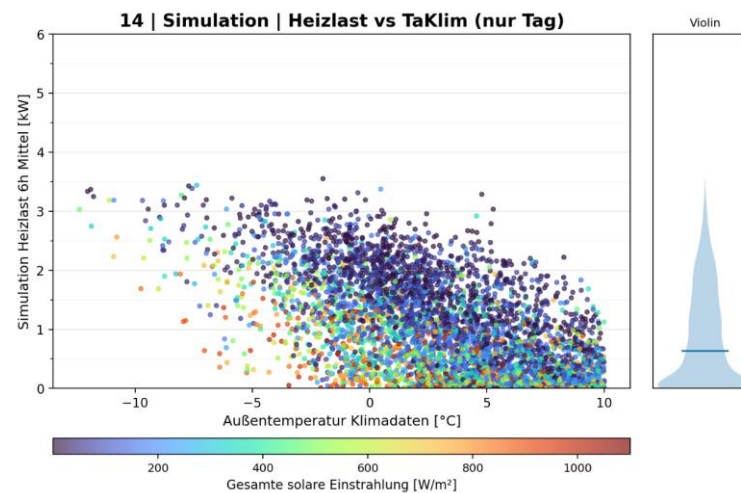


Abbildung 13-115 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 14

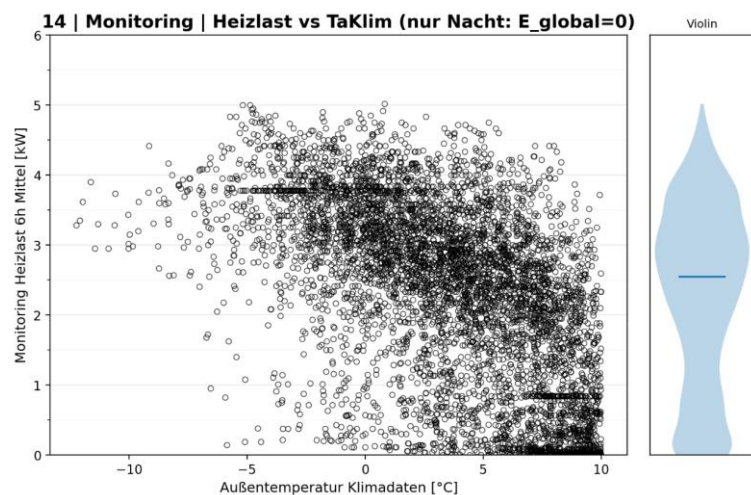


Abbildung 13-116 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 14

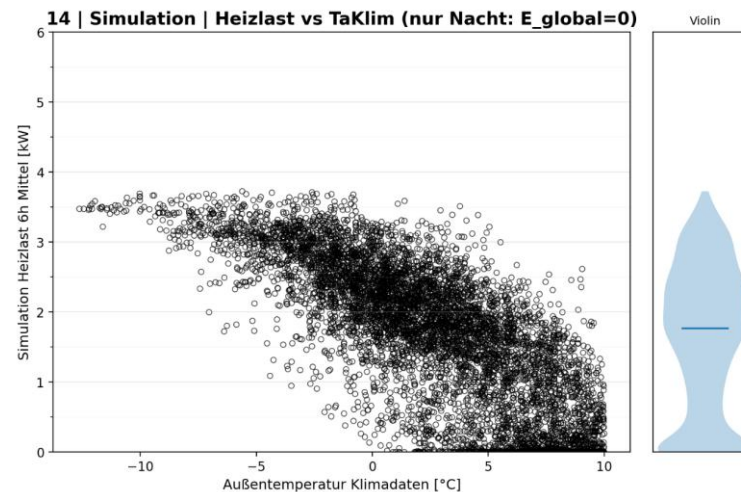


Abbildung 13-117 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 14

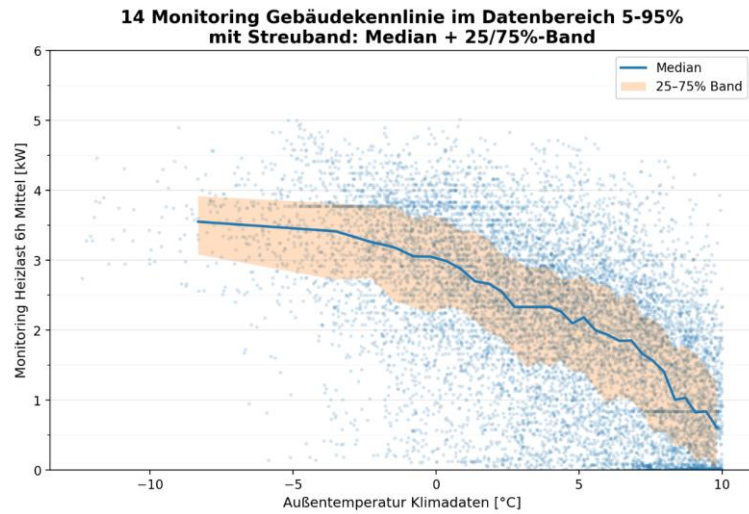


Abbildung 13-118 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 14

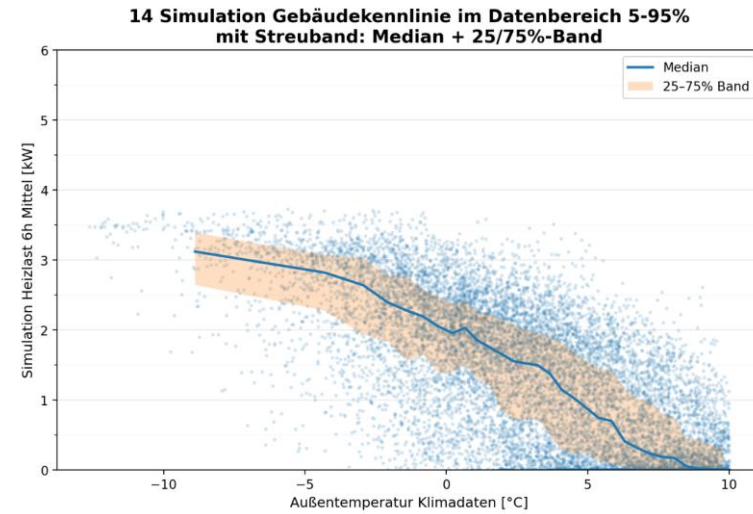


Abbildung 13-119 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 14

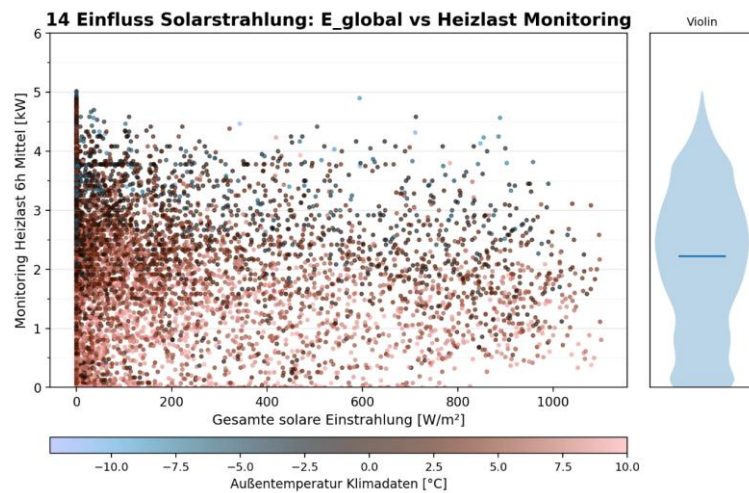


Abbildung 13-120 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 14

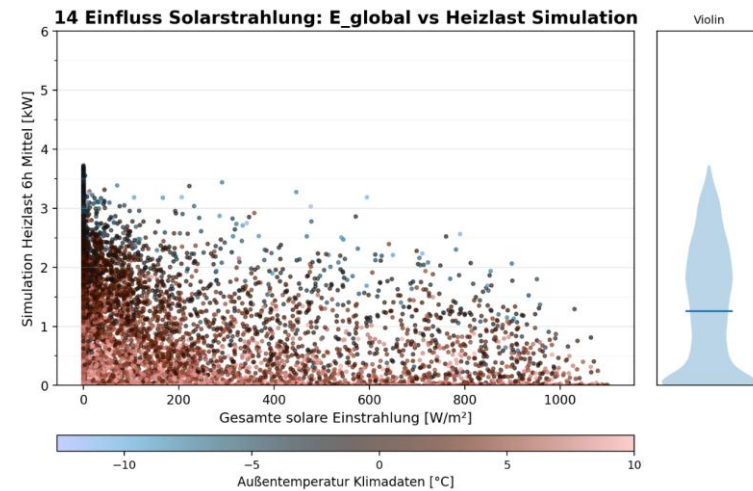


Abbildung 13-121 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 14

Testgebäude 15 (Bauweise schwer; RLT: ja)

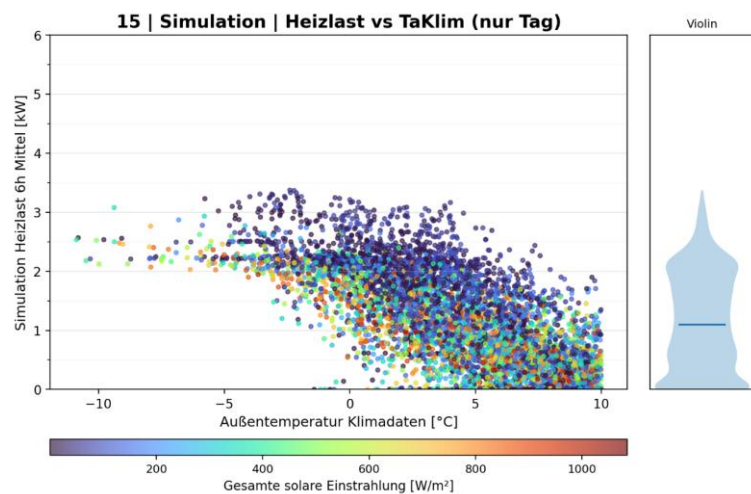


Abbildung 13-122 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 15

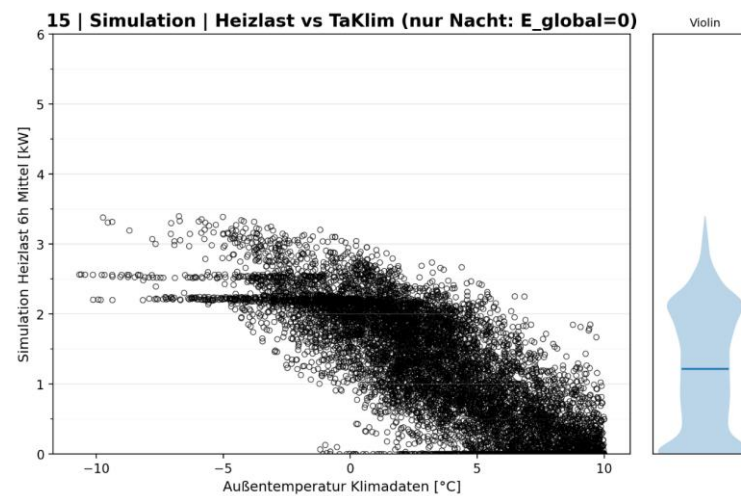


Abbildung 13-123 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 15

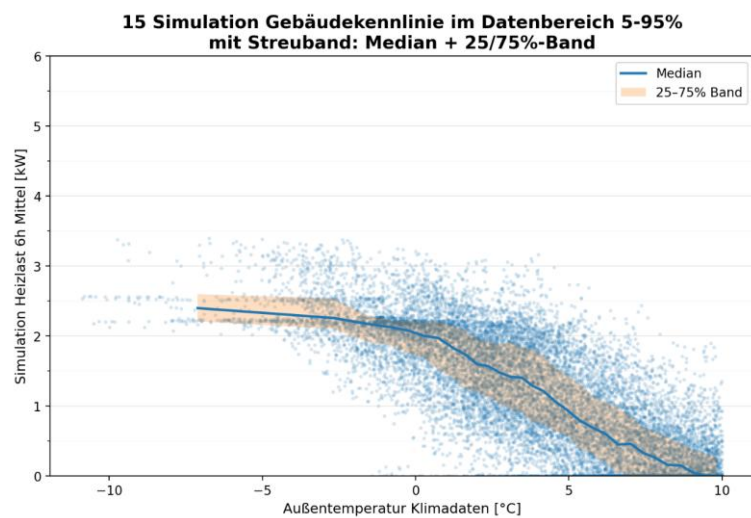


Abbildung 13-124 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 15

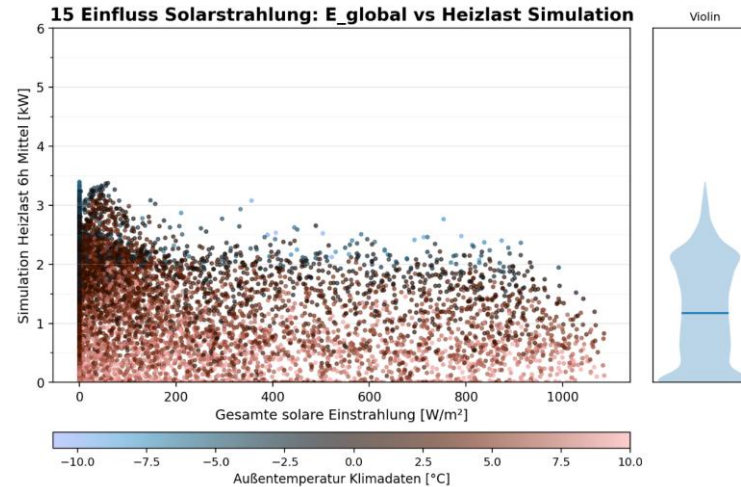


Abbildung 13-125 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 15

Testgebäude 16 (Bauweise schwer; RLT: ja)

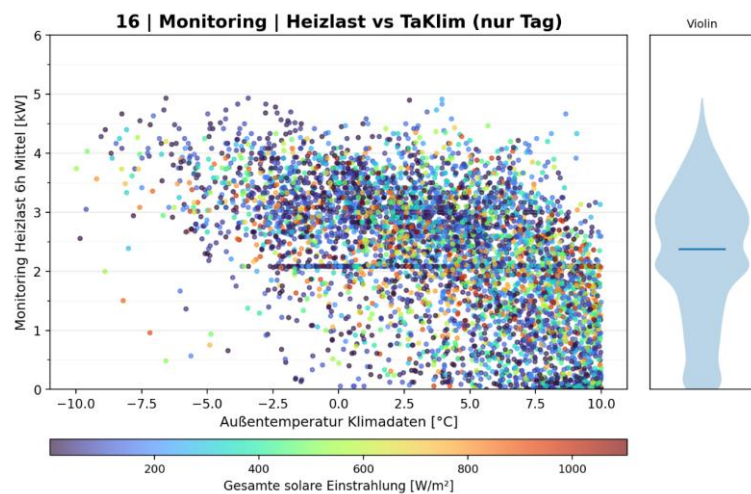


Abbildung 13-126 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 16

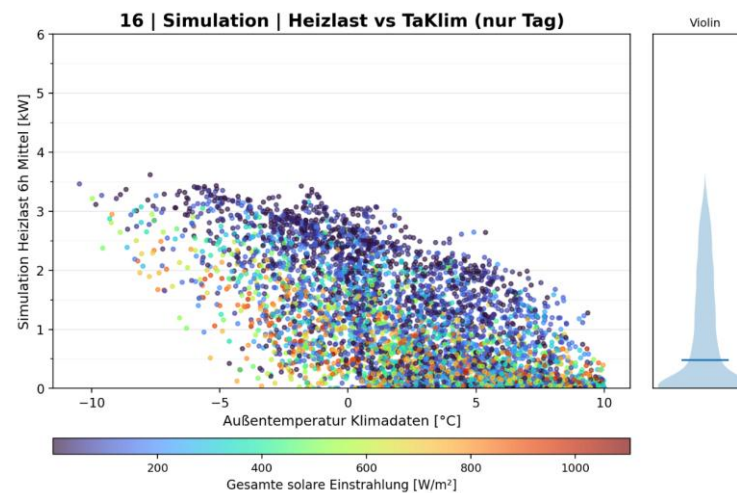


Abbildung 13-127 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 16

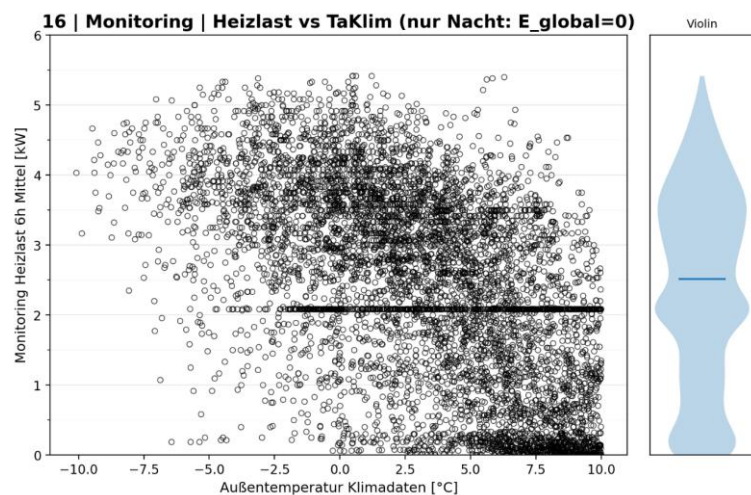


Abbildung 13-128 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 16

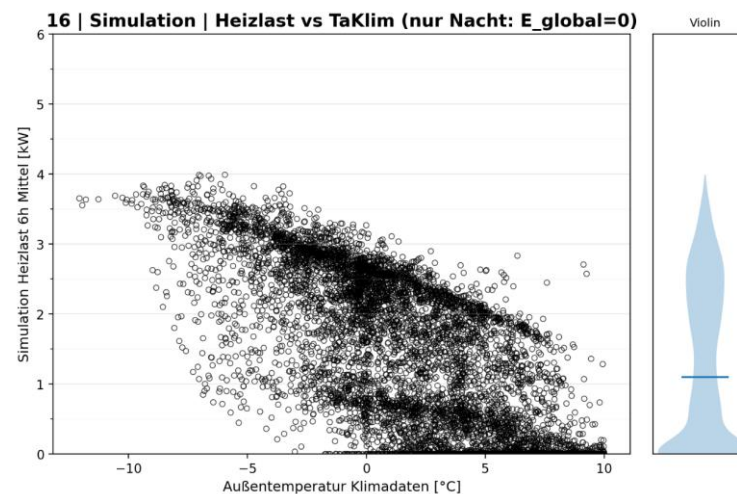


Abbildung 13-129 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 16

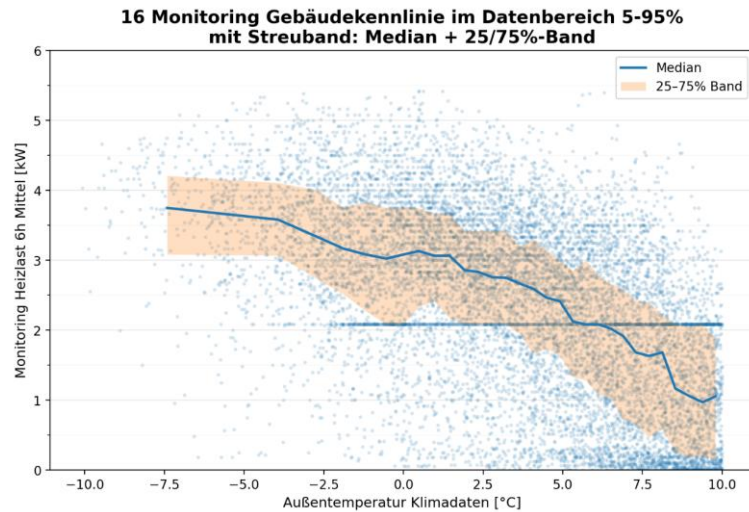


Abbildung 13-130 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 16

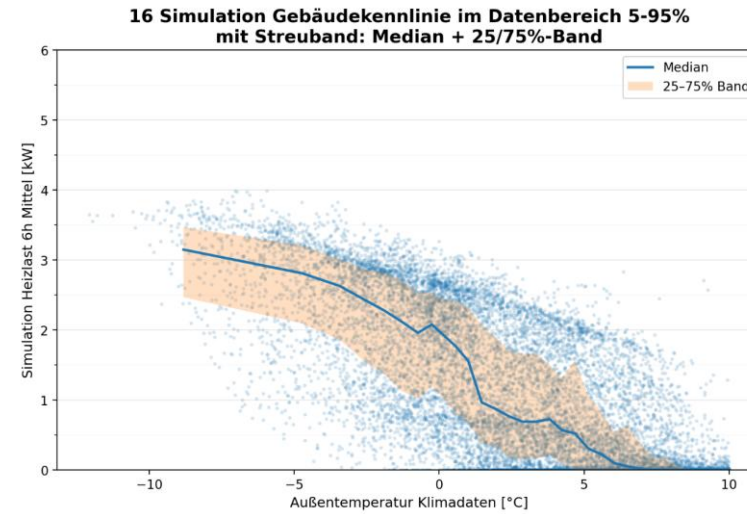


Abbildung 13-131 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 16

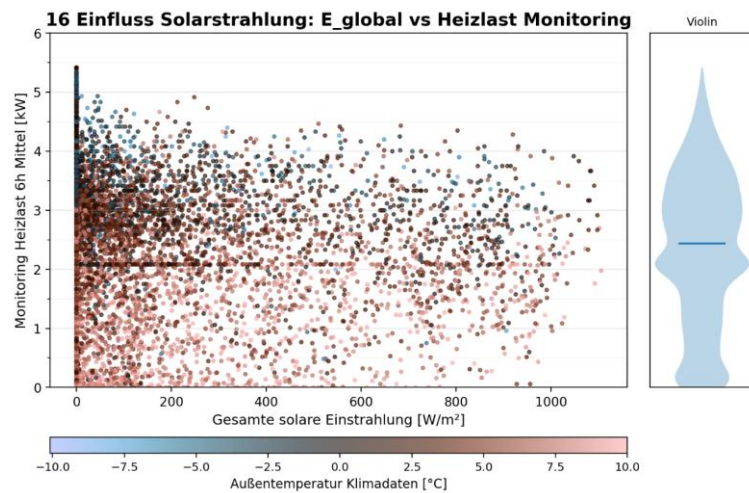


Abbildung 13-132 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 16

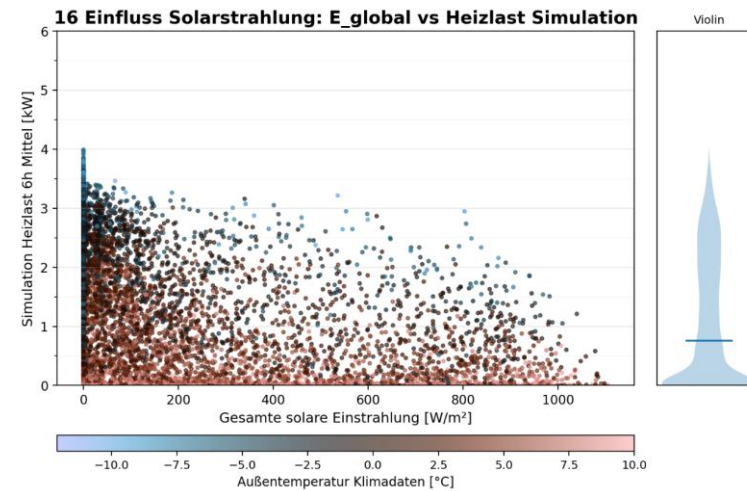


Abbildung 13-133 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 16

Testgebäude 17 (Bauweise schwer; RLT: nein)

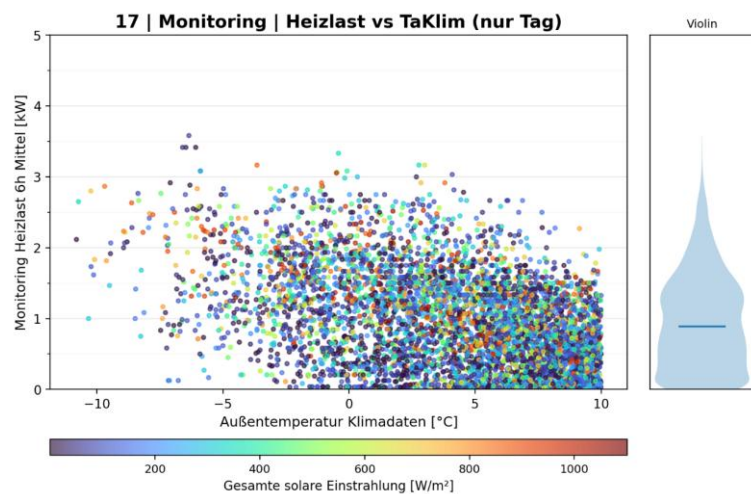


Abbildung 13-134 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 17

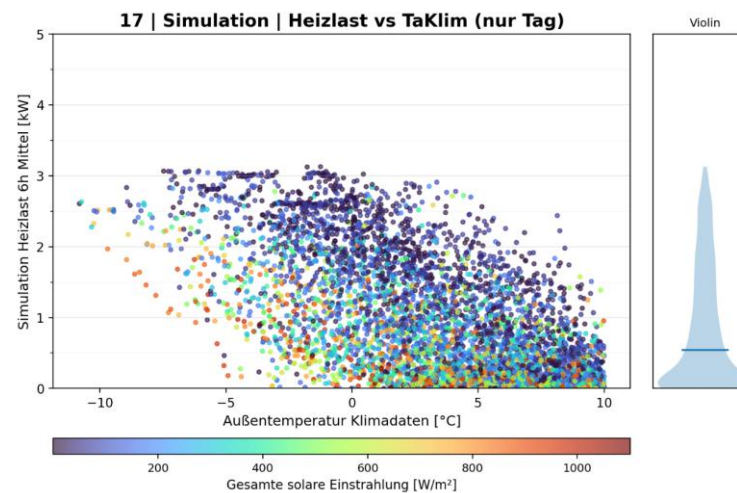


Abbildung 13-135 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 17

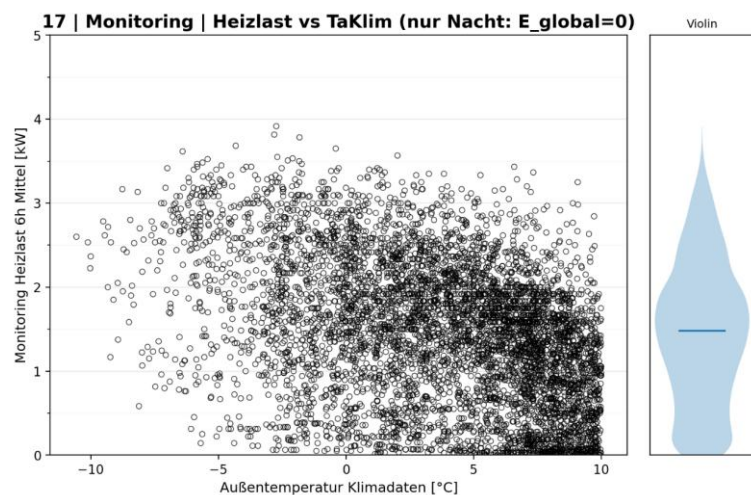


Abbildung 13-136 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 17

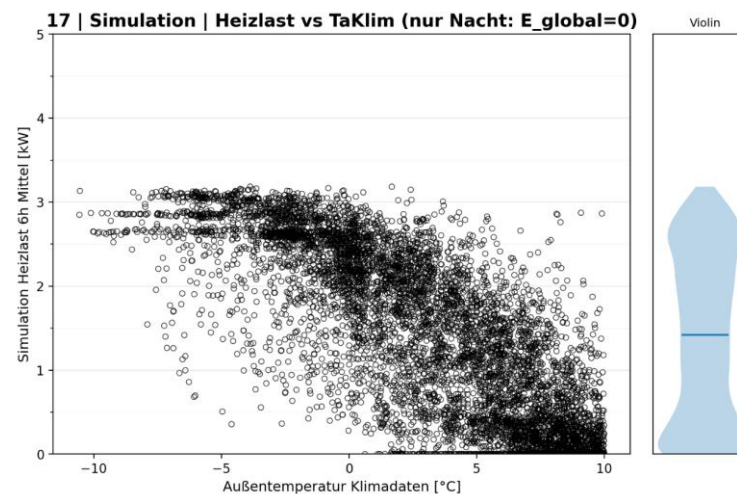


Abbildung 13-137 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 17

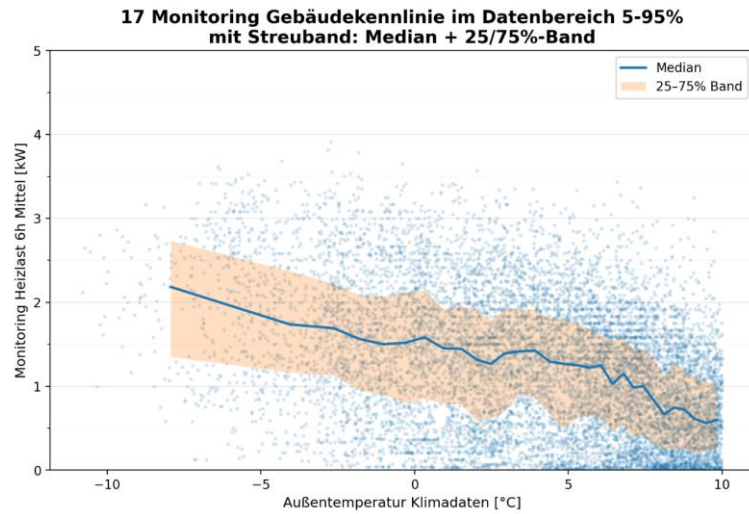


Abbildung 13-138 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 17

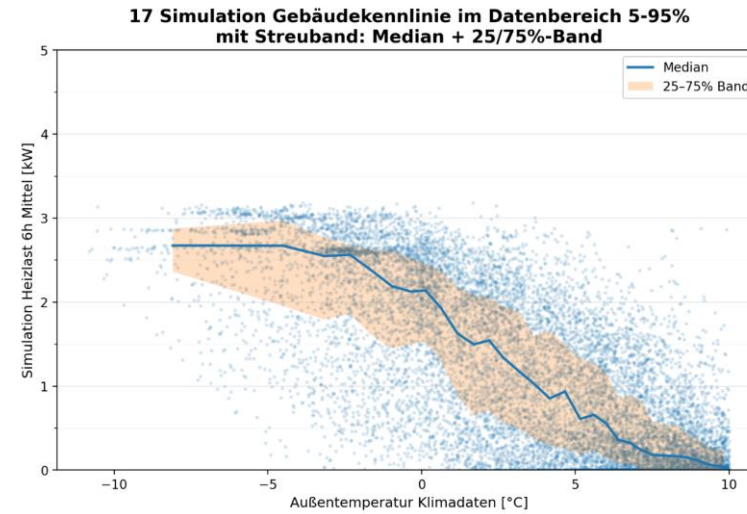


Abbildung 13-139 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 17

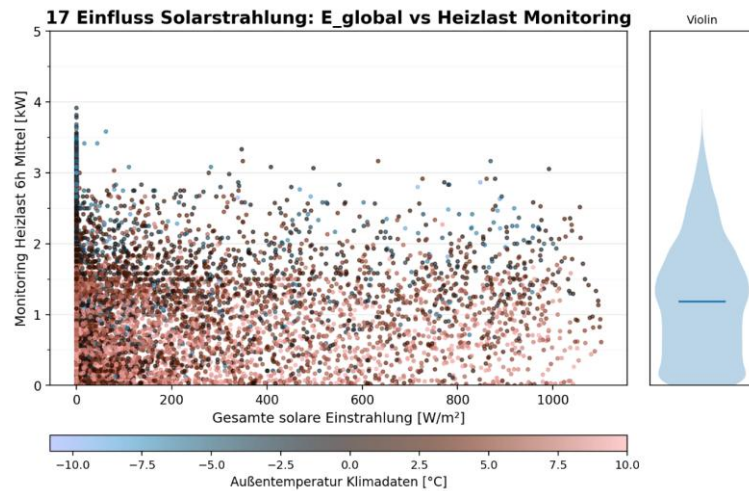


Abbildung 13-140 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 17

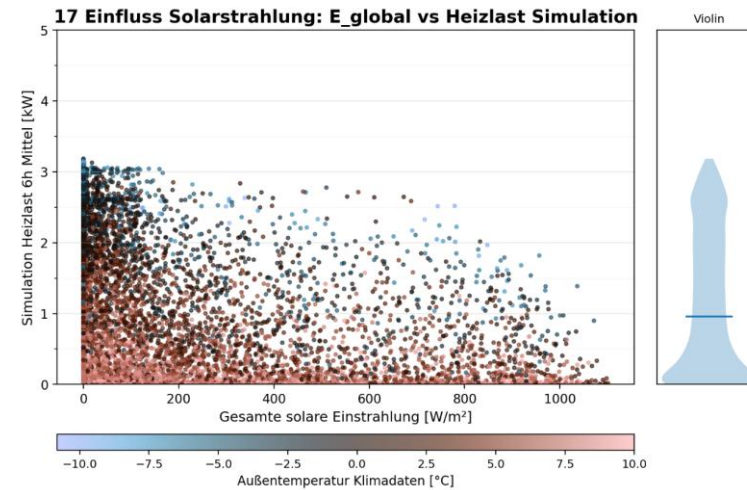


Abbildung 13-141 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 17

Testgebäude 18 (Bauweise schwer; RLT: nein)

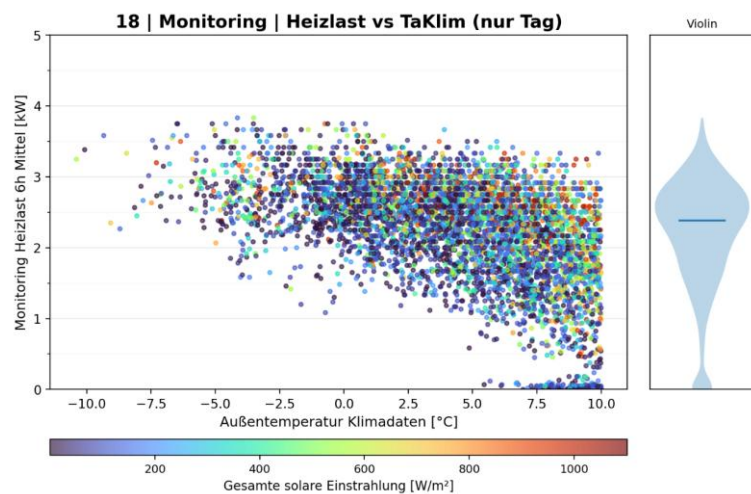


Abbildung 13-142 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 18

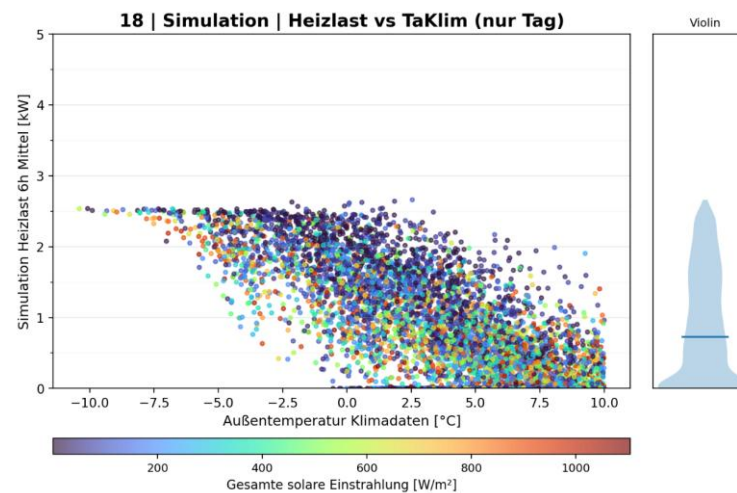


Abbildung 13-143 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 18

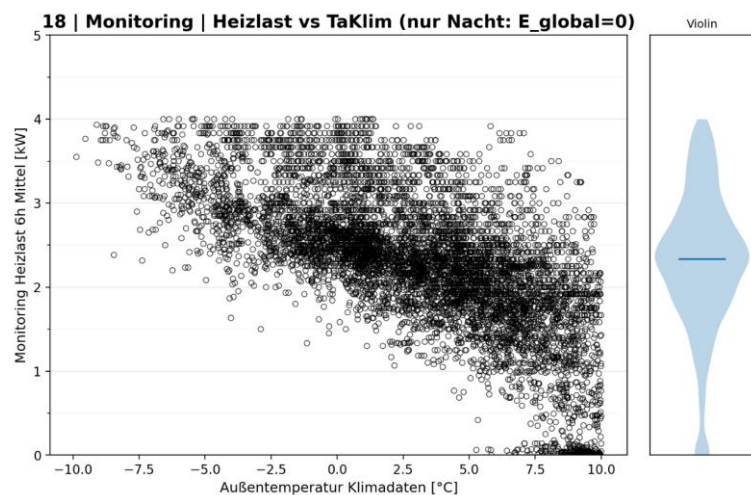


Abbildung 13-144 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 18

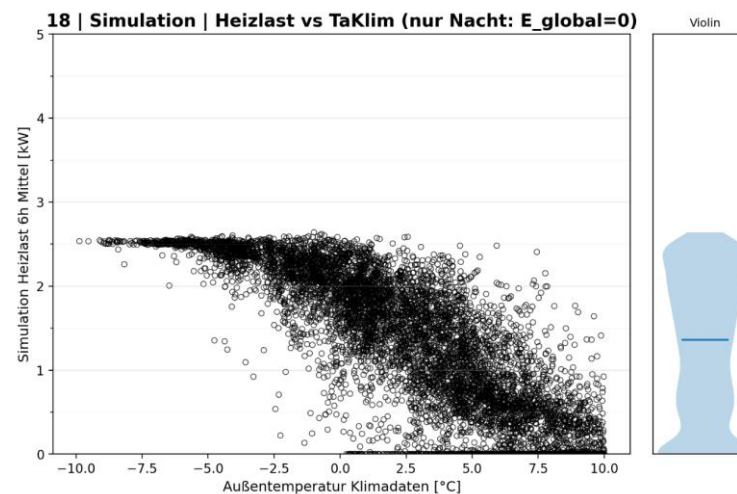


Abbildung 13-145 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 18

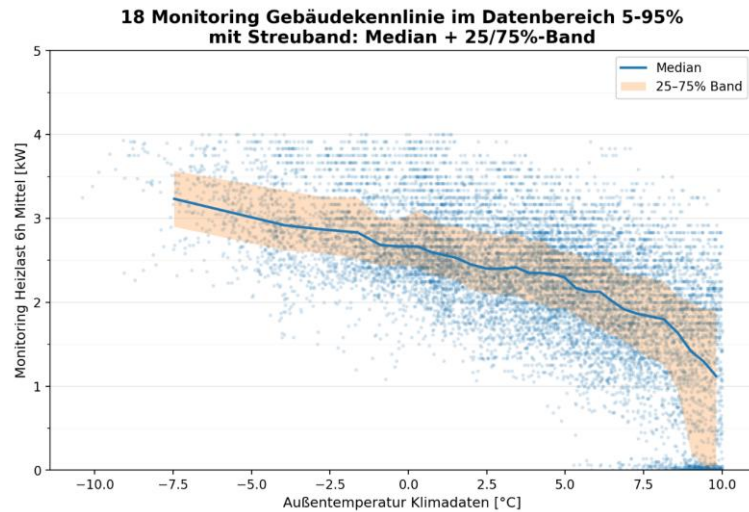


Abbildung 13-146 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 18

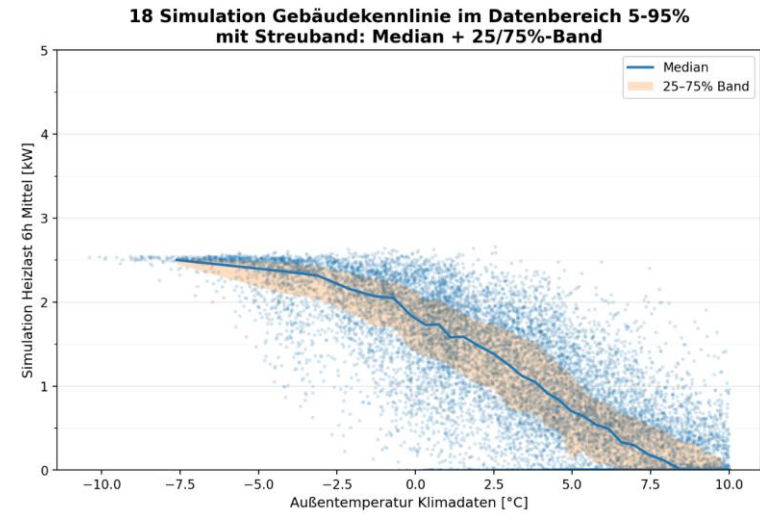


Abbildung 13-147 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 18

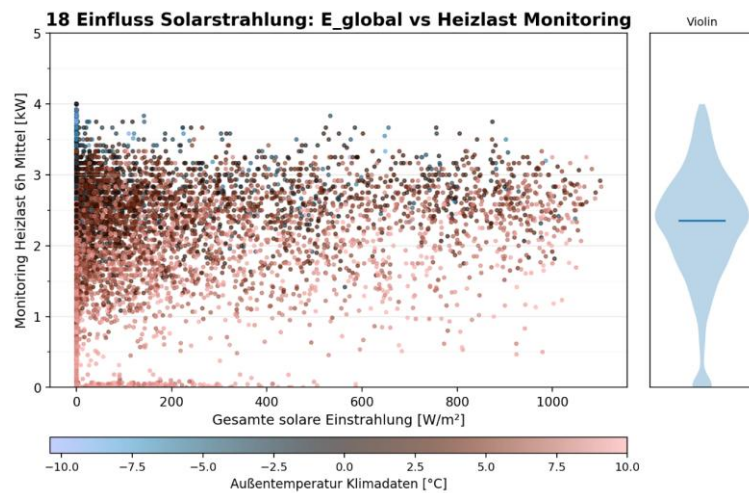


Abbildung 13-148 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 18

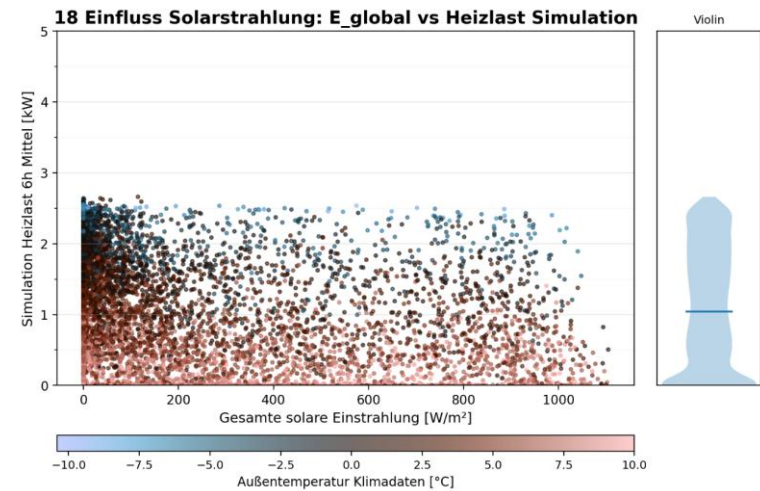


Abbildung 13-149 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 18

Testgebäude 19 (Bauweise schwer; RLT: ja)

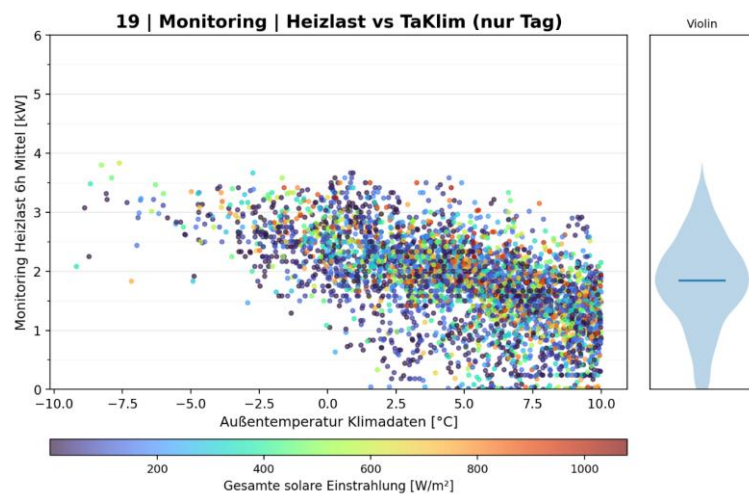


Abbildung 13-150 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 19

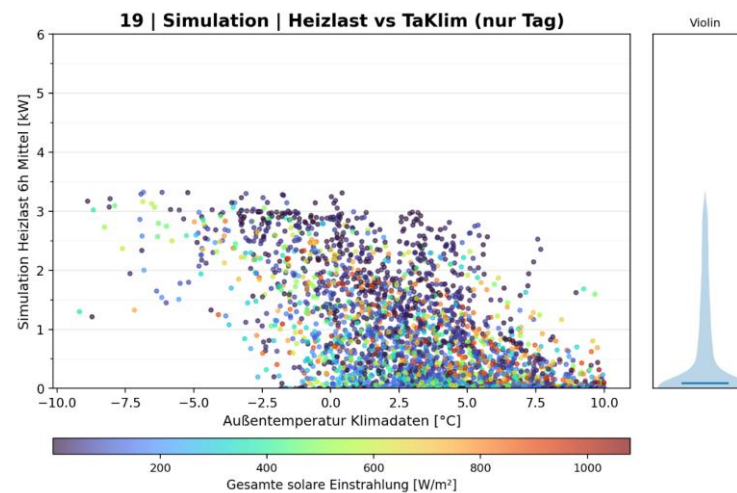


Abbildung 13-151 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 19

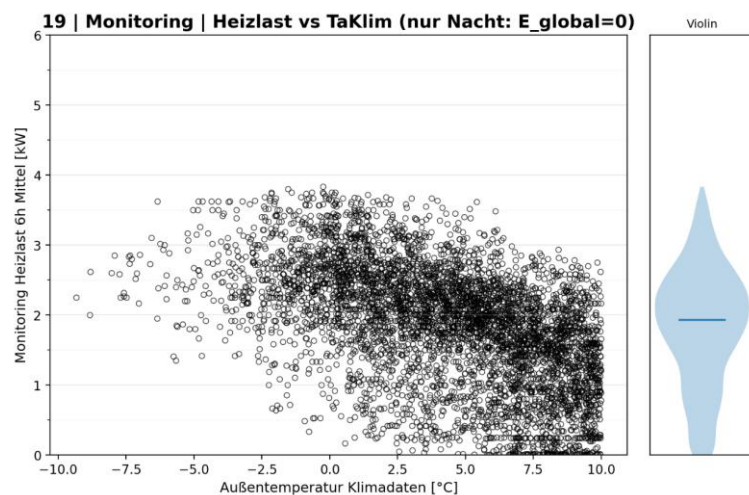


Abbildung 13-152 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 19

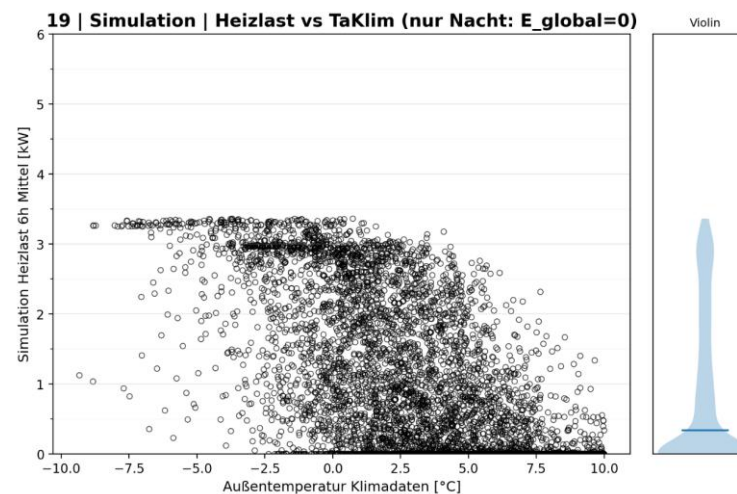


Abbildung 13-153 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 19

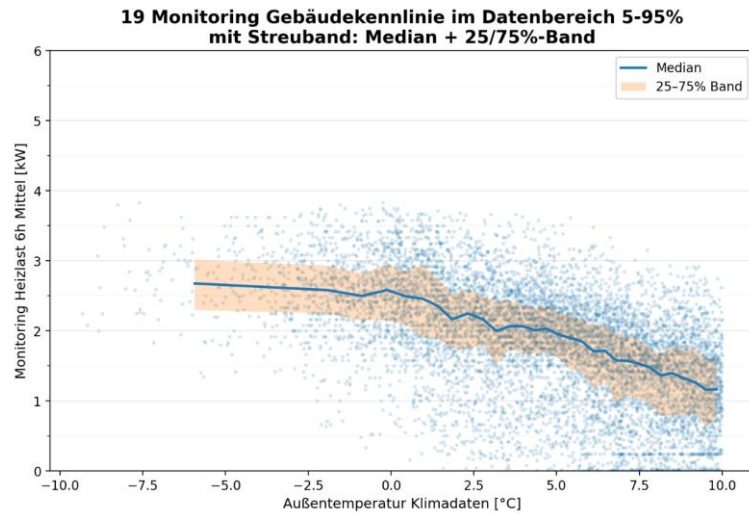


Abbildung 13-154 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 19

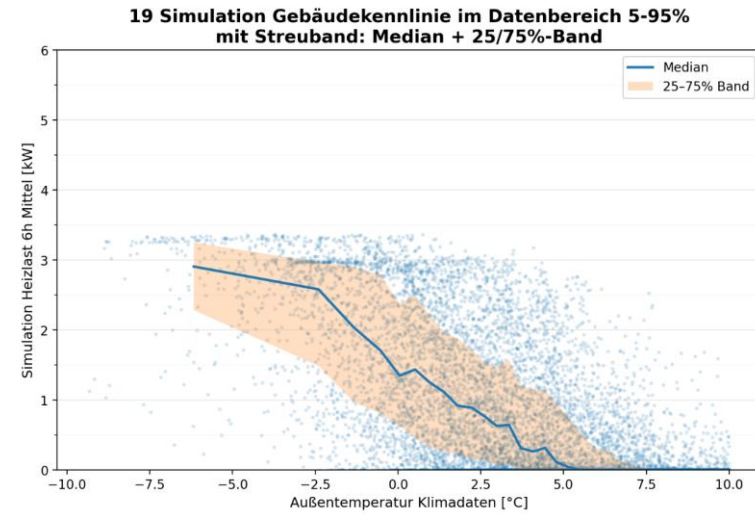


Abbildung 13-155 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 19

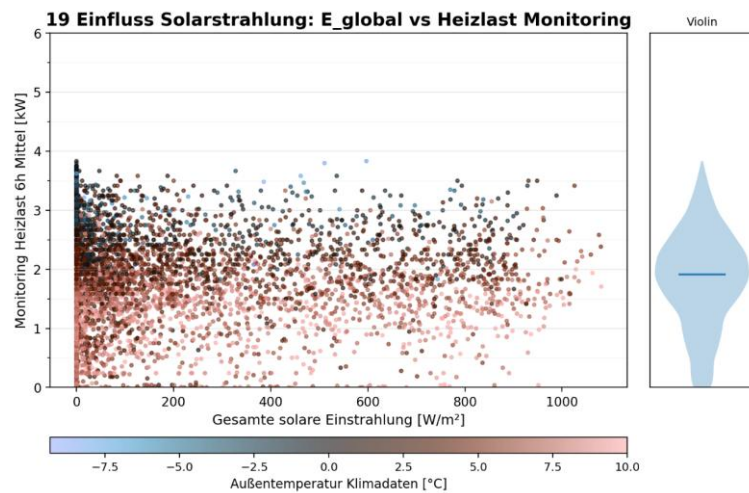


Abbildung 13-156 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 19

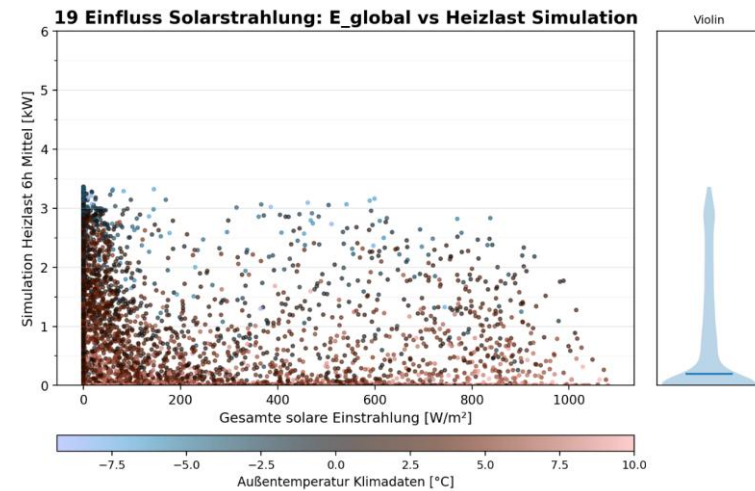


Abbildung 13-157 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 19

Testgebäude 20 (Bauweise mittelschwer; RLT: ja)

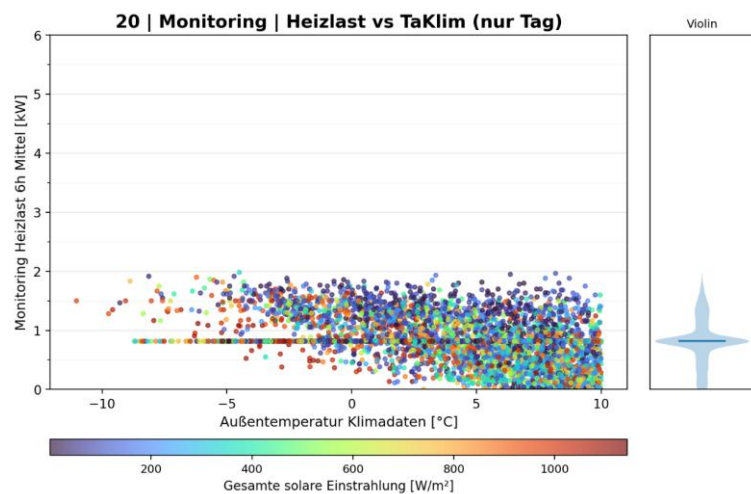


Abbildung 13-158 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 20

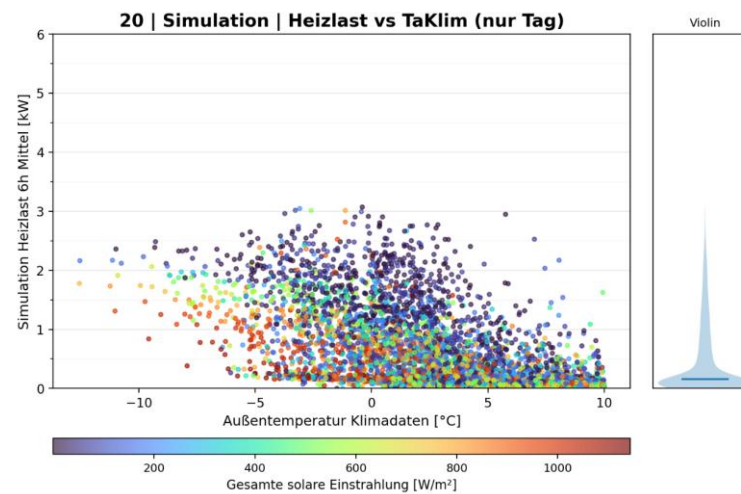


Abbildung 13-159 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 20

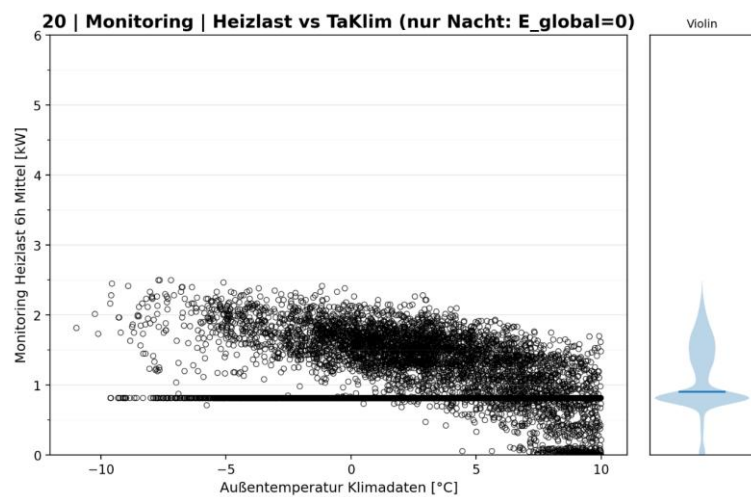


Abbildung 13-160 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 20

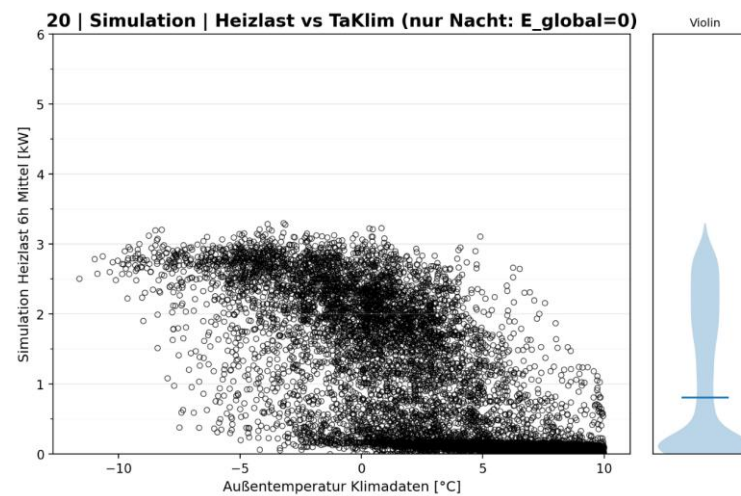


Abbildung 13-161 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 20

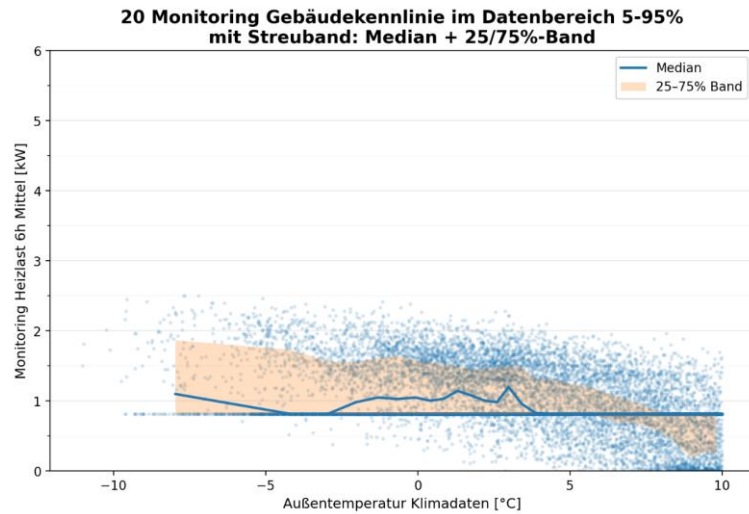


Abbildung 13-162 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 20

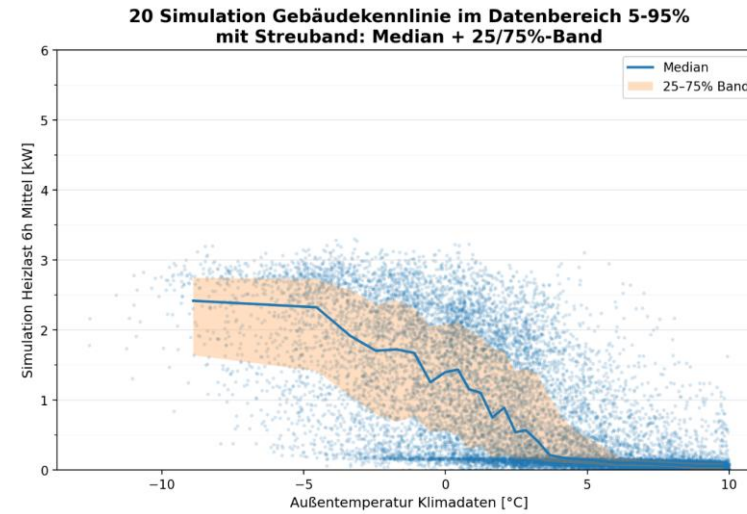


Abbildung 13-163 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 20

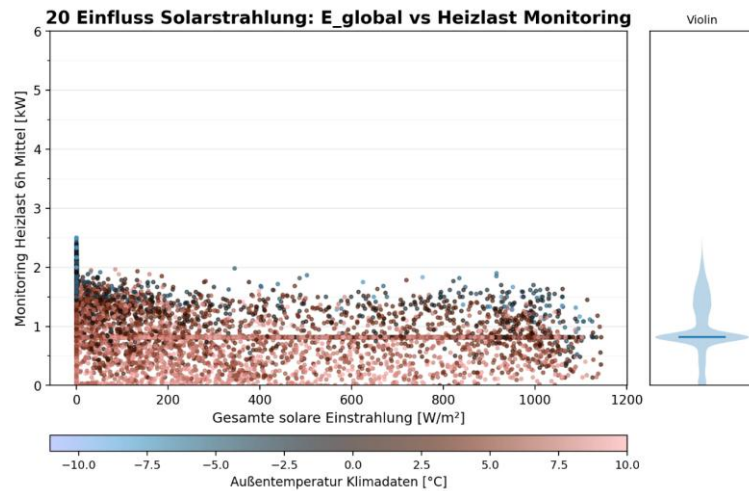


Abbildung 13-164 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 20

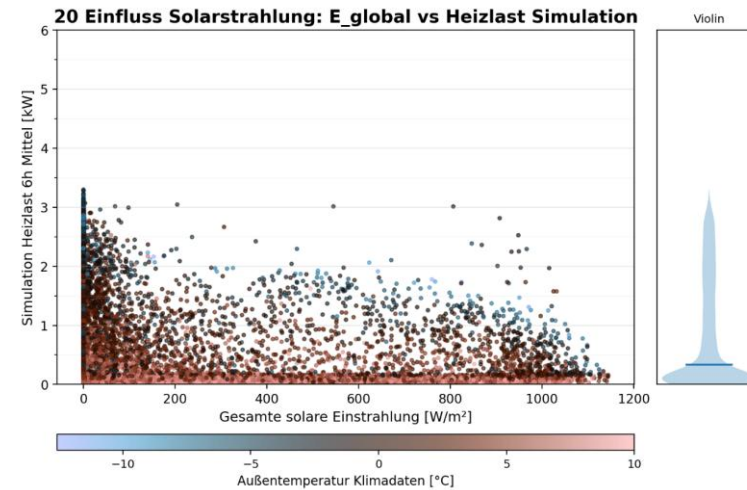


Abbildung 13-165 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 20

Testgebäude 21 (Bauweise schwer; RLT: ja)

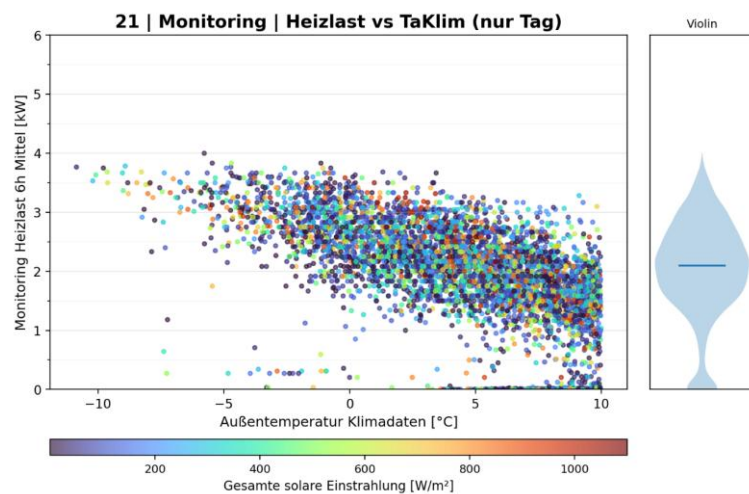


Abbildung 13-166 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 21

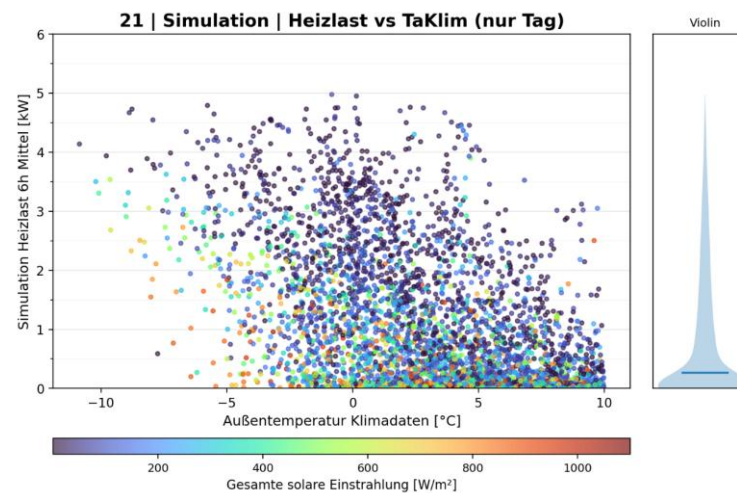


Abbildung 13-167 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 21

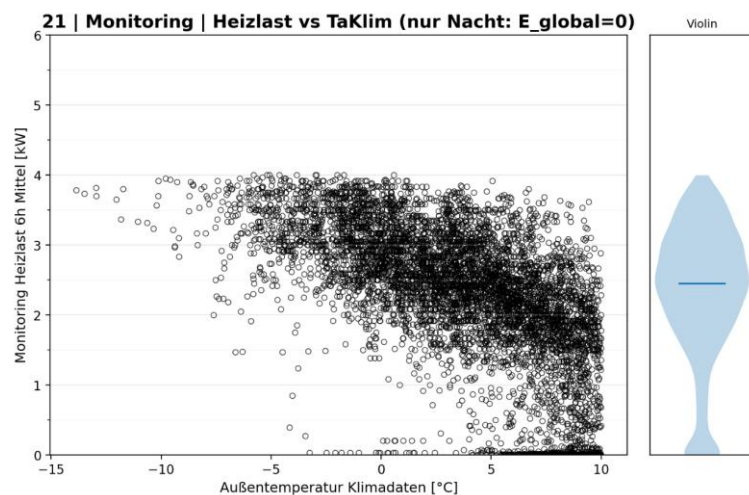


Abbildung 13-168 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 21

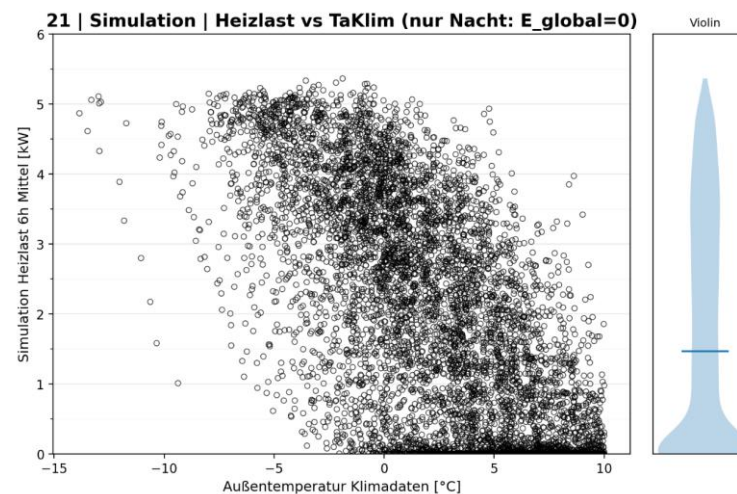


Abbildung 13-169 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 21

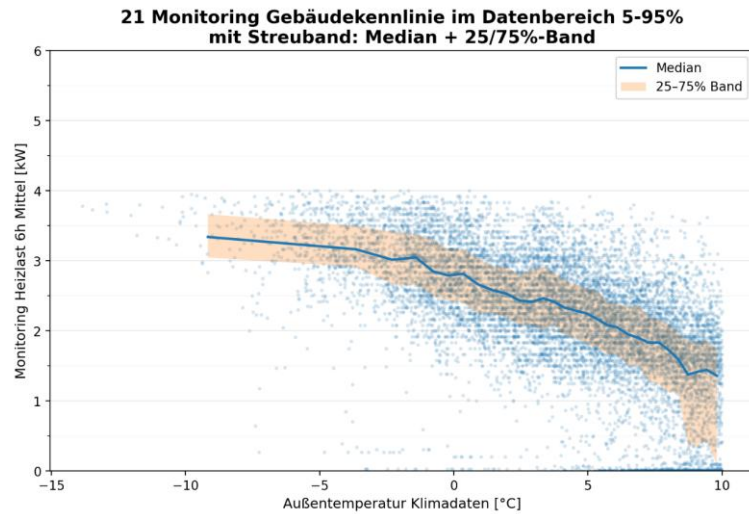


Abbildung 13-170 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 21

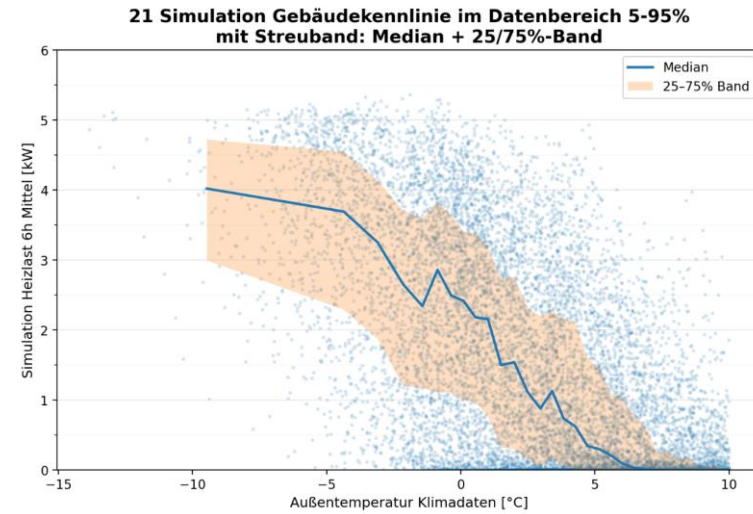


Abbildung 13-171 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 21

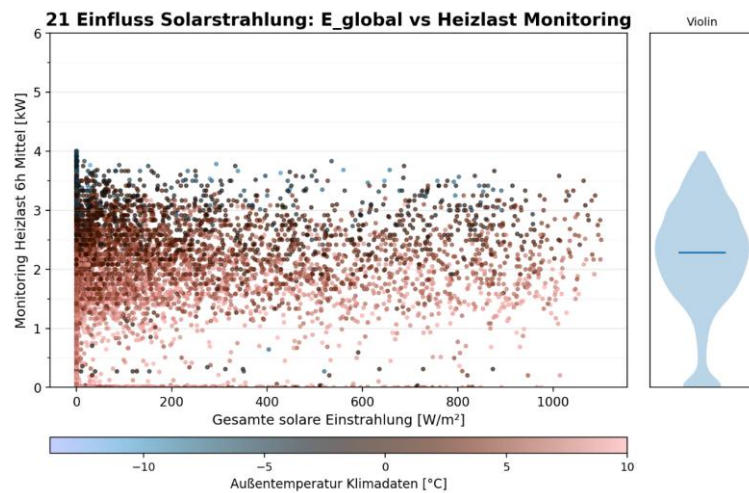


Abbildung 13-172 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 21

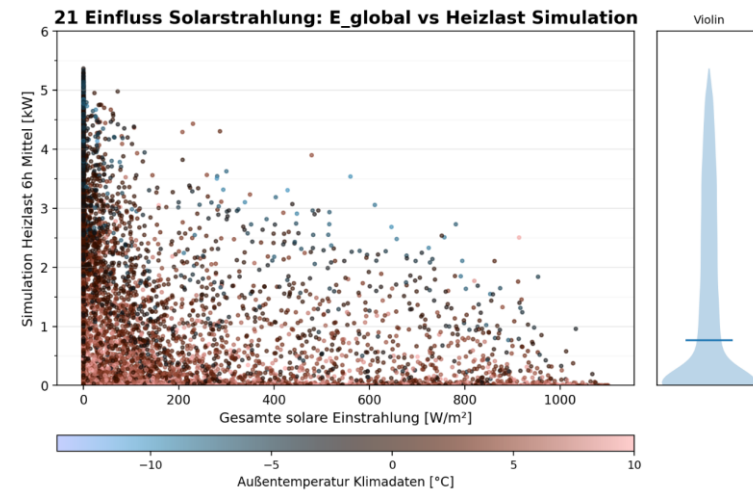


Abbildung 13-173 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 21

Testgebäude 22 (Bauweise leicht; RLT: ja)

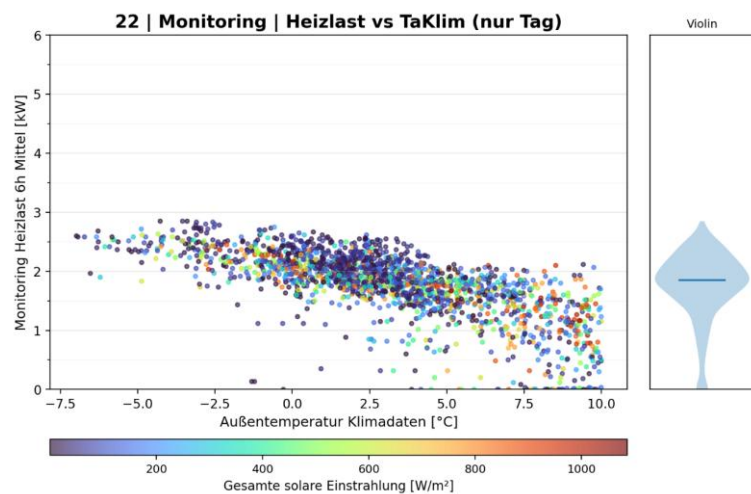


Abbildung 13-174 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 22

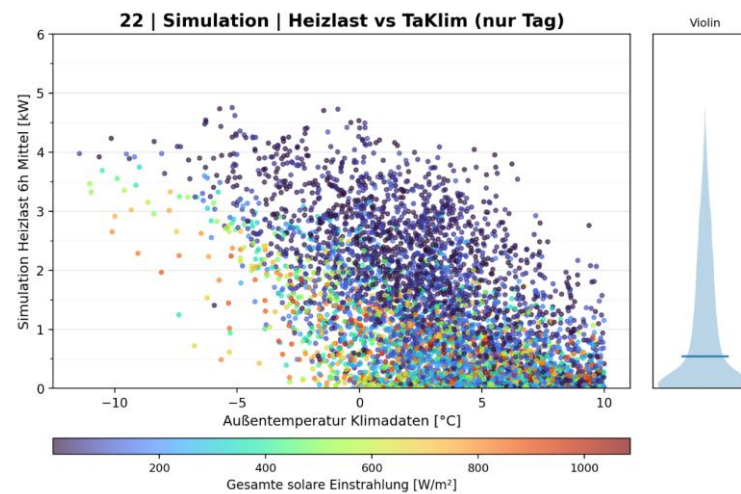


Abbildung 13-175 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 22

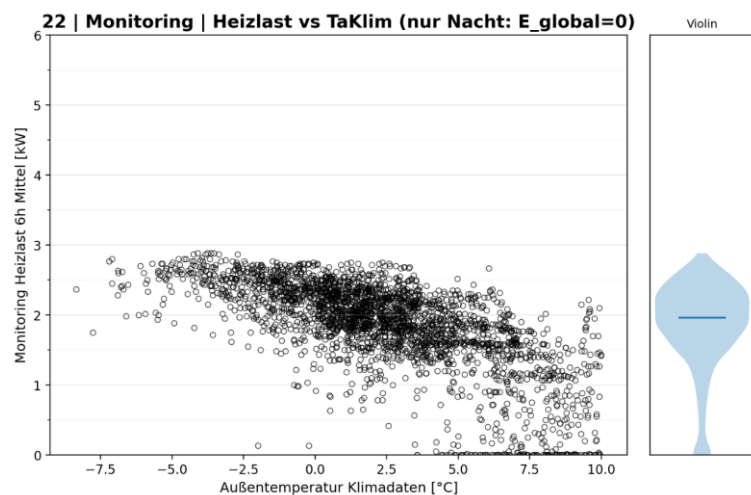


Abbildung 13-176 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 22

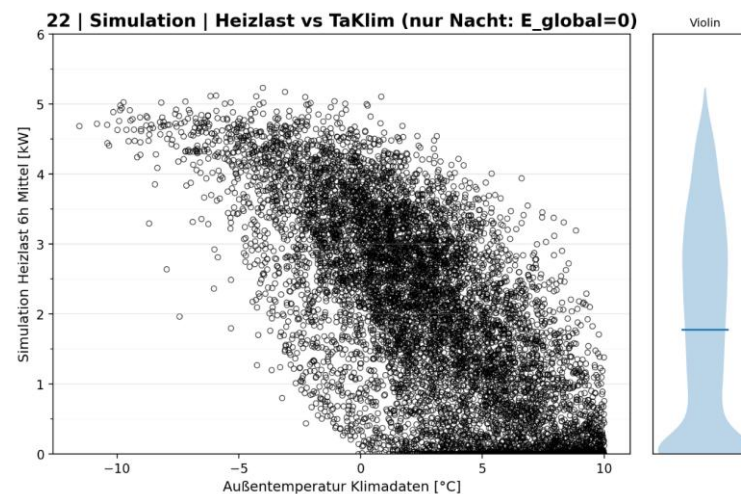


Abbildung 13-177 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 22

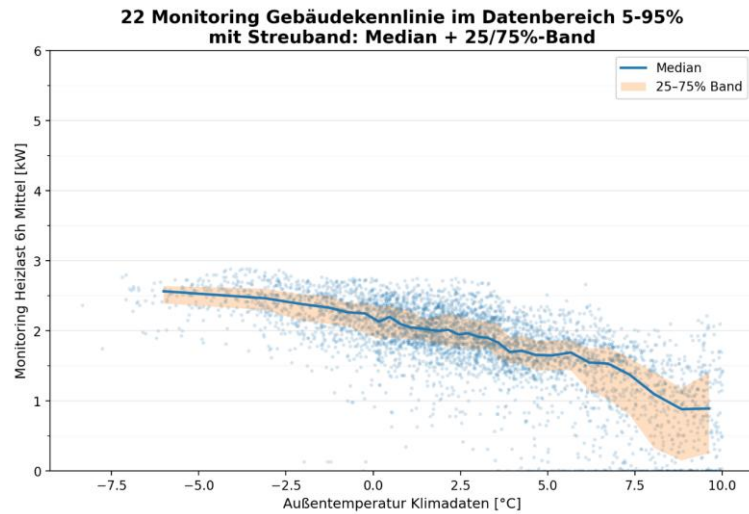


Abbildung 13-178 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 22

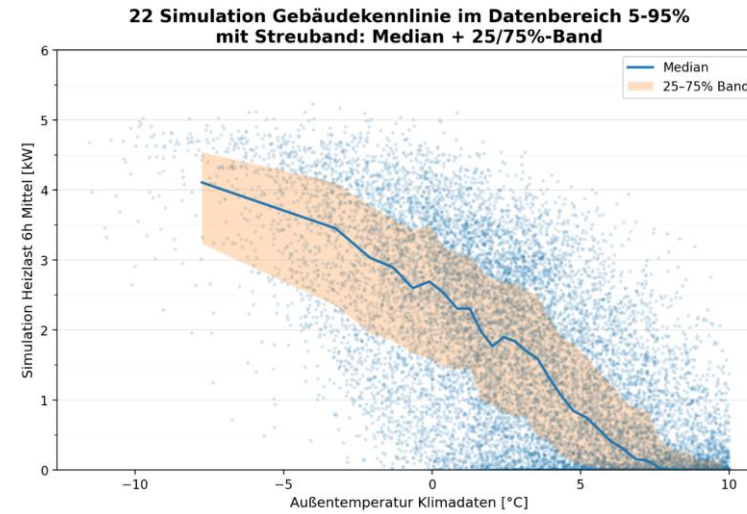


Abbildung 13-179 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 22

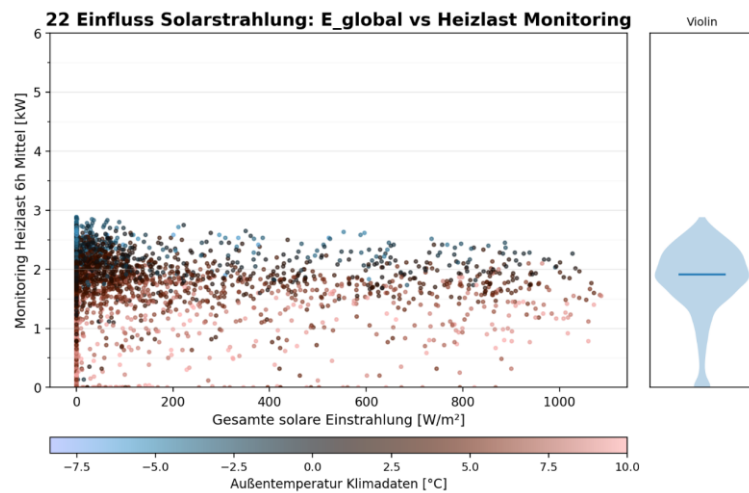


Abbildung 13-180 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 22

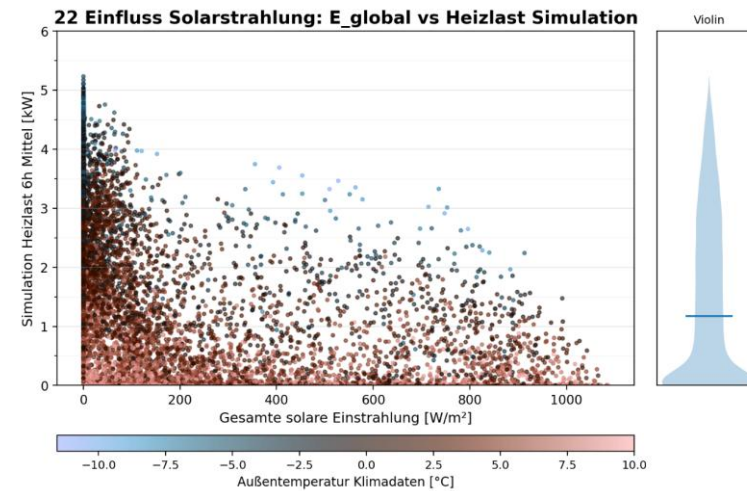


Abbildung 13-181 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 22

Testgebäude 23 (Bauweise mittelschwer; RLT: nein)

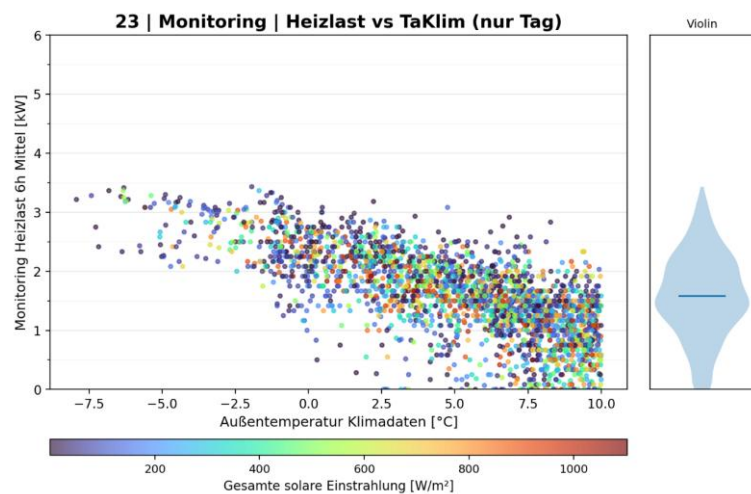


Abbildung 13-182 Einfluss Außentemperatur am Tag | Monitoring – Testgeb. 23

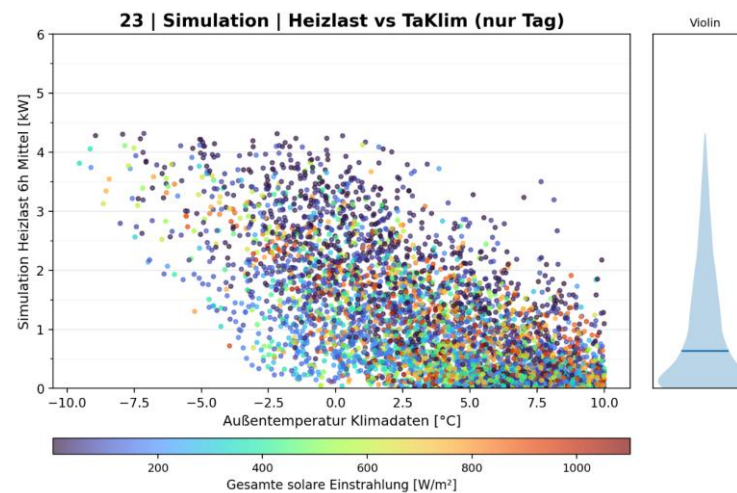


Abbildung 13-183 Einfluss Außentemperatur am Tag | Simulation – Testgeb. 23

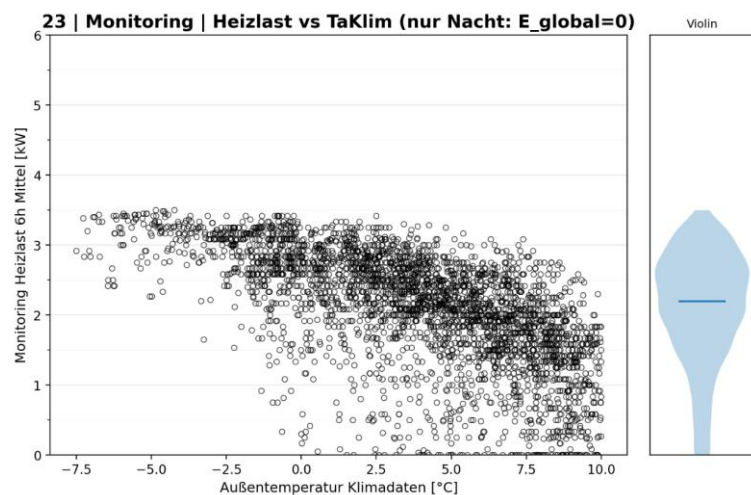


Abbildung 13-184 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Monitoring – Testgeb. 23

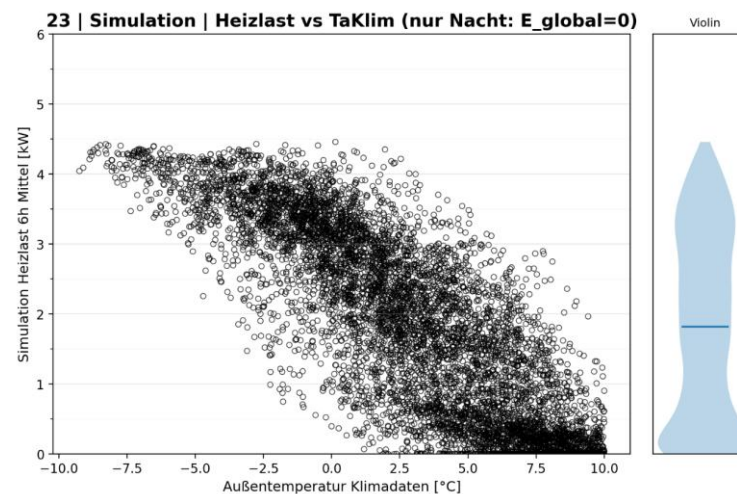


Abbildung 13-185 Einfluss Außentemperatur in der Nacht | Simulation – Testgeb. 23

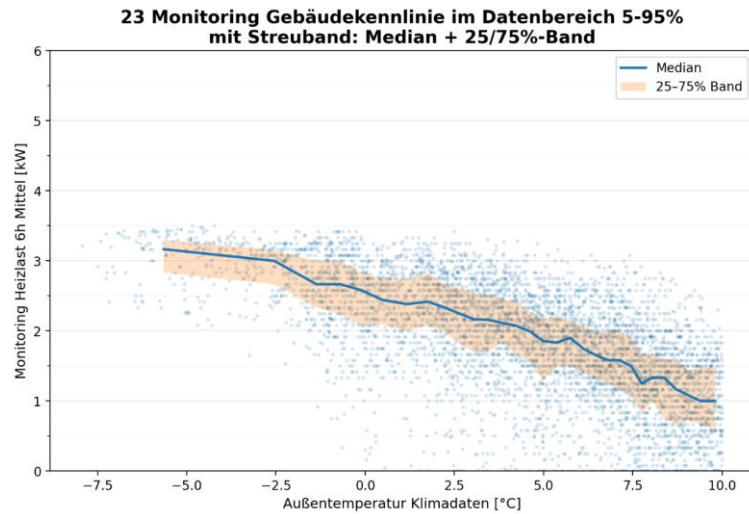


Abbildung 13-186 Monitoring Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 23

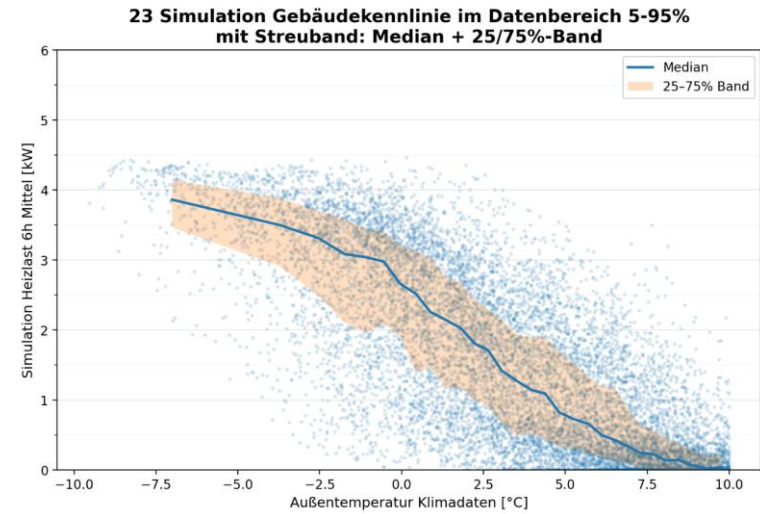


Abbildung 13-187 Simulation Median-Gebäudekennlinie – Testgeb. 23

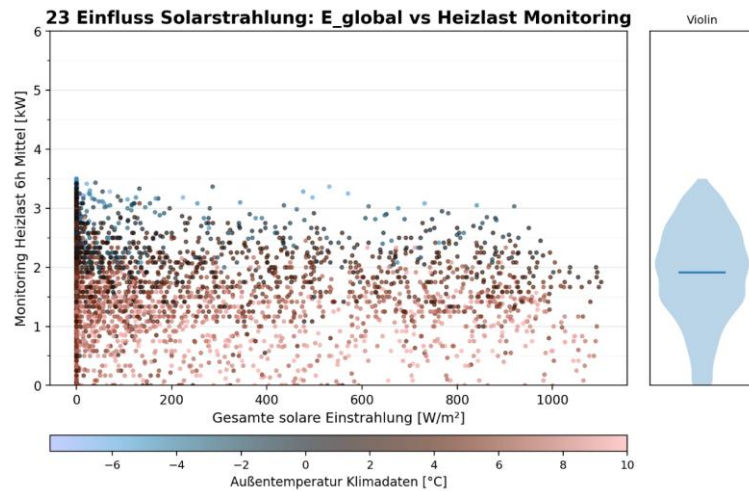


Abbildung 13-188 Einfluss solarer Globalstrahlung Monitoring – Testgeb. 23

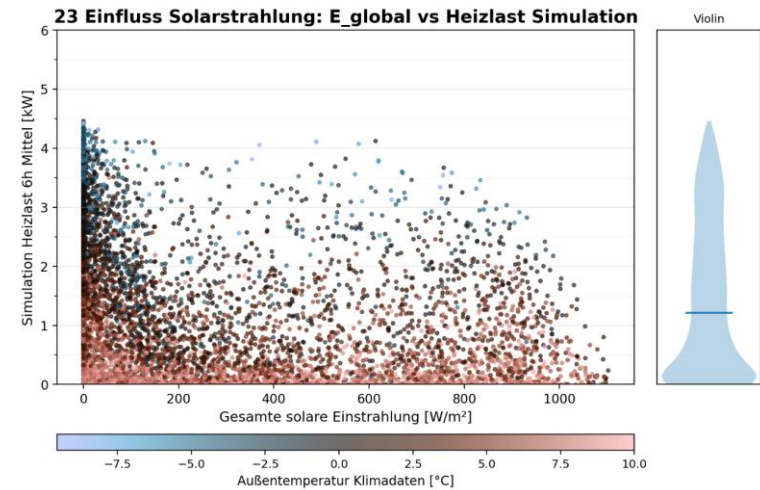


Abbildung 13-189 Einfluss solarer Globalstrahlung Simulation - Testgeb. 23

13.5 Normaußentemperatur Klimadatenrecherche

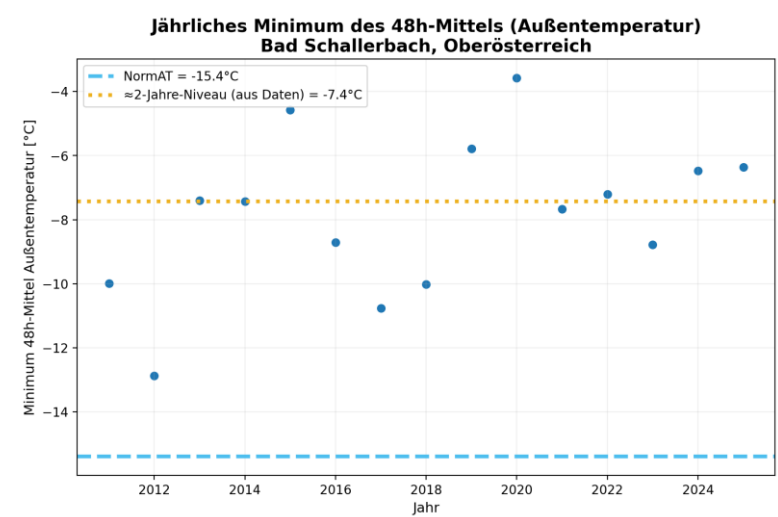


Abbildung 13-190 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 02

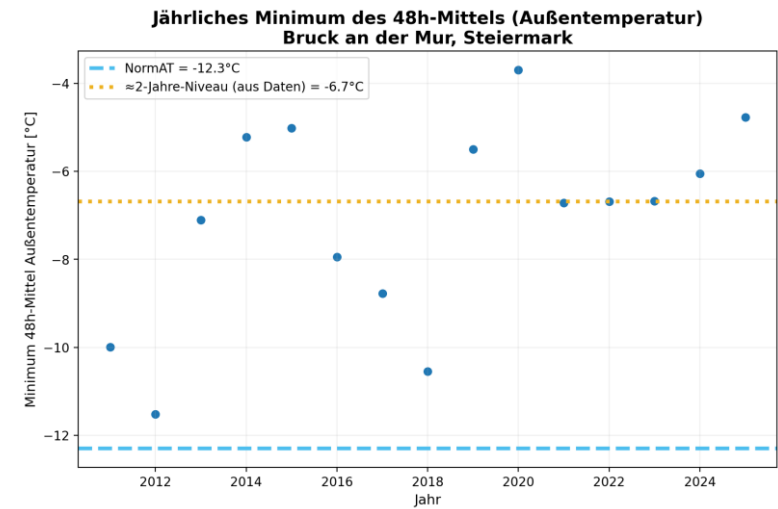


Abbildung 13-191 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 03

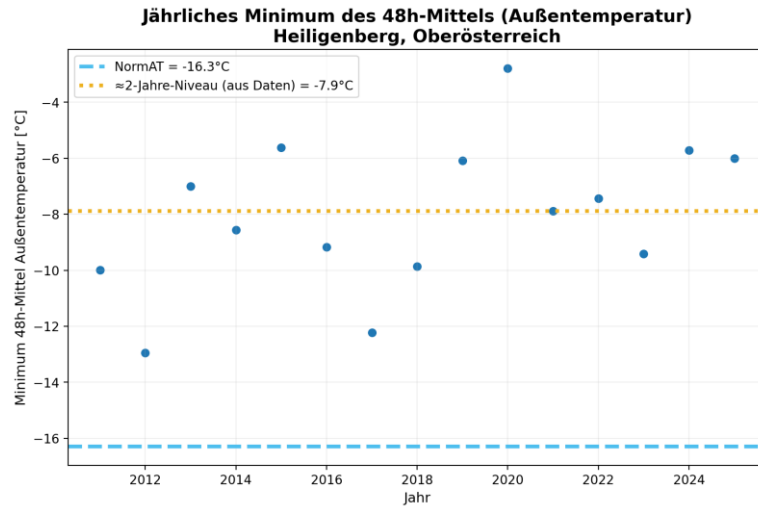


Abbildung 13-192 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 04

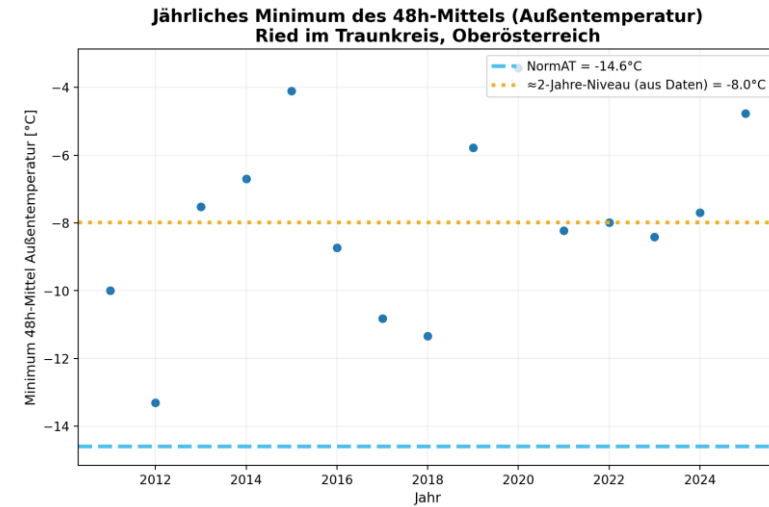


Abbildung 13-193 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 05

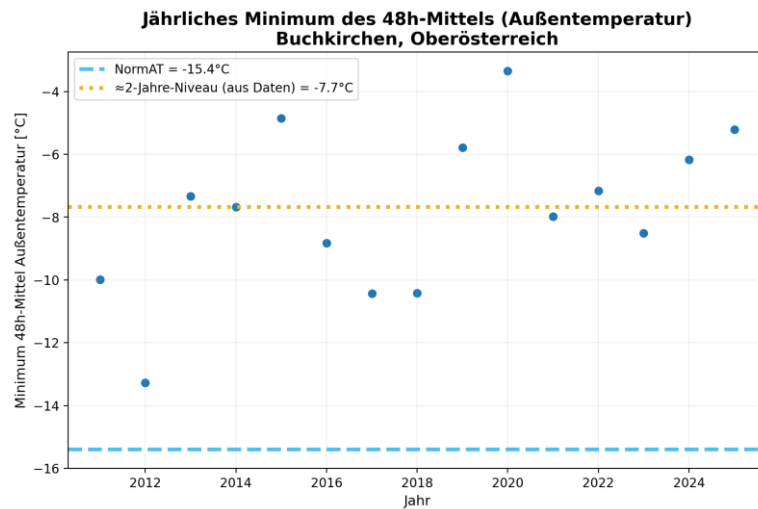


Abbildung 13-194 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 06

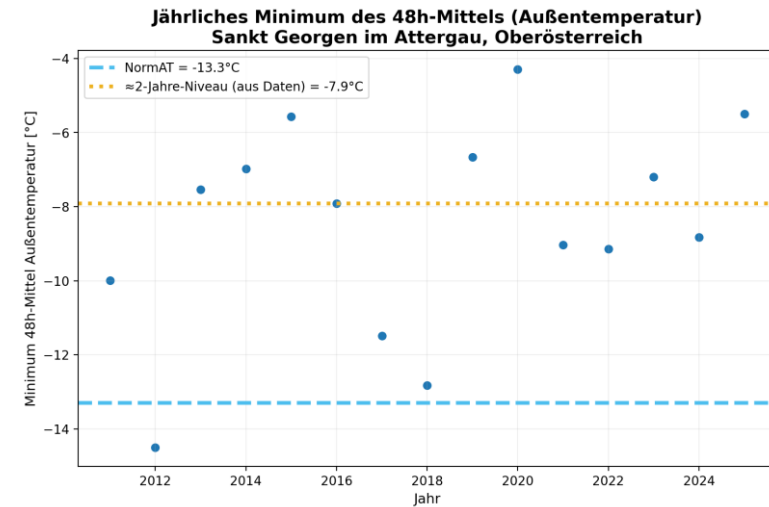


Abbildung 13-195 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 07

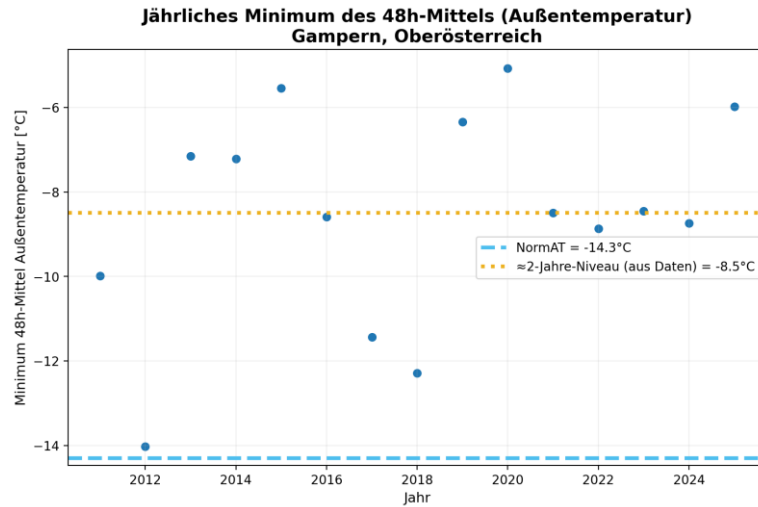


Abbildung 13-196 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 08

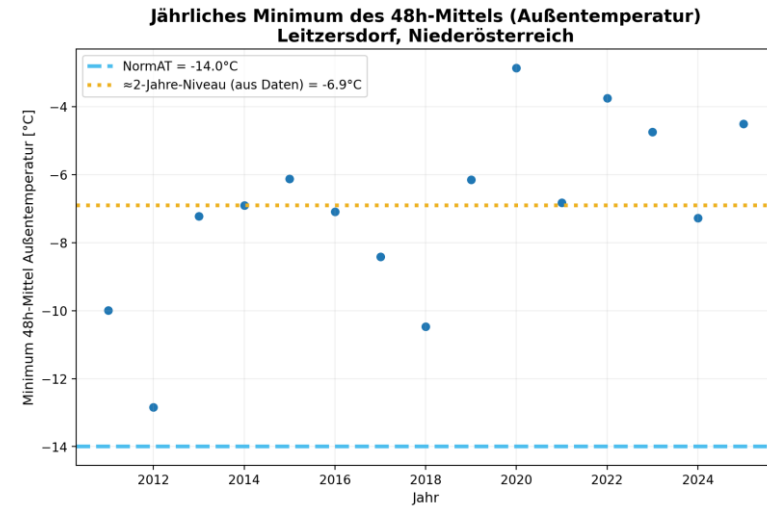


Abbildung 13-197 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 09

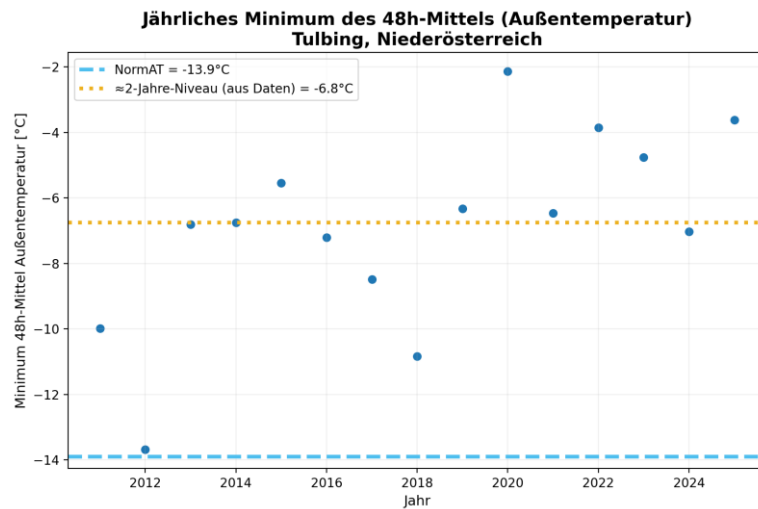


Abbildung 13-198 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 10

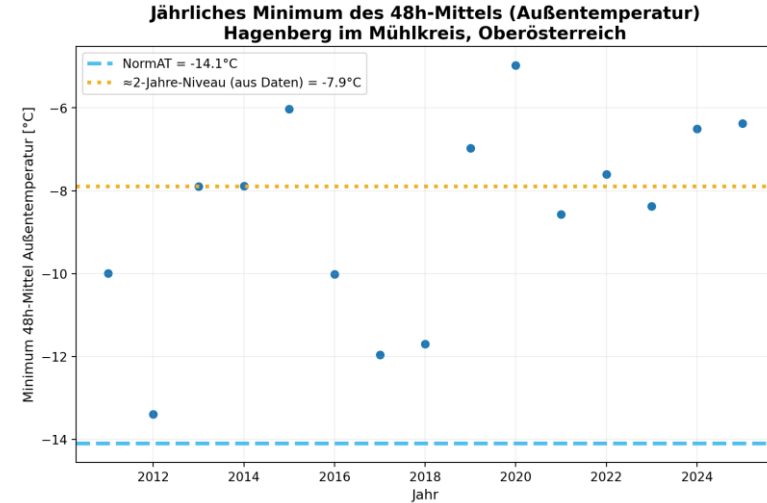


Abbildung 13-199 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 11

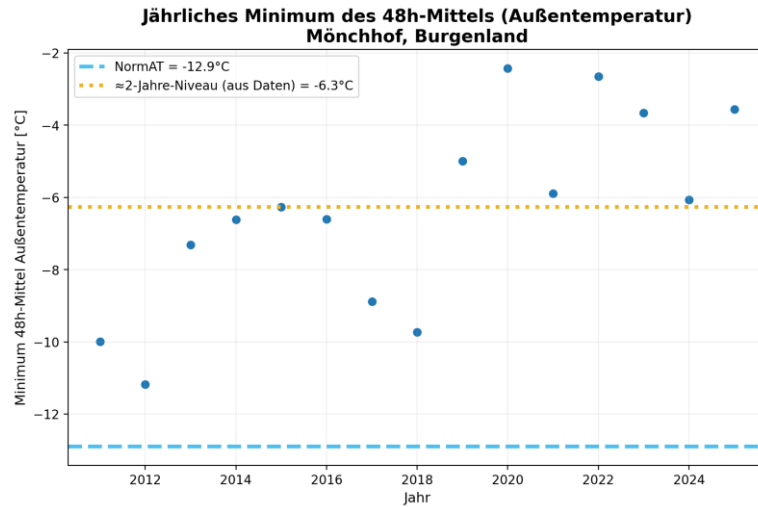


Abbildung 13-200 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 12

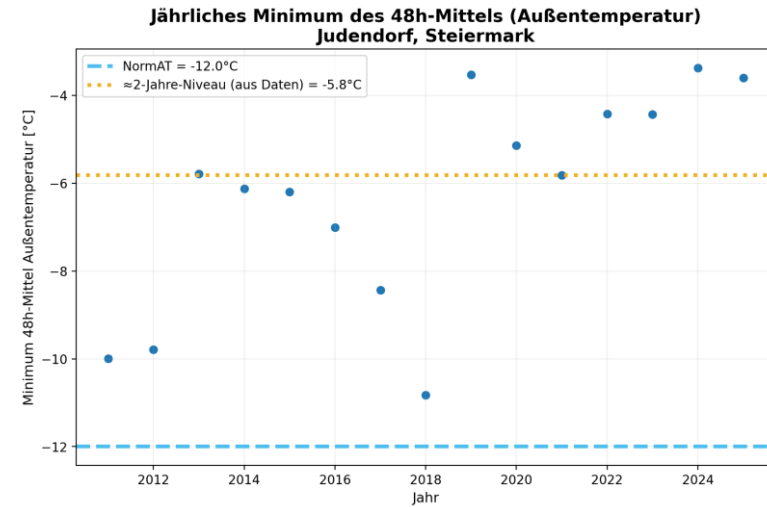


Abbildung 13-201 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 13

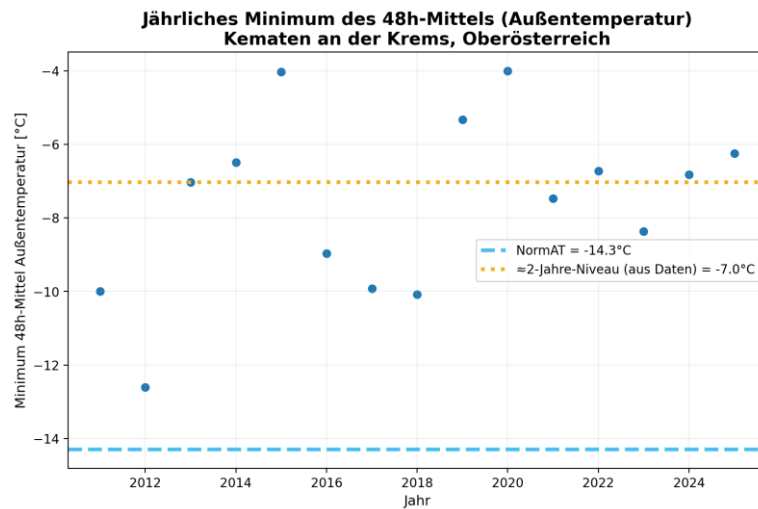


Abbildung 13-202 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 14

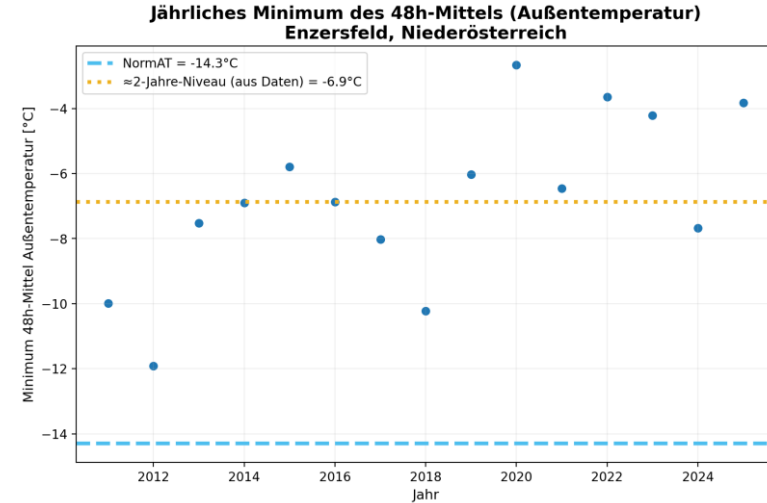


Abbildung 13-203 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 15

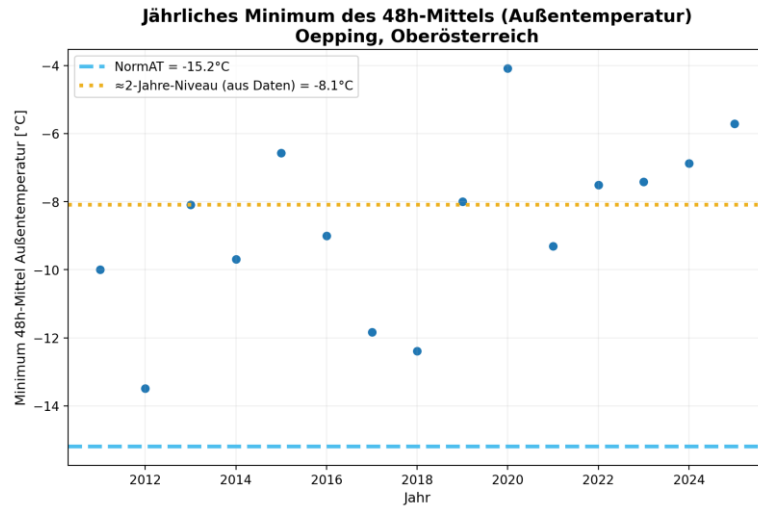


Abbildung 13-204 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 16

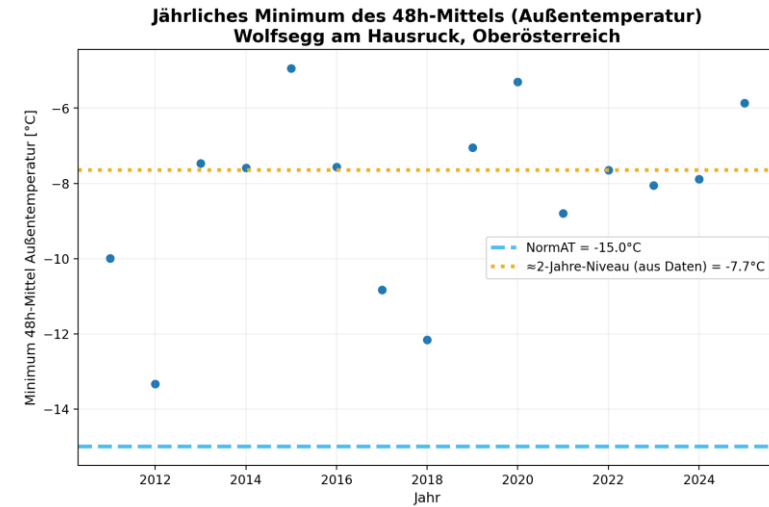


Abbildung 13-205 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 17

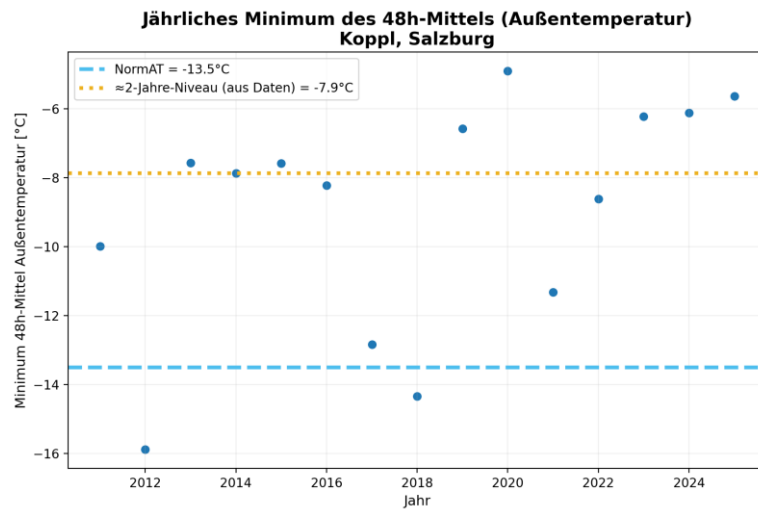


Abbildung 13-206 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 18

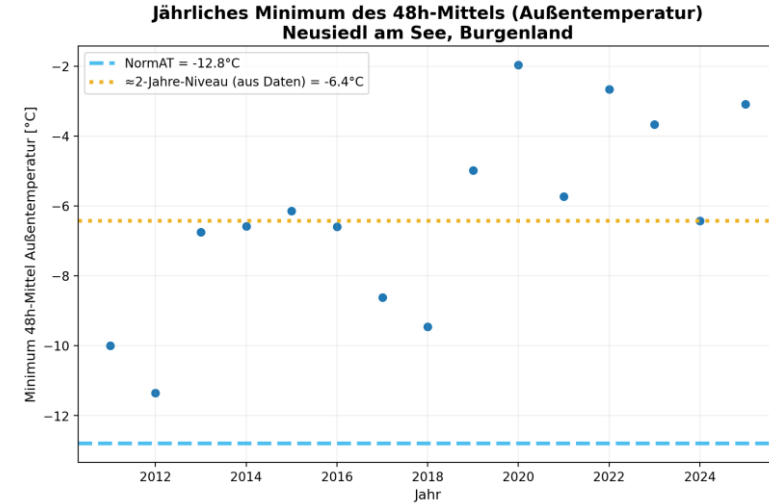


Abbildung 13-207 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 19

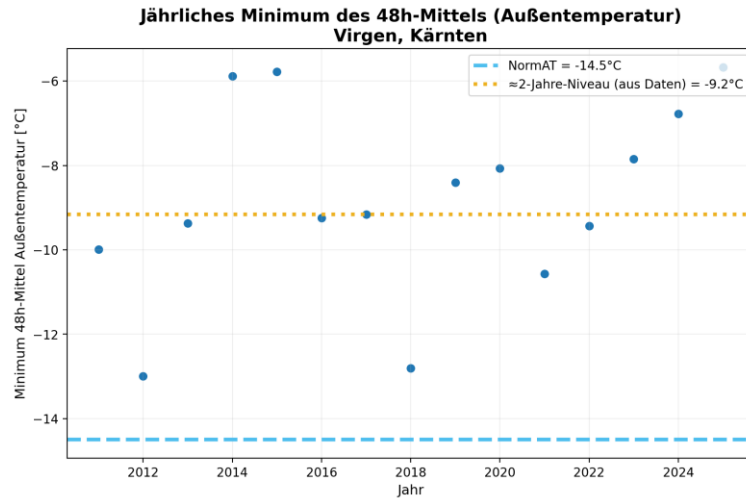


Abbildung 13-208 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 20

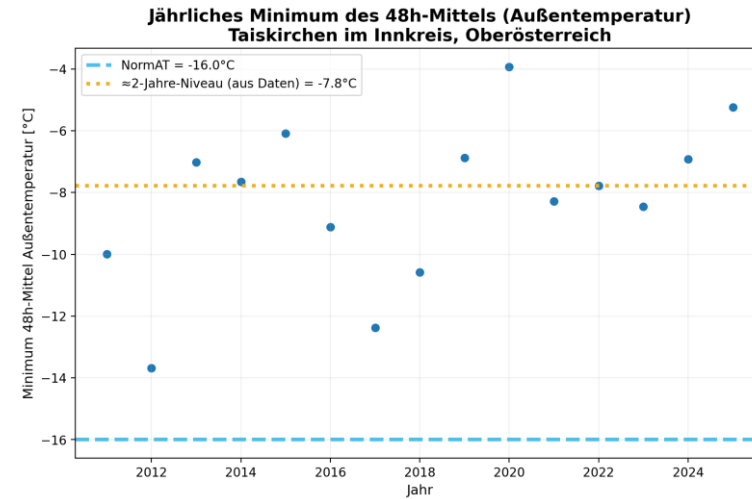


Abbildung 13-209 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 21

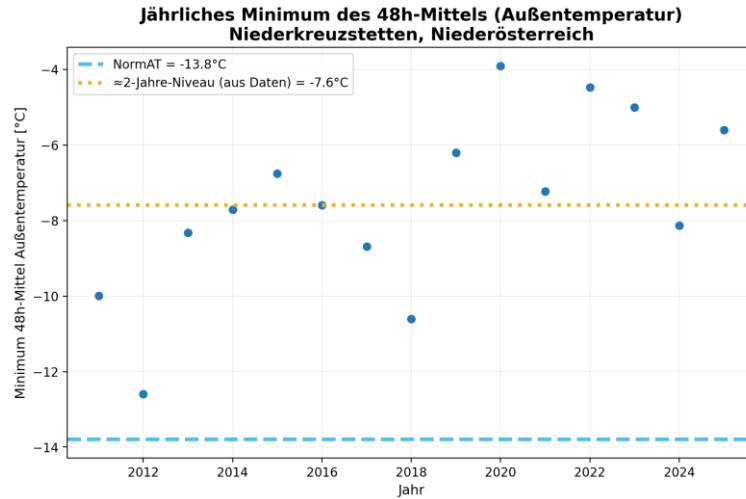


Abbildung 13-210 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 22

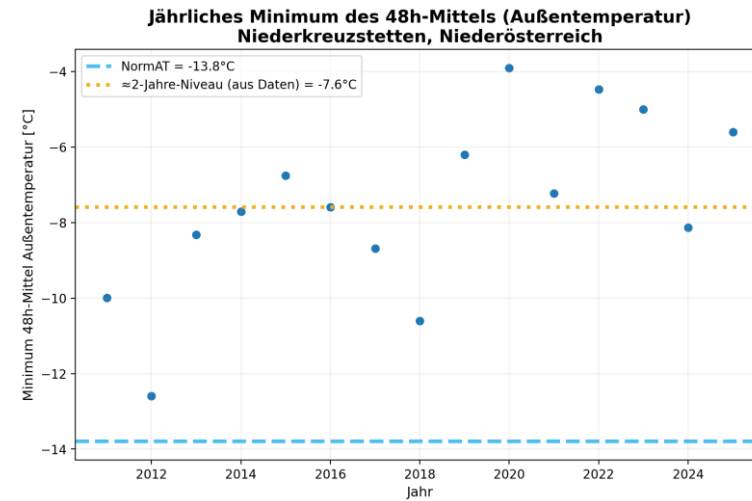


Abbildung 13-211 Klimadatenrecherche Standort Testgebäude 23

ZAB Zukunftsagentur Bau GmbH

Digitalisierung & Innovation

Lachstatt 41, Steyregg 4221 | T +43 732 / 24 59 28 – 29 | E office-ooe@zukunft-bau.at

Forschung & Zukunftsthemen

Moosstraße 197, Salzburg 5020 | T +43 662 / 830 200 – 19 | E office-sbg@zukunft-bau.at