



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Vienna University of Technology

DIPLOMARBEIT

Sommerliche Überwärmung

Ein Vergleich zwischen unterschiedlichen Bauweisen und Nutzerverhalten

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Ardeshir Mahdavi

E 259-3 Abteilung für Bauphysik und Bauökologie

Institut für Architekturwissenschaften

eingereicht an der

Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Andreas Wurm

0728232

Wien, Februar 2016

DANKSAGUNG

Ich möchte mich bei meinem Betreuer

Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Ardeshir Mahdavi

und bei meinen Arbeitskollegen

Herrn Univ.Ass. Farhang Tahmasebi und

Herrn Univ.Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Ulrich Pont

bedanken, Sie haben mich stets gut beraten und sich immer Zeit für mich genommen.

Mein größter Dank gilt meinem Vater, der mir mein Studium erst ermöglicht hat.

An dieser Stelle möchte ich noch meinen engsten Freunden und Studienkollegen danken.

KURZFASSUNG

Klimaforscherinnen- und -forscher in Europa sind sich aufgrund von Klimaberechnungsmodellen weitgehend einig, dass lang andauernde Hitzeperioden mit Tageshöchsttemperaturen über 30 °C in Zukunft häufiger vorkommen. Damit erhöht sich in Zukunft das Risiko der sommerlichen Überwärmung in Gebäuden. Da Klimaanlage aufgrund des hohen Energieverbrauchs keine nachhaltige Lösung bieten, sollten passive Maßnahmen, wie zum Beispiel Nachtlüftung und Verschattung, genutzt werden um sommerliche Überwärmung zu vermeiden. Eine weitere Maßnahme die im wissenschaftlichen Diskurs immer wieder erwähnt wird ist die Speichermasse, doch über deren Wirkung gehen die Meinungen unter Fachleuten auseinander. Holzbauer meinen, dass der Einfluss der Speichermasse, im Vergleich zur Bedienung von Lüftung und Verschattung durch den Nutzer, zu vernachlässigen ist. Vertreter von herkömmlichen Massivbauweisen werben damit, dass ihre Häuser aufgrund der hohen Speichermasse im Winter warm und im Sommer kühl bleiben. Im Gegensatz dazu sind Trockenbauer der Meinung, dass all zu viel Speichermasse über Nacht nicht mehr ausreichend auskühlen kann.

In dieser Arbeit werden die unterschiedlichen Aussagen der Fachleute anhand des Verfahrens nach ÖNORM B 8110-3:2012 mit ArchiPhysik und einer numerischen thermischen Gebäudesimulation mit energyplus untersucht. Anhand eines Referenzgebäudes (Entwurf für eine Wohnung in einem mehrgeschossigen Wohnbau mit Standort Wien), werden sechs verschiedene Bauweisen und drei unterschiedliche Annahmen für Lüftungs- und Verschattungsszenarien (Nutzerverhalten) untersucht. Als Bauweisen wurden mit und ohne Vorsatzschale ein Holzmassivbau und ein Betonbau gewählt. Außerdem werden eine Holzrahmenbauweise und eine weitere Holzmassivbauweise (an ausgewählten Oberflächen mit Holzleichtbeton verkleidet) gewählt. Um die Ergebnisse aus ArchiPhysik und energyplus vergleichen zu können wurden die Eingabedaten so angepasst, dass annähernd gleiche Voraussetzungen gegeben sind.

Die Resultate in ArchiPhysik zeigen, dass größere Speichermasse geringe Amplituden bei den Temperaturverläufen zur Folge hat. Die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale bietet die größte Speichermasse, hat tagsüber die geringsten Maximaltemperaturen, aber weist während der Nacht die höchsten Temperaturen auf. In energyplus wurden unterschiedliche Zeiträume betrachtet. Über das gesamte Halbjahr von April bis September zeigen sich die gleichen Erkenntnisse wie in ArchiPhysik. Betrachtet man jedoch nur eine kurze Hitzeperiode stellt sich heraus, dass die Bauweise einen sehr großen Einfluss hat. Im Allgemeinen belegen die Ergebnisse, dass optimales Lüften und Verschatten einen deutlich größeren Einfluss haben, als Bauweise und Orientierung. Die Auswirkung des Materials hinter Vorsatzschalen ergibt in ArchiPhysik und energyplus unterschiedliche Erkenntnisse: Vor allem weist der Temperaturverlauf der Bauweise „SBB_VS“ darauf hin, dass Materialien hinter Vorsatzschalen in energyplus einen großen Einfluss haben, während diese Materialien in ArchiPhysik kaum eine Rolle spielen.

Schlagwörter: Sommerliche Überwärmung, Vergleich unterschiedlicher Bauweisen, Nutzerverhalten, Nachtlüftung, Verschattung, Holzleichtbeton

ABSTRACT

Climate scientists in Europe are in agreement that – on the basis of calculated (and monitored) climate models – prolonged periods of hot weather (peak daytime temperatures above 30 °C) will be more frequent in future. This increases the risk of summer overheating in buildings. Countermeasures against summer overheating in buildings follow different strategies. For instance, promising passive methods include night time ventilation and shading. Another “countermeasure” that is often mentioned in the scientific discourse about summer overheating is thermal mass. However, the effect of thermal mass opinions from professionals show a wide range: Professionals in the field of timber construction think that summer overheating depends mainly on the operation of ventilation and shading systems by the building’s occupants. Representatives of conventional massive constructions advertise that their buildings are warm during the winter and keep cool during the summer due to thermal mass. On the contrary, drywall installers think that buildings with too much thermal mass cannot cool down sufficiently overnight.

In this study the different statements of professionals are examined in detail. Thereby, normative calculation methods and numerical thermal building simulation are applied. Based on a reference building (An apartment in a multi-story building in Vienna), six different construction assemblies and three assumptions for user behavior regarding ventilation and shading deployment are assessed. The applied building constructions include a both solid wood and concrete constructions, with and without facing shells. Furthermore, a wood frame construction and a solid wood construction with integrated wood-light-concrete elements are applied on selected surfaces within the reference building. To be able to compare the different assessment methods (calculation and simulation), a comprehensive analysis was performed, and adaption procedures for the input data are discussed to ensure similar preconditions.

Results of the normative method suggest a dampening effect of high thermal mass on the indoor temperature fluctuations. The massive concrete construction without facing shell performs best regarding low peak daytime temperatures. However, during night the indoor temperature level is the highest of all examined cases. The results of the simulation show similar effects. However, the span of results in the simulation is strongly dependent on the simulated time period: Long run simulations show very similar results to the normative procedure. However, results of short-term evaluation suggest a large impact of the construction method. Moreover, night time ventilation and shading deployment do – as well – show bigger impact within the simulation. Due to the method, a large deviation between the results regarding the materials behind the facing shells can be detected: The simulated results showed an impact of these materials, while the normative procedures showed an independence from these materials.

Keywords: summer overheating, construction alternatives, user behavior, night-time ventilation, shading deployment, wood light concrete

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|-------|--|-----|
| 1 | EINLEITUNG..... | 1 |
| 1.1 | Motivation..... | 3 |
| 1.2 | Hintergrund..... | 4 |
| 1.3 | Zielsetzung | 5 |
| 2 | STAND DER FORSCHUNG | 7 |
| 2.1 | Holzleichtbeton..... | 7 |
| 2.1.1 | Materialeigenschaften | 7 |
| 2.1.2 | Einsatzmöglichkeiten im Hochbau..... | 9 |
| 2.2 | Sommerliche Überwärmung..... | 10 |
| 3 | VORGANGSWEISE/METHODE..... | 15 |
| 3.1 | Untersuchte Bauweisen..... | 15 |
| 3.2 | Referenzgebäude | 17 |
| 3.3 | Wetterdaten..... | 20 |
| 3.4 | Lüftung, Verschattung und interne Wärmegewinne..... | 20 |
| 3.5 | Vergleich energyplus und Verfahren nach ÖNORM | 25 |
| 3.6 | Modellannahmen..... | 26 |
| 3.7 | Auswertung der Daten..... | 28 |
| 4 | ERGEBNISSE UND DISKUSSION | 29 |
| 4.1 | ArchiPhysik..... | 30 |
| 4.1.1 | Ergebnisse nach Szenario..... | 30 |
| 4.1.2 | Ergebnisse nach Ausrichtung | 33 |
| 4.1.3 | Ergebnisse nach Bauweisen | 37 |
| 4.2 | energyplus..... | 50 |
| 4.2.1 | Ergebnisse nach Szenario..... | 51 |
| 4.2.2 | Ergebnisse nach Ausrichtung | 55 |
| 4.2.3 | Ergebnisse nach Bauweisen | 58 |
| 4.3 | Heizwärmebedarf..... | 69 |
| 4.4 | Einfluss von Konstruktionsmaterial und Fußbodenaufbau..... | 70 |
| 5 | SCHLUSSFOLGERUNG..... | 72 |
| 6 | AUSBLICK..... | 74 |
| 7 | VERZEICHNIS | 75 |
| 7.1 | Quellen..... | 75 |
| 7.2 | Abbildungen..... | 77 |
| 7.3 | Tabellen..... | 81 |
| 7.4 | Formeln..... | 81 |
| 7.5 | Sonstige Quellen | 81 |
| 8 | ANHANG..... | 82 |
| A. | Materialien und Bauteilaufbauten..... | 82 |
| B. | Einstellungen in ArchiPhysik und energyplus | 84 |
| C. | Ergebnisse | 84 |
| 9 | ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS..... | 118 |

1 EINLEITUNG

Besonders lang andauernde Hitzeperioden und Temperaturen über 30 °C machen vielen, vor allem älteren, Menschen zu schaffen. An solchen Tagen bleiben viele Leute lieber zu Hause, doch selbst in Gebäuden wird die Hitze oft unerträglich. Aus Tabelle 1, die eine Statistik der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) zeigt, geht hervor, dass in den letzten Jahrzehnten die Anzahl der sogenannten Hitzetage in allen Landeshauptstädten deutlich zugenommen hat. (ZAMG 2012) Laut ZAMG sind im Jahr 2015 bereits Mitte August in vielen Regionen Österreichs neue Rekorde gefallen. ZAMG-Klimatologe Robert Klonner erklärt, dass vom tschechischen Meteorologen Jan Kysely eine sehr gute Methode stammt um die Anzahl sogenannter „Hitzewellen-Tage“ fest zu stellen. *„Vereinfacht gesagt definiert er eine Hitzewelle mit einer Serie von zumindest drei aufeinanderfolgenden Tagen über 30 °C, die höchstens kurz von einem Tag zwischen 25 und 30 °C unterbrochen wird und die mittlere Maximaltemperatur in der Periode größer 30 °C ist. Jeden Tag so einer Hitzewelle bezeichnet man als Kysely-Tag. So lassen sich gut Hitzewellen im historischen Vergleich untersuchen.“* (ZAMG 2015) Eine solche Auswertung an Hitzewellen-Tagen zeigt die Abbildung 1 für die Messstation Wien Hohe Warte.

Tabelle 1 Anzahl an Hitzetagen (30 °C und mehr) im Vergleich, Quelle: ZAMG 2012

| Stadt | Seehöhe | Durchschnittliche Zahl der Hitzetage im Zeitraum | | | Rekord | | 2012 |
|-----------------------|---------|--|-----------|-----------|--------|------|---------------|
| | (m) | 1961-1990 | 1971-2000 | 1981-2010 | Zahl | Jahr | bis 21.8.2012 |
| Eisenstadt | 184 | 11,4 | 12,8 | 15,9 | 39 | 2003 | 30 |
| Klagenfurt-Flugplatz | 450 | 6,2 | 8,7 | 13,9 | 40 | 2003 | 25 |
| St. Pölten | 274 | 10,1 | 11,6 | 13,4 | 36 | 2003 | 21 |
| Linz | 262 | 5,8 | 7,8 | 10,8 | 23 | 2003 | 17 |
| Salzburg-Flughafen | 430 | 5,8 | 8,0 | 10,4 | 31 | 1994 | 13 |
| Graz-Universität | 366 | 3,4 | 6,6 | 11,5 | 41 | 2003 | 24 |
| Innsbruck-Universität | 578 | 9,0 | 10,4 | 16,6 | 45 | 2003 | 20 |
| Bregenz | 424 | 2,7 | 3,3 | 4,1 | 19 | 2003 | 8 |
| Wien-Hohe Warte | 198 | 9,6 | 11,5 | 15,2 | 40 | 2003 | 26 |
| Lienz | 661 | 5,0 | 5,6 | 9,8 | 37 | 2003 | 14 |

Klimaforscherinnen- und -forscher in Europa sind sich aufgrund von Klimaberechnungsmodellen weitgehend einig, dass die Anzahl an heißen Tagen weiterhin zunehmen wird. (ZAMG 2012) Bei einer vorrausschauenden Planung von Gebäuden müssen zukünftige Klimabedingungen berücksichtigt werden. War im vorigen Jahrhundert die Reduktion des Heizwärmebedarfs im Mittelpunkt, müssen wir heute der sommerlichen Überwärmung mehr Aufmerksamkeit widmen.

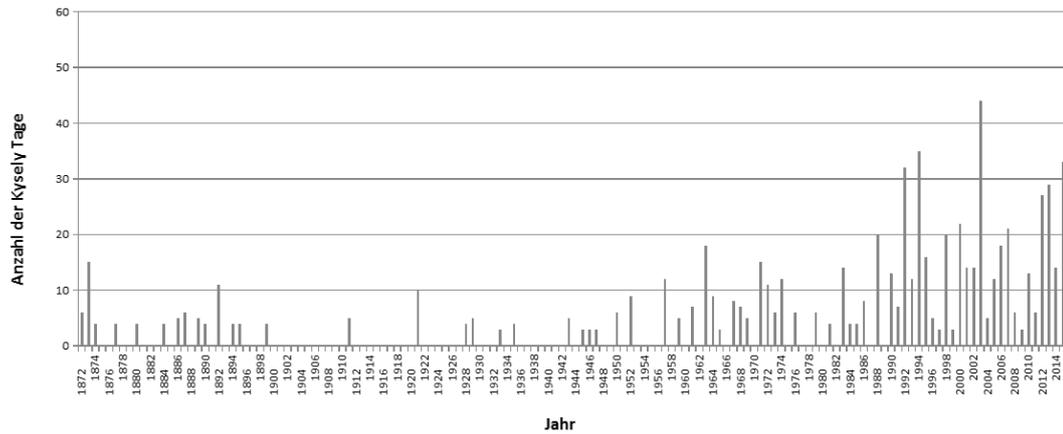


Abbildung 1 Hitzewellen-Tage Wien Hohe Warte (1872-2015) Auswertung nach Kysely (bis 12.8.2015)
Quelle: ZAMG 2015

Die Ergebnisse der meisten Studien zeigen, dass die entscheidenden Maßnahmen gegen sommerliche Überwärmung, durch Lüften und Bedienung der Verschattung beim Nutzer liegen. Hingegen sind die Auswirkungen der Speichermasse sehr umstritten. Während Vertreter des Holzbaus, deren Bauweisen geringere Speichermassen bieten, der Meinung sind, dass die Speichermasse einen geringen Einfluss hat und kaum eine Rolle spielt, werben Fachleute des Massivbaus damit, dass Gebäude mit hoher Speichermasse die Wärme aufnehmen und Hitzeperioden dadurch besser überbrücken können. Trockenbauer sind wiederum der Meinung, dass all zu viel Speichermasse über Nacht nicht mehr auskühlt und Vorsatzschalen aus Gipsplatten jene erforderliche Speichermasse bieten, um tagsüber die Wärme aufzunehmen damit diese nachts wieder an den Raum abgegeben werden kann. Wem soll der Bauherr, als Laie, da noch glauben?

Der Bedarf an Energie hat in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts rasant zugenommen und wird voraussichtlich auch in den nächsten Jahrzehnten noch weiter steigen. Solange es keine Lösung für den weltweiten Energieverbrauch gibt, sollten Gebäude so geplant werden, dass auf das Kühlen und Heizen mit Klimageräten möglichst verzichtet werden kann. Das senkt nicht nur Stromkosten sondern ist auch ein wertvoller Beitrag zum Klima- und Umweltschutz.

1.1 Motivation

Bauen mit Holz hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Kein anderer lastenabtragender Baustoff kann annähernd so energiesparend hergestellt werden. Holz ist ein nachhaltiger, nachwachsender, CO₂-neutraler und ressourcenschonender Baustoff. In der Literatur werden oftmals Nachteile angeführt wie z.B. Hellhörigkeit, Insektenbefall, Brennbarkeit und die Tatsache das Holz faulen kann. (Wiederkehr 2008) Für all diese verschiedenen Probleme existieren technische Lösungen und sind zum Teil bereits etablierte Bauteilaufbauten. Dafür ist eine entsprechende präzise Planung und Qualitätskontrolle notwendig.

Die Holzmassivbauweise bietet gegenüber der Skelett- oder der Holz-Rahmenbauweise weitere Vorteile. Brettsperrelemente haben statische Vorteile, sind brandhemmend und können auch in mehrgeschossigen Gebäuden mit entsprechender Dimensionierung ohne Bekleidung sichtbar im Innenraum zur Anwendung kommen. Bauteilaufbauten in Massivholzbauweise haben klar getrennte Funktionsschichten und kommen in der Regel ohne Dampfbremse aus.

Die Erwartungshaltung von Nutzern an Neubauten in Holzbauweise ist groß, wird aber in sommerlichen Hitzeperioden oft nicht erfüllt. Um mit den üblichen Massivbauweisen hinsichtlich der Anforderungen von Nutzern mithalten zu können, setzt der Holzbau bei mehrgeschossigen Gebäuden verstärkt auf eine Holz-mischbauweise. So wurden im letzten Jahrhundert Holz-Beton-Verbundkonstruktionen entwickelt. Diese beschränkten sich anfangs auf stabförmige Holzbalken mit flächigen Betonplatten. Mit der Weiterentwicklung der Massivholzbauweise wurde der Einsatz von flächigen Holz-Beton-Verbundkonstruktionen ermöglicht, welche den steigenden Anforderungen an Brand- und Schallschutz sowie dem Schwingungsverhalten in mehrgeschossigen Gebäuden gerecht wurden. Heutzutage findet man in der Holz-mischbauweise beispielsweise mineralische Tragstrukturen mit Holzfertigteilelementen in der Gebäudehülle oder einen Holzbau mit mineralischem Erschließungskern. Dabei werden auch oft Holz-Beton-Verbunddecken eingesetzt. Diese Bauweise kombiniert die Vorteile beider Materialien um dadurch die Anforderungen an Brandschutz, Schallschutz und Speichermasse wirtschaftlich zu erfüllen. (Teibinger 2005)

Architekt Johannes Kaufmann, der als Befürworter des Holzbaus bekannt ist, sagt in einem Interview über das Bauvorhaben Eurogate, Bauplatz 5: *„Wir haben alle Geschoßdecken in Ortbeton ausgeführt. Durch die Kombination von Beton und Leichtbauwänden verfügen wir über ausreichend Speichermasse.“* (Kaufmann 2012)

Das Tragsystem dieses mehrgeschossigen Wohnbaus besteht aus einer Stahlbeton-Skelettkonstruktion während die thermische Hülle aus gedämmten Holzfertigteilelementen mit Wärmedämmverbundsystem an der Außenseite und einer Vorsatzschale an der Innenseite besteht. Kann der Holzbau in Zukunft, wenn Hitzeperioden zunehmen, überhaupt ohne Materialien auskommen die mehr Masse bieten?

Zementgebundene Holzprodukte kommen derzeit vor allem als nicht tragende Brand- und Schallschutzplatten zum Einsatz. Die Entwicklung und Forschung von Holz-Leichtbeton stellt aufgrund der statischen Tragfähigkeit neue Verbundkonstruktionen in Aussicht. Das Material bietet mit seinen bauphysikalischen Eigenschaften und den vielfältigen ästhetischen Oberflächen Einsatzmöglichkeiten im Innenraum. Für die Herstellung des Materials können Schwachholz und Holzreststoffe genutzt werden. Ziel der Anwendung ist eine wirtschaftliche und ökologische Optimierung von flächigen Holz-Beton-Verbundkonstruktionen um dadurch das Bauen mit Holz effizienter zu machen. (Krippner 2012)

1.2 Hintergrund

Holzleichtbeton kann aufgrund seiner Eigenschaften eine Alternative zu herkömmlichen Vorsatzschalen aus Gipsplatten werden. Das Material erfüllt die Anforderungen an den Brandschutz und könnte aufgrund seiner ästhetischen Oberfläche auch sichtbar oder verputzt im Innenraum eingesetzt werden.

Im Anhang A der ÖNORM EN ISO 13786:2007 (AS1 2007) ist ein vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der wirksamen Wärmekapazität beschrieben. Dieses Verfahren dient als Abschätzung, wenn die Genauigkeit der Berechnung von sekundärer Bedeutung ist. Aus diesem vereinfachten Verfahren leitet sich auch die Regel ab, dass für die wirksame Speichermasse eines Bauteils, vereinfacht die halbe Bauteildicke, jedoch nur bis zur ersten Dämmschicht und maximal 10 cm tief herangezogen wird. Demnach sind für Oberflächen die mit Vorsatzschalen verkleidet sind, nur die Gipsplatten als wirksame Speichermasse heranzuziehen, denn Hohlräume werden aus akustischen Gründen grundsätzlich mit Dämmung gefüllt. Das bedeutet, dass bei der Anwendung von Vorsatzschalen der Konstruktionsbaustoff nicht zur speicherwirksamen Masse gerechnet wird. Flächen ohne Vorsatzschalen können abhängig von der Bauweise eine deutlich höhere wirksame Speichermasse haben. Beispiel hierfür sind sichtbare Massivholzdecken und sichtbare oder verspachtelte Betonoberflächen. So kann auch Holzleichtbeton eine höhere wirksame Speichermasse im Vergleich zu Vorsatzschalen mit Gipsplatten bieten. Daher ist für die Berechnung der wirksamen Speichermasse die Reihenfolge der einzelnen Bauteilschichten

wesentlich. Studien in denen ein „Holzbau“ mit einem „Massivbau“ verglichen wird, haben wenig Aussagekraft, wenn Bauteilaufbauten nicht enthalten sind und wirksame Speichermassen vereinfacht pauschal angenommen wurden.

Während in der Planung die Speichermasse berechnet werden kann, ist das Nutzerverhalten als Einflussfaktor für sommerliche Überwärmung schwer vorhersehbar, denn der Bauherr muss nicht immer der zukünftige Nutzer sein. Beispielsweise sind während der Planung die zukünftigen Bewohner im mehrgeschossigen Wohnbau noch gar nicht bekannt. Um den Nachweis der sommerlichen Überwärmung zu erfüllen, wird in der Planung oft ein optimales Verhalten der Bedienung von Lüftung und Verschattung angenommen. Für die unterschiedlichen Nutzungsarten von Gebäuden gibt es nach ÖNORM B 8110-3:2012 (ASI 2012) minimale Annahmen für interne Wärmegewinne. Wenn die Vorgaben des Bauherrn für interne Wärmegewinne ungünstiger sind als in der ÖNORM (ASI 2012), werden die Werte angepasst. Um sommerliche Überwärmung zu vermeiden können in der Planung hinsichtlich des Lüftungsverhaltens und der Bedienung von Verschattungselementen nur Maßnahmen festgelegt werden, welche im Bericht des Nachweises zur sommerlichen Überwärmung zu dokumentieren sind.

1.3 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, unterschiedliche Bauweisen bei unterschiedlichem Nutzerverhalten hinsichtlich sommerlicher Überwärmung miteinander zu vergleichen. Dabei sollen vor allem die sich widersprechenden Aussagen der Fachleute bezüglich Speichermasse geprüft werden. Die Auswirkungen auf die sommerliche Gebäudeperformance durch die Anbringung von Vorsatzschalen in herkömmlichen Bauweisen sowie der Einsatz von Holzleichtbeton im Holzmassivbau, werden untersucht.

Als Grundlage wird ein eigener Entwurf für eine Wohnung in einem mehrgeschossigen Wohnbau herangezogen. Der Vergleich zwischen den unterschiedlichen Bauweisen wird sowohl nach ÖNORM B 8110-3:2012 (ASI 2012) mit ArchiPhysik (ArchiPhysik) als auch mit einer numerischen thermischen Gebäudesimulation mit energyplus (energyplus) durchgeführt.

Die Arbeit konzentriert sich auf die Thematik der sommerlichen Überwärmung. Es wird weder auf Akustik, Brandschutz oder Kosten der einzelnen Bauweisen im Detail eingegangen. Der Heizwärmebedarf der einzelnen Bauweisen wird mit energyplus ermittelt.

Aufgrund der sich widersprechenden Aussagen von Fachleuten werden folgende Hypothesen untersucht:

H1: Holzbauer sagen, dass die sommerliche Überwärmung in Gebäuden hauptsächlich vom Nutzerverhalten (Bedienung von Lüftungs- und Verschattungselementen) abhängt. **Die Speichermasse hat nur einen geringen Einfluss.**

H2: „Warm im Winter, kühl im Sommer“, damit werben **Vertreter von herkömmlichen Massivbauweisen**. In der Broschüre „Massiv bauen, besser leben“ (DGfm 2014), wird auf die Ergebnisse einer Studie der Alware GmbH verwiesen. Die Ergebnisse der Studie „Vergleich Massivhaus – Holzhaus (EFH)“ (Alware 2015) sind im Kapitel „2.2 Sommerliche Überwärmung“ dargestellt. Können diese Ergebnisse bestätigt werden?

H2A: Massivbauer sind der Meinung, dass Gebäude mit viel Speichermasse die Wärme aufnehmen und Hitzeperioden dadurch besser überbrücken können. Die Überhitzungshäufigkeit von südorientierten Räumen ist in Holzhäusern deutlich höher.

H2B: Laut einer Studie der Alware GmbH (Alware 2015) ist der Heizwärmebedarf in Gebäuden in Holzrahmenbauweise um 12 % höher als in Massivbauweise (Ziegel, Beton).

H3: Trockenbauer sagen: In lang andauernden Hitzeperioden werden Speichermassen unwirksam. **Zu viel Speichermasse kühlt über Nacht nicht mehr aus.** Vorsatzschalen aus Gipsplatten bieten jene erforderliche Speichermasse, damit tagsüber die Wärme aufgenommen und nachts wieder an den Raum abgegeben werden kann.

Forschungsfrage:

F1: Bringt die Anwendung von Holzleichtbeton im Holzmassivbau eine Verbesserung?

2 STAND DER FORSCHUNG

2.1 Holzleichtbeton

Die Entwicklung und Forschung von Holzleichtbeton stellt aufgrund der statischen Tragfähigkeit neue Verbundkonstruktionen in Aussicht. Das Material bietet mit seinen bauphysikalischen Eigenschaften und den vielfältigen ästhetischen Oberflächen Einsatzmöglichkeiten im Innenraum. Für die Herstellung des Materials können Schwachholz und Holzreststoffe genutzt werden. Ziel der Anwendung dieses Materials ist eine wirtschaftliche und ökologische Optimierung von flächigen Holz-Beton-Verbundkonstruktionen um dadurch das Bauen mit Holz effizienter zu machen. (Krippner 2012)

2.1.1 Materialeigenschaften

Je nach Mischungsverhältnis und Mischvorgang von Sägespänen, Zement, Wasser und gegebenenfalls Additiven erreicht Holzleichtbeton unterschiedliche Eigenschaften. Im Teilprojekt 17 „Holzleichtbeton im Hochbau“ (Krippner et al. 2008) wurden mit unterschiedlichen Ausgangsrezepturen materialspezifische Untersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zu sehen. *„Mit den Wärmeleitfähigkeitswerten von 0,14 - 0,28 W.m⁻¹.K⁻¹ bei Rohdichten zwischen 540 und 700 kg.m⁻³ liegt der Holzleichtbeton im Bereich von Porenbeton.“* (Krippner et al. 2008, S.35)

Am ZAE Bayern wurden im Jahr 2000 Untersuchungen zur spezifischen Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit verschiedener Mischungen durchgeführt. Abbildung 2 zeigt, dass mit zunehmender Rohdichte der Lambda-Wert steigt und die spezifische Wärmekapazität leicht abnimmt. (Krippner 2004)

Tabelle 2 Übersicht von Holz-Leichtbeton Rezepturen sortiert nach λ , Quelle: Krippner 2004

| R.-Nr. | Probe-körper | Rohdichte ρ Kg.m ⁻³ | Wärmeleitfähigkeit λ W.m ⁻¹ .K ⁻¹ | spez. Wärmekapazität c_p (25 °C) J.kg ⁻¹ |
|--------|--------------|---|---|---|
| VI | VI / 8 | 600 | 0,145 | 1,387 |
| | VI / 16 | 615 | 0,167 | 1,248 |
| I | I / 7 | 947 | 0,281 | 1,349 |
| | I / 16 | 975 | 0,283 | 1,264 |
| | I / 26 | 892 | 0,287 | 1,165 |
| II | II / 26 | 1.273 | 0,439 | 1,301 |
| | II / 16 | 1.281 | 0,456 | 1,212 |
| III | III / 13 | 1.244 | 0,470 | 1,004 |
| | III / 4 | 1.287 | 0,401 | 1,156 |
| IV | IV / 4 | 1.701 | 0,718 | 1,239 |
| | IV / 10 | 1.717 | 0,752 | 1,163 |

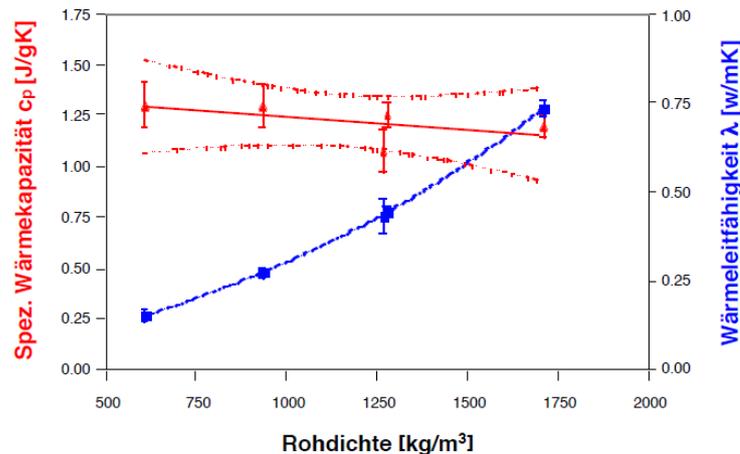


Abbildung 2 Gemittelte Werte der spezifischen Wärmekapazität und der Wärmeleitfähigkeit bei Raumtemperatur in Abhängigkeit der gemittelten Probedichte, Quelle: Krippner 2004

Im Teilprojekt 17 „Holzleichtbeton im Hochbau“ (Krippner et al. 2008) wurden vier Ausgangsrezepturen mit einem Holzmasseanteil von 15, 20, 25 und 30 % auf das Verhalten im Brandfall geprüft. Die letzten beiden Ziffern der folgenden Rezepturen geben den Holzmasseanteil an. Bei der Brennwertermittlung nach EN ISO 1716 lag die Mischung S-P-H06-B-15 mit einem PCS-Wert von $1,722 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ unter dem Grenzwert von $2,0 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ für die Baustoffklasse A1. „Nach Einschätzung der Prüfer ist jedoch das Bestehen der zugehörigen Prüfung nach EN ISO 1182 (Ofentest) mit dem Kriterium ‚keine anhaltende Entflammung‘ nicht sehr wahrscheinlich...“ (Krippner et al. 2008, Seite 21) Die Mischung S-P-H06-B-20 erreichte mit einem PCS-Wert von $2,763 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Grenzwert $3,0 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) die Klasse A2. Da ab einem Holzmasseanteil von 20 % eine akustische Wirksamkeit in Abhängigkeit des Herstellungsprozesses festgestellt wurde, ist es für die Anwendung im Innenraum von Vorteil, dass die Mischung S-P-H06-B-20 auch die Prüfung nach EN 13823 bestanden hat. Insgesamt ergibt sich daher für die Mischung S-P-H06-B-20 eine Baustoffklasse von A2-s1, d0. Die Prüfungen im Teilprojekt 17 dienten einer ersten Orientierung im Brandverhalten. „Die endgültige Klassifizierung kann nur nach Durchführung von mindestens 3 Versuchen sowie den Versuchen nach EN ISO 1716 (Brennwertermittlung) desselben Materials aus einer Produktion erfolgen.“ (Krippner et al. 2008, Seite 23) (Krippner et al. 2008, Seite 20-23)

Die Ergebnisse der lichttechnischen Untersuchungen aus dem Teilprojekt 17 (Krippner et al. 2008) zeigen, dass die Farbwiedergabeeigenschaften des reflektierten Lichtes nahezu denen des auftreffenden Lichtes entsprechen. „Holzleichtbeton-Oberflächen sind daher sehr gut als Reflektor für die Raumbelichtung insbesondere bei Tageslicht geeignet. Die Reflexionsgrade der Proben entsprechen mit 30 - 40 % denen von Naturholz und von normalem grauen Sichtbeton.“ (Krippner et al. 2008, Seite 35)

2.1.2 Einsatzmöglichkeiten im Hochbau

Für den Einsatz von Holzleichtbeton in der Holz-Beton-Verbundweise wurden im Teilprojekt 17 (Krippner et al. 2008) verschiedene Möglichkeiten konzipiert. Krippner stellt Außenwandkonstruktionen in der Holzleichtbeton-Massivholz-Verbundweise in Aussicht (Abbildung 3). Bei den untersuchten Aufbauten wurden Brettstapelelemente (Nadelholz) und zwei verschiedene Holzleichtbetonmischungen mit einer Dichte von $600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (außen) und $1250 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (innen) eingesetzt. Alle Aufbauten wurden mit einer Wandstärke von 30 cm untersucht. So erreicht der einfachste Aufbau, mit jeweils 15 cm Brettstapelholz und Holzleichtbeton außen, einen U-Wert von $0,45 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Davon ausgehend wurden Optimierungen angedacht. Der zweite Aufbau lässt aufgrund der raumseitig angebrachten 6 cm Holzleichtbeton mit einer Dichte von $1250 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ keine Verbesserung erkennen, jedoch gibt der innenseitig angebrachte Holzleichtbeton Potenzial für eine wirksame Speichermasse. Der Aufbau mit Kerndämmung erreicht bei einer Ausführung der Schichten mit jeweils 10 cm einen U-Wert von $0,28 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Trotz der sehr offenporigen Struktur von Holzleichtbeton weist das Material eine hohe Witterungsbeständigkeit auf und eignet sich besonders durch die ästhetisch reizvollen Oberflächen für sichtbare Anwendungen. „Die Aufbauten können je nach Anforderung, zum Beispiel bei der Ausführung als thermisch aktives Bauteil mit Gläsern oder TWD abgedeckt beziehungsweise mit transluzenten Materialien wie Polycarbonat-Doppelstegplatten kombiniert werden.“ (Krippner 2004, Seite 158)



Abbildung 3 Außenwandaufbauten mit Holzleichtbeton, Quelle: Krippner 2004

Bei nicht tragenden Außenwänden sind auch zwei Holz-Leichtbeton Schichten mit einer dazwischenliegenden hoch wärmedämmten Schicht, z.B. Vakuumisulationspaneele denkbar. *„Holzleichtbeton kann ebenfalls in mehrschaligen und/oder mehrschichtigen Konstruktionen mit konventionellen, hinterlüfteten (Holz-)Bekleidungen als Witterungsschutz beziehungsweise raumseitigem Abschluss verwendet werden.“* (Krippner 2004, Seite 158-159)

2.2 Sommerliche Überwärmung

Stand im vorigen Jahrhundert die Reduktion des Heizwärmebedarfs im Mittelpunkt, ist es heute aufgrund des Klimawandels die sommerliche Überwärmung. An welchen Gebäudestandorten sommerliche Überwärmung auftreten kann ist vor allem vom Klima abhängig.

Die Einflussfaktoren für die sommerliche Überwärmung sind sehr komplex. Entscheidend im Hinblick auf die thermische Behaglichkeit ist die operative Temperatur die sich aus der Raumlufttemperatur und den Mittelwert der Strahlungstemperatur aus den umgebenden Oberflächen zusammensetzt. Weitere messbare Einflussfaktoren auf die Behaglichkeit sind Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchtigkeit. Da jeder Mensch individuelle Bedürfnisse hat ist es nicht möglich ein Raumklima festzulegen mit dem jeder zufrieden ist. Man kann jedoch ein Raumklima festlegen, dass ein gewisser Anteil der Anwesenden als annehmbar empfindet. Je höher die Raumlufttemperaturen im Sommer, desto höher ist der PPD-Index (vorhergesagter Prozentsatz der Unzufriedenen). Um die Raumtemperaturen im Sommer so niedrig wie möglich zu halten sind bauliche Maßnahmen und das Nutzerverhalten entscheidend. Transmissionswärmegewinne, Glasflächenanteil mit deren Sonnenschutz, wirksame Speichermasse, Lüftungsverhalten und interne Wärmegewinne durch die Nutzung haben Einfluss auf die sommerliche Überwärmung. Zusammenhang und Einflussgröße der Faktoren sind bereits in Studien erarbeitet.

Teibinger hat im Rahmen einer Studie den Einfluss der Bauweise (speicherwirksame Masse), des Baustandards (Niedrigenergie-, Passivhausstandard) und die Lage der Beschattungen auf die operative Raumtemperatur untersucht. Ausgangslage war ein süd-west orientierter, 12 m² großer Dachgeschoßraum eines Einfamilienhauses dessen Dach nach Westen orientiert ist. Der Raum hatte ein 1,20 m² großes Dachflächenfenster und südseitig eine 2 m² große Balkontüre. Die Ergebnisse zeigen, dass eine alleinige Betrachtung der speicherwirksamen Masse nicht ausreicht. Es ist ein Zusammenspiel zwischen solaren Einträgen, Lüftung und wirksamer Speichermasse. *„Je höher die Speicherfähigkeit desto länger dauert die Nachtabkühlung. Je geringer die speicherwirksame Masse desto größer muss das Augenmerk auf die Verringerung des Energieeintrages liegen“* (Teibinger 2011)

In einem Artikel der Zeitschrift „die neue quadriga“ der Ausgabe 3/2011 schreibt Müller (Müller 2011a), dass der in diversen Publikationen fallende Begriff „Phasenverschiebung“, dem eine hohe Bedeutung für die Behaglichkeit des sommerlichen Raumklimas zugemessen wird ein gedanklicher Fehler ist. Grund dafür ist, dass der größte Teil der Wärme durch Solareinstrahlung durch die Fenster kommt. Weiters schreibt er, dass bei heutigen Dämmstandards die Aussagekraft der Bauteileigenschaft „Phasenverschiebung“ unter realen Bedingungen gegen Null tendiert. In der Ausgabe 6/2011 der Zeitschrift „die neue quadriga“ zeigt Müller (Müller 2011b) anhand eines Referenzgebäudes eine Parameterstudie mit dem Simulationsprogramm IDA-ICE. Die Studie umfasst den Glasflächenanteil bezogen auf die Fassadenoberfläche, die Verschattung, das Nutzerverhalten sowie die Wärmespeicherkapazität unterschiedlicher Bauweisen. Die Ergebnisse zeigen, dass ein gutes Lüftungsverhalten umso wichtiger wird, je höher der Glasanteil ist. Abbildung 4 zeigt aber auch, dass trotz Viellüftern die Überschreitungshäufigkeit zwischen niedriger und hoher Wärmespeicherkapazität einen deutlichen Unterschied ausmacht.

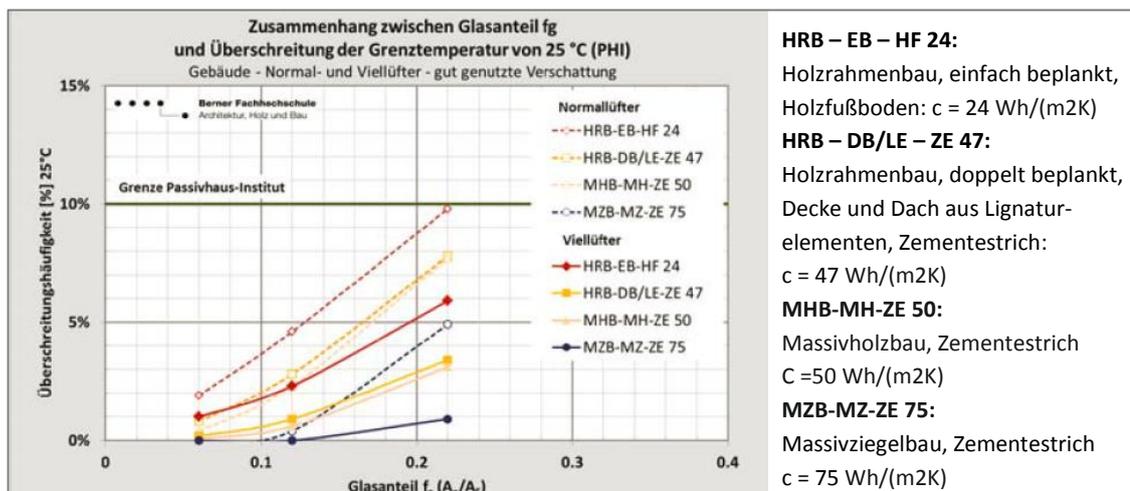


Abbildung 4 Vergleich Normal- und Viellüfter bei gut genutzter Verschattung, Quelle: Müller 2011b

Abbildung 5 und 6 zeigen den Zusammenhang zwischen Wärmespeicherkapazität, Glasanteil und der Überschreitungshäufigkeit über 25 °C unter der Voraussetzung von Normallüftern. Abbildung 6 zeigt, dass durch höhere solare Einträge aufgrund wenig genutzter Verschattung die Kurven sich im Vergleich zu Abbildung 5 bei gut genutzter Verschattung nach rechts verschieben. Das bedeutet, dass das schlechtere Nutzerverhalten durch einen geringeren Glasanteil oder durch Erhöhung der Wärmespeicherkapazität kompensiert werden muss. „Während der Holzbau mit nur sehr geringer Wärmespeicherkapazität (einfache Beplankung und Holzfußboden) sich nur 12 % Glasanteil erlauben kann, dürfte das Gebäude in Holzbauweise mit doppelter Beplankung bzw. aus Massivholzelementen und mit Zementestrich bereits 16 % Glasanteil haben.“ (Müller 2011b)

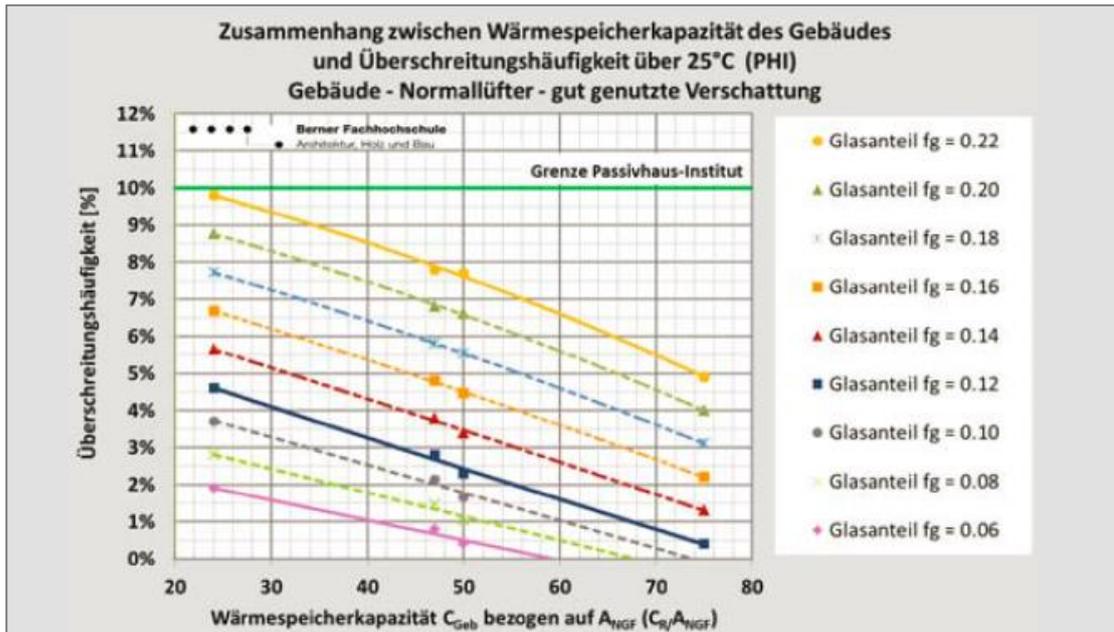


Abbildung 5 Zusammenhang zwischen Wärmespeicherkapazität, Glasanteil und der Überschreitungshäufigkeit über 25 °C unter den Voraussetzungen von Normallüftern und gut genutzter Verschattung, Quelle: Müller 2011b

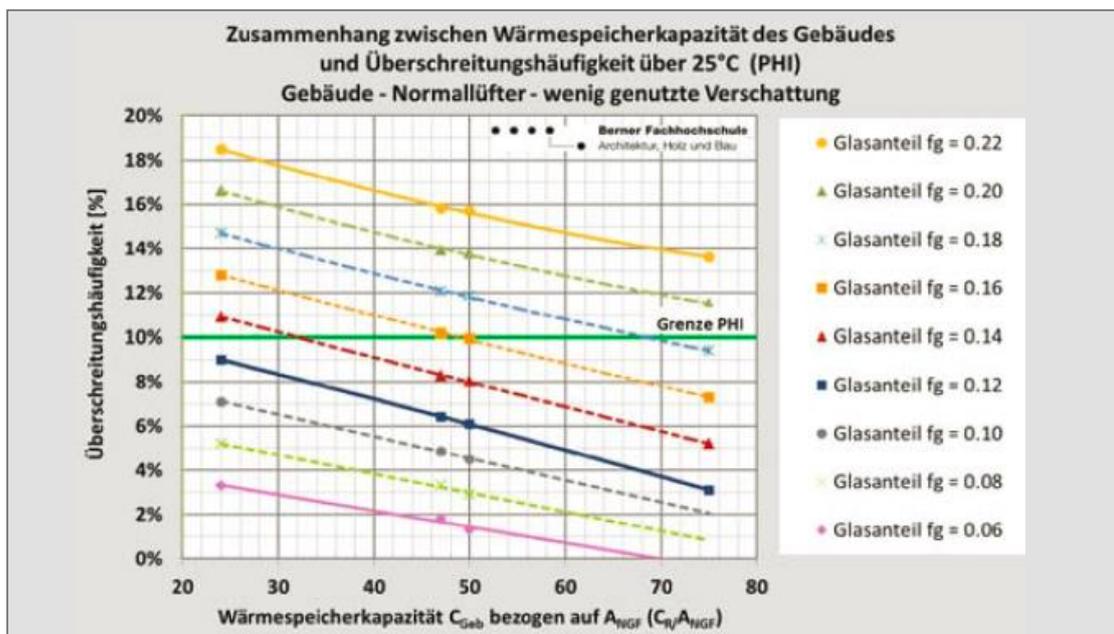


Abbildung 6 Zusammenhang zwischen Wärmespeicherkapazität, Glasanteil und der Überschreitungshäufigkeit über 25 °C unter den Voraussetzungen von Normallüftern und wenig genutzter Verschattung, Quelle: Müller 2011b

Die Firma Saint-Gobain Isover SA erteilte der EMPA Abteilung Bautechnologien den Auftrag, den sommerlichen Wärmeschutz von Dachräumen zu untersuchen und die Einflussfaktoren auf das Raumklima im Detail zu analysieren. Die Größe und Bauart des Dachraumes wurden vom Auftraggeber vorgegeben. Die Untersuchung erfolgte rechnerisch mit dem dynamischen Gebäudesimulationsprogramm HELIOS anhand des Klimas von Zürich-Kloten.

Die zusammenfassenden Untersuchungsergebnisse sind in Abbildung 7 dargestellt und zeigen die verschiedenen Einflussfaktoren und deren Auswirkung auf die maximale Raumtemperatur. (Frank 2009)

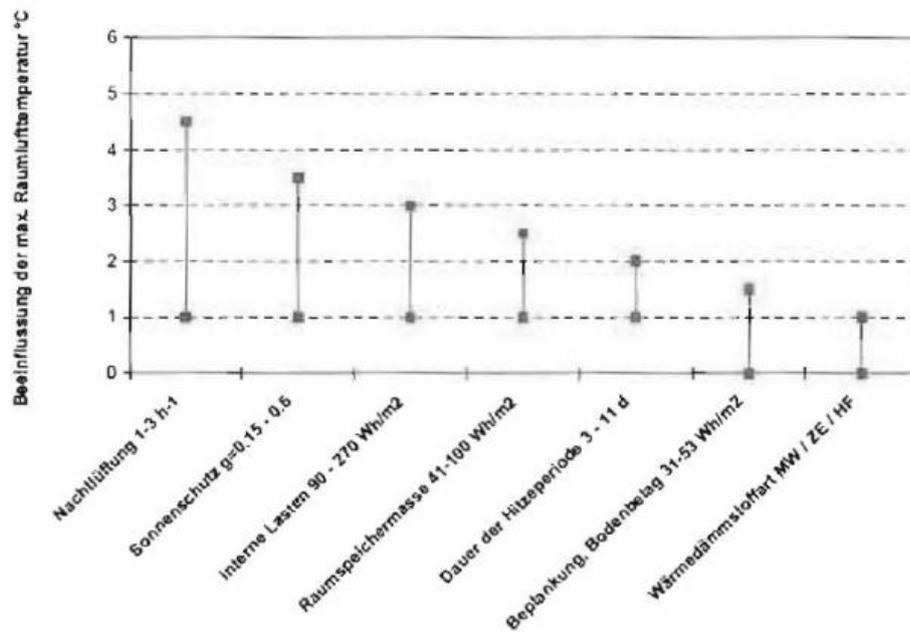


Abbildung 7 Einflussfaktoren und deren Auswirkung auf die Temperatur in Dachräumen
Quelle: Frank 2009

Bezüglich der positiven Wirkung von Speichermasse gibt es auch gegenteilige Meinungen. Im Trockenbau Journal der Ausgabe 2/2012 meint Vötter: „Allzu viel speicherfähige Masse macht das Gebäude in jeder Hinsicht träge. Dicke, massive Wände speichern an einem langen Sommertag viel zu viel Wärme, um in den kurzen Sommernächten wirklich abkühlen zu können... Speichermasse puffert zwar kurzfristig die Spitzentemperaturen ab, allerdings bei den auch in Österreich immer länger anhaltenden Hitzeperioden erwärmen sich auch große Speichermassen und werden somit unwirksam.“ (Vötter 2012)

In der Broschüre „Massiv bauen, besser leben“ (DGfm 2014), wird erklärt, dass die Wärmespeichermassen von Massivhäusern Temperaturspitzen tagsüber spürbar abbauen und in den Nachtstunden die Wärme an die Räume zurück geben. Weiters wird auf die Ergebnisse einer Studie der Alware GmbH verwiesen. Es ist eine weitere Studie (Alware 2015) zu finden, in der vier Massivbauweisen und eine Holzrahmenbauweise anhand eines Einfamilien-Typenhauses miteinander verglichen werden. Die wesentlichsten Ergebnisse der Studie, zusammengefasst in Tabelle 3, zeigen, dass je nach Bauweise der Massivhäuser die Überhitzungshäufigkeit im Mittel 0,5 bis 1,5 Prozentpunkte niedriger und die erreichte Maximaltemperatur im Mittel 0,9 bis 2,1 K geringer ist. Auch der Energiebedarf für die

Heizung ist in den Massivbauweisen um 4,7 bis 8,2 % geringer als in der Holzrahmenbauweise. Abbildung 8, zu finden in der Broschüre „Massiv bauen, besser leben“ aus den Jahren 2014 und 2015, zeigt einen Vergleich des Heizwärmebedarfs und der Überhitzungshäufigkeit der Südräume zwischen einem kfw-55 Haus und einem Holzhaus. In Deutschland entspricht ein kfw-100 Haus den Vorgaben der Energieeinsparverordnung (EnEV n.d.) für einen Neubau. Ein kfw-55 Haus verbraucht um 45 % weniger Primärenergie pro Jahr als ein vergleichbarer Neubau. In der Broschüre (DGfM 2014) gibt es zwar keine Angaben über das „Massivhaus“ und das „Holzhaus“, aber die Alware GmbH hat die Studie „Vergleich Massivhaus – Holzhaus (EFH)“ (Alware 2015) aus dem Jahr 2015 veröffentlicht.

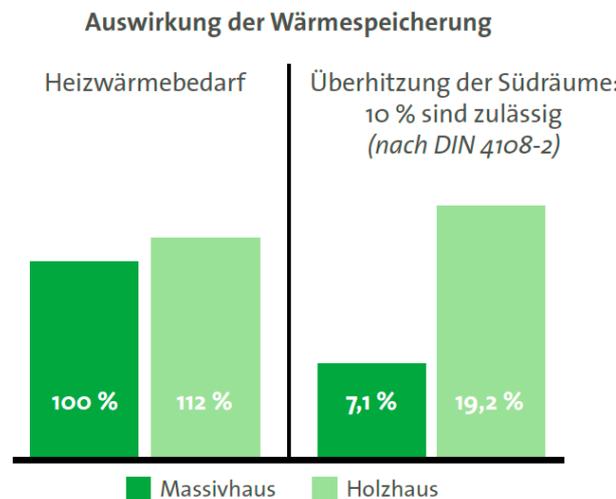


Abbildung 8 Vergleich zwischen einem kfw-55 und einem Holzhaus, Quelle: DGfM 2014

Tabelle 3 Ergebnisse einer Studie der Alware GmbH. Die farbigen Werte geben die Unterschiede zum Referenzfall Holzhaus an, Quelle: Alware 2015

| Variationen - Übersicht | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------|-------------------|------------------------|
| Ergebnisse | | | | | | | | | | | |
| Nr. | Variante | Bauweise | Raum- Fläche | Volumen | Thermischer Komfort | | | Heizung | | | |
| | | | | | min. Raum- Temperatur | Häufigkeit T<20°C | max. Raum- Temperatur | Häufigkeit T>26°C | Energie- bedarf | max. Leistung | spez. max. Leistung |
| | | | [m ²] | [m ³] | [°C] | [%/a (h/a)] | [°C] | [%/a (h/a)] | [MWh/a] | [kW] | [W/m ² K] |
| 1 | Ziegel | | 149 m ² | 423 m ³ | Wohnräume 20°C (Flur, AB 17°C) | - | 30,6°C (-1,1 K) | 8,7% (764 h) (-0,7 %-Pkt.) | 7,8 MWh/a (-8,2%) | 4,6 kW (-4,2%) | 30,9 W/m ² |
| 2 | Kalk- sandstein | | 151 m ² | 429 m ³ | Wohnräume 20°C (Flur, AB 17°C) | - | 29,6°C (-2,1 K) | 7,9% (694 h) (-1,5 %-Pkt.) | 8,0 MWh/a (-5,9%) | 4,6 kW (-4,2%) | 30,5 W/m ² |
| 3 | Porenbeton | | 149 m ² | 423 m ³ | Wohnräume 20°C (Flur, AB 17°C) | - | 30,8°C (-0,9 K) | 8,9% (776 h) (-0,5 %-Pkt.) | 8,1 MWh/a (-4,7%) | 4,6 kW (-4,2%) | 31,2 W/m ² |
| 4 | Leichtbeton | | 144 m ² | 410 m ³ | Wohnräume 20°C (Flur, AB 17°C) | - | 30,7°C (-1,0 K) | 8,9% (780 h) (-0,5 %-Pkt.) | 7,9 MWh/a (-7,1%) | 4,6 kW (-4,2%) | 29,6 W/m ² |
| 5 | Holzbau (Ref.-Fall) | | 154 m ² | 454 m ³ | Wohnräume 20°C (Flur, AB 17°C) | - | 31,7°C (0 K) | 9,4% (824 h) | 8,5 MWh/a (100%) | 4,8 kW (100%) | 31,5 W/m ² |

3 VORGANGSWEISE/METHODE

In der vorliegenden Arbeit werden sechs Bauweisen, vier Himmelsrichtungen und drei Annahmen für Lüftungs- und Verschattungsszenarien anhand eines Referenzgebäudes miteinander verglichen. Für jeden untersuchten Raum erhält man 72 Ergebnisse (6 Bauweisen x 4 Orientierungen x 3 Szenarien). Der Vergleich erfolgt mit dem Verfahren nach ÖNORM B 8110-3 (ASI 2012) mit ArchiPhysik und anhand einer numerischen thermischen Gebäudesimulation mit energyplus.

In den folgenden Kapiteln werden Bauweisen, Referenzgebäude, interne Wärmegewinne und die Annahmen für Lüftungs- und Verschattungsszenarien beschrieben. Auf die Unterschiede zwischen dem Verfahren nach ÖNORM (ASI 2012) mit ArchiPhysik und einer numerischen thermischen Gebäudesimulation mit energyplus wird ebenfalls eingegangen. Detaillierte Angaben zu allen einzelnen Annahmen wie beispielsweise Materialkennwerte, Bauteilaufbauten, Sonnenschutz, etc. sind aus dem Anhang zu entnehmen.

3.1 Untersuchte Bauweisen

Grundlage für die Auswahl der Bauweisen war das vereinfachte Verfahren zur Berechnung der wirksamen Wärmekapazität nach Anhang A der ÖNORM EN ISO 13786:2007 (ASI 2007). Dabei ist die raumseitige Eindringtiefe für die effektiv wirksame Speichermasse entscheidend. In Abbildung 9 ist dargestellt, dass die Eindringtiefe maximal die halbe Bauteildicke beträgt oder maximal bis zur ersten Dämmschicht gerechnet wird. Die effektive Höchsteindringtiefe hängt von der Periodendauer der Phasenverschiebung des Bauteils ab.

Somit bieten Bauteilaufbauten mit Vorsatzschalen eine geringe wirksame Speichermasse, da zwischen den vorgesetzten Platten und der Wand ein Luftraum bzw. eine Dämmschicht ist. Hingegen haben sichtbare oder verspachtelte Betonkonstruktionen eine sehr hohe wirksame Speichermasse.

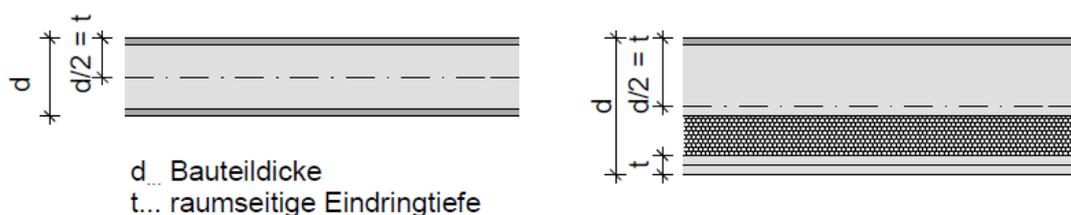
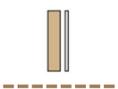
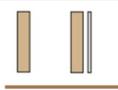


Abbildung 9 Eindringtiefe nach ÖNORM EN ISO 13786:2007, Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 10 zeigt eine Übersicht der untersuchten Bauweisen. Die Bauweisen Holzmassivbau, Betonbau und Holzrahmenbau werden einmal jeweils mit Vorsatzschalen an allen Oberflächen, ausgenommen des Fußbodens, angenommen. Die Holzmassiv- und Betonbauweise werden jeweils auch mit konstruktiv sichtbaren Oberflächen ohne Vorsatzschale angenommen. Vorsatzschalen werden nur dort angebracht, wo es zur Erfüllung der akustischen Mindeststandards erforderlich ist. Für die sechste Bauweise wird der Holzmassivbau ohne Vorsatzschale herangezogen und an ausgewählten Oberflächen mit Holzleichtbeton verkleidet.

| Bauweisen | Holzmassivbau | Betonbau | Holzrahmenbau |
|---|---|---|---|
| Mit Vorsatzschale |  HMB_VS |  SBB_VS |  HRB_VS |
| Ohne Vorsatzschale Vorsatzschale nur wenn erforderlich |  HMB_oVS |  SBB_oVS |  |
| Mit Holzleichtbeton an ausgewählten Oberflächen (als Vorsatzschale) |  HMB_HLB |  |  |

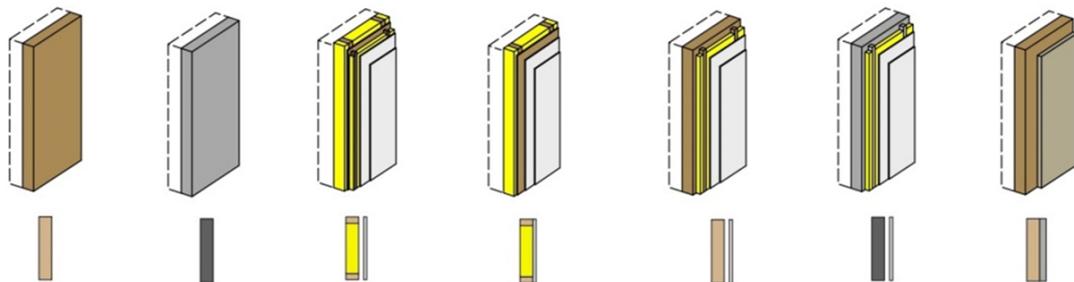


Abbildung 10 Untersuchte Bauweisen, Quelle: eigene Darstellung

Für die Übersichtlichkeit in den Diagrammen werden jeder Bauweise eine Abkürzung und eine Liniendarstellung zugeordnet (siehe Abbildung 10). Unterbrochene Linien sind Bauweisen mit Vorsatzschalen.

Eine Liste mit allen Bauteilaufbauten befindet sich im Anhang. Es wird angenommen, dass die unterschiedlichen Bauteildicken, weder die Nutzfläche noch das Volumen der Räume verändern. Für die Aufbauten der außenluftberührten Bauteile wurden Schichtdicke und Lambda-Werte der Dämmungen so angepasst, dass alle Bauweisen annähernd einen U-Wert von $0,16 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ erreichen.

3.2 Referenzgebäude

Die unterschiedlichen Bauweisen und Nutzerszenarien werden anhand einer Wohnung eines mehrgeschossigen Wohnbaus miteinander verglichen. Abbildung 11 zeigt den Entwurf des Grundrisses, der eine typische durchgesteckte Wohnung mit einer Außenerschließung darstellt. Die Erschließung der Wohnungen erfolgt über eine frei stehende Konstruktion. Vom abgesetzten Gang gelangt man über Terrassen zu den Wohnungstüren. Innerhalb der Wohnung ist die Positionierung der beiden Installationsschächte so gewählt, dass ohne Veränderung des Tragsystems unterschiedliche Raumkonfigurationen möglich sind. So ist es vor allem in der Planungsphase möglich, zukünftigen Bewohnern eine gewisse Entscheidungsfreiheit bei der Wohnraumgestaltung zu geben. Abbildung 12 zeigt unterschiedliche Varianten des Grundrisses.

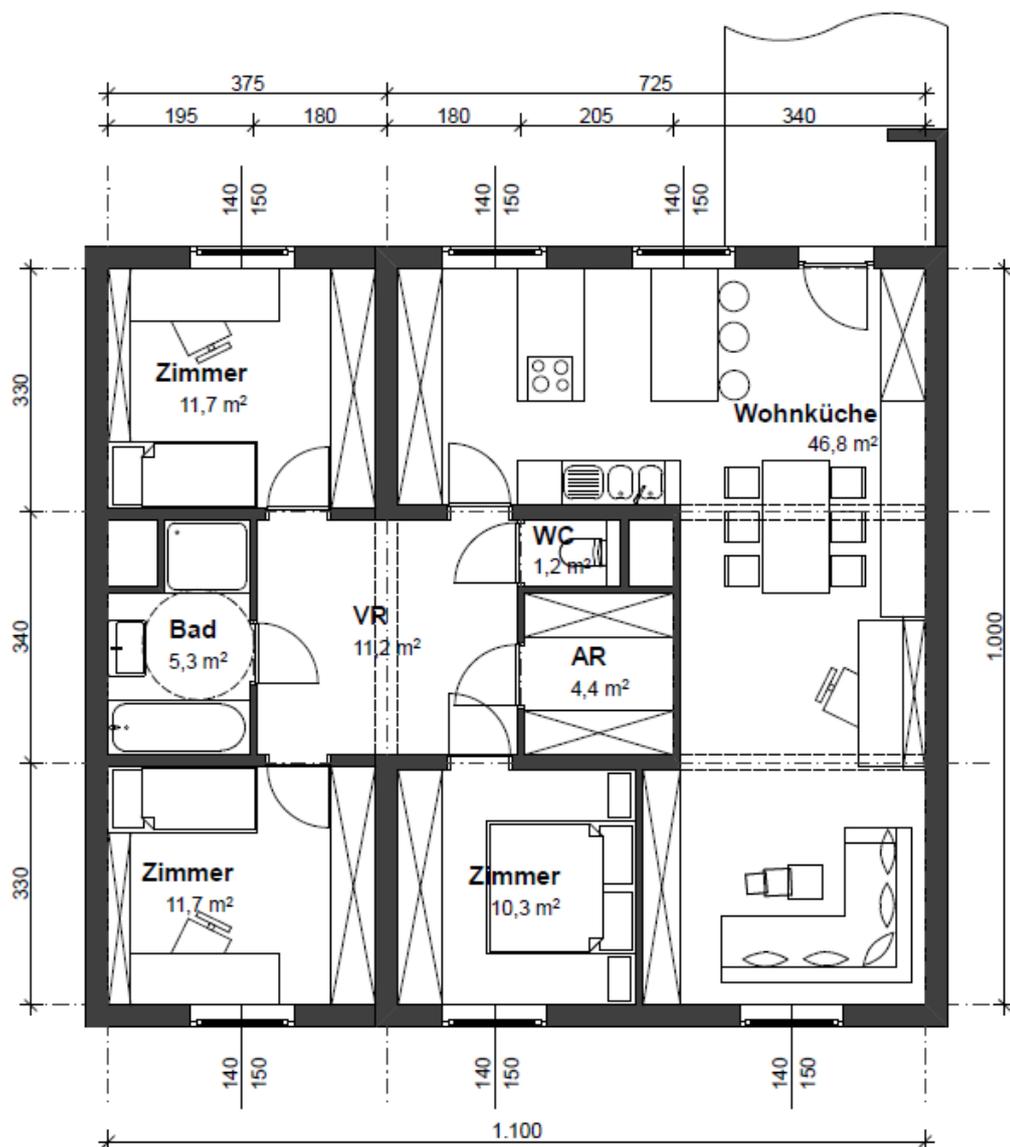


Abbildung 11 Entwurf des mehrgeschossigen Wohnungsgrundrisses, Quelle: eigene Darstellung



Abbildung 12 Wohnungstypen, Quelle: eigene Darstellung

Abbildung 13 zeigt eine Variante des Grundrisses mit vereinfachter Geometrie, der für die Simulationen herangezogen wird. Die beiden Installationsschächte und die Nische für die Wohnwand in der Wohnküche werden entfernt. Die Außenflächen der Wohnung bestehen aus zwei Außenwänden (AW), zwei adiabatischen Wohnungstrennwänden (WTW) und zwei adiabatischen Boden- bzw. Deckenkonstruktionen. Weiters gibt es tragende Innenwände (IW_t) und nicht tragende Innenwände (IW_nt). In der Abbildung ist beispielhaft für die Holzmassivbauweise mit Holzleichtbeton die Positionierung der Vorsatzschalen mit Gipskartonplatten als auch die Anordnung von Holzleichtbetonelementen hervorgehoben. Mit Hilfe dieser Abbildung und der Bauteilaufbauten aus dem Anhang ist es möglich auch unsymmetrische Wandaufbauten für jede untersuchte Bauweise richtig einzusetzen.

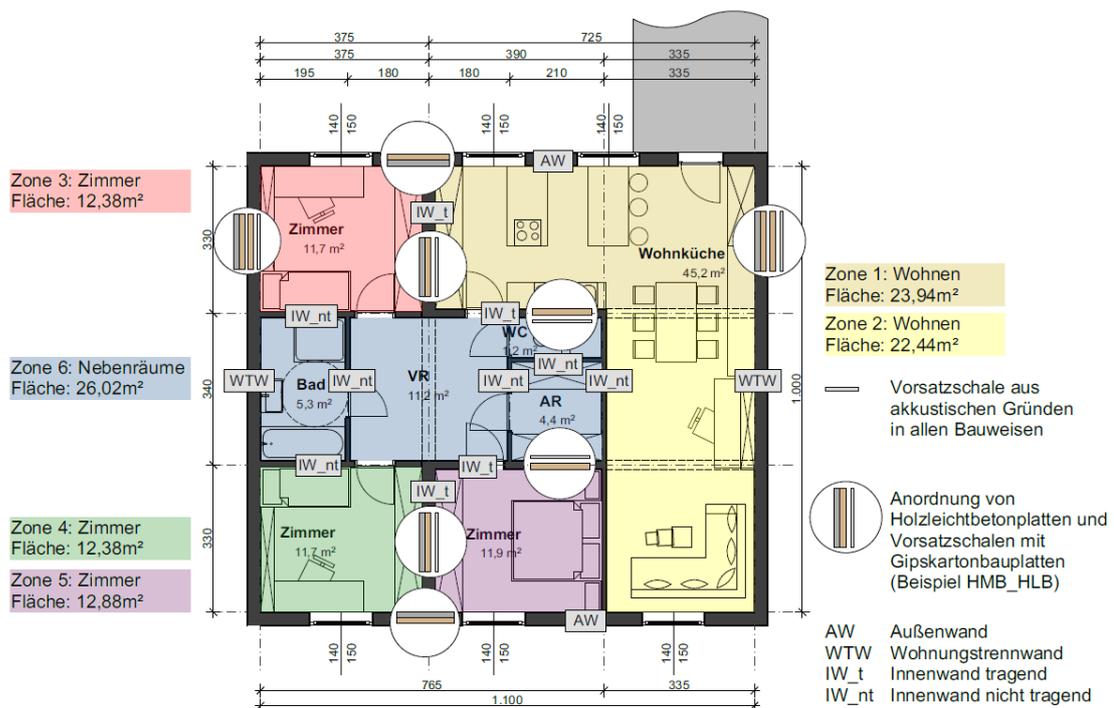


Abbildung 13 Vereinfachter Wohnungsgrundriss für die Simulation, Quelle: eigene Darstellung

Der Wohnungsgrundriss wird in sechs unterschiedliche Zonen eingeteilt. Die Schlafräume bilden jeweils eine Zone, die Wohnküche wird in zwei Zonen geteilt und alle Nebenträume werden zu einer Zone zusammengefasst. Zone drei und vier haben gleiche Geometrie und Bauteiltypen und sind gespiegelt angeordnet.

Um die sommerliche Überwärmung auch in Abhängigkeit der Orientierung zu untersuchen werden alle Fenster als unverschattet angenommen. So wie der Grundriss dargestellt ist, zeigt die Hauptorientierung nach oben. Die Simulation wird mit Norden, Osten, Süden und Westen als Hauptorientierung durchgeführt. Wenn in den Ergebnissen die Zone 1-2 (Wohnküche) Richtung Westen orientiert ist, dann ist jene Außenwand mit zwei Fenstern nach Westen und die andere Wand mit einem Fenster nach Osten orientiert.

3.3 Wetterdaten

Das Verfahren nach ÖNORM B 8110-3 (ASI 2007) ist eine Simulation mit einer virtuellen Außentemperaturkurve eines Tages (15. Juli). Die Temperaturkurve wird nach dem Modell aus ÖNORM B 8110-5 (ASI 2011) ermittelt und ist abhängig vom Gebäudestandort. Für die Sommerliche Überwärmung wird dabei jene Temperatur herangezogen, die im Mittel an nur 13 Tagen im Jahr überschritten wird. (ArchiPhysik 2013) Für die Simulation wird Wien als Standort gewählt.

Für die numerische Gebäudesimulation mit energyplus werden Wetterdaten aus dem Jahr 2011 herangezogen. Die Daten stammen von der Wetterstation der Abteilung für Bauphysik und Humanökologie (BPI 2011), die über eine Wetterstation am Dach der Technischen Universität Wien verfügt.

3.4 Lüftung, Verschattung und interne Wärmegewinne

In der Beurteilung zur Sommertauglichkeit von Räumen sind nach ÖNORM B 8110-3 (ASI 2007) notwendige Maßnahmen des Nutzers zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung im Bericht festzuhalten. Diese Annahmen sind jedoch so konkret, dass sie automatisch gesteuert werden müssten. Beispielsweise sollen Lüftungselemente tagsüber geöffnet werden, wenn die Raumlufthtemperatur höher ist als die Außenlufttemperatur. Sind die Bewohner bzw. Nutzer alleine für die Bedienung von Lüftungs- und Verschattungselementen verantwortlich spricht man vom sogenannten „Nutzerverhalten“, werden diese automatisch gesteuert ist der Begriff „Betriebsszenario“ passender. Jedenfalls ist es für die Ergebnisse aus der Simulation egal ob die Maßnahmen automatisiert gesteuert oder manuell durch Bedienung des Nutzers umgesetzt werden. In weiterer Folge wird daher der Begriff „Szenario“ verwendet.

Für die Simulation in energyplus wird eine Sommerperiode, von April bis September und eine Winterperiode von Oktober bis März festgelegt. Für die Sommerperiode werden die Annahmen für interne Wärmegewinne, Lüftung und Verschattung aus der ÖNORM B 8110-3:2012 (ASI 2007) übernommen. Für die Winterperiode werden die durchschnittlichen Annahmen für Lüftung und interne Wärmegewinne aus dem Monatsbilanzverfahren der Energieausweisberechnung der ÖNORM B 8110-6 (ASI 2014) angepasst. Bevor näher über die einzelnen Annahmen eingegangen wird, ist in Abbildung 14 eine Übersicht der unterschiedlichen Szenarien dargestellt.

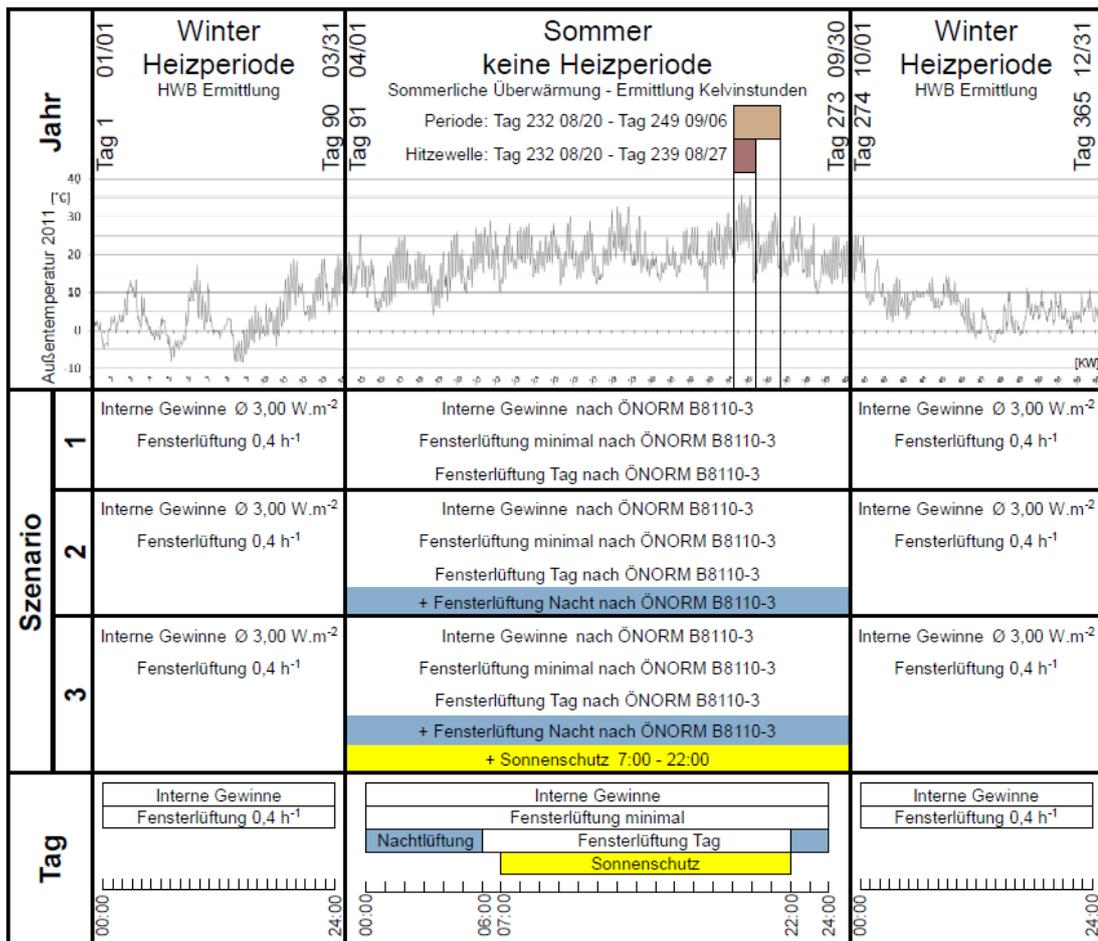


Abbildung 14 Übersicht über Szenarien, Sommer- und Winterperiode, Quelle: eigene Darstellung

Für den Zeitraum der sommerlichen Überwärmung werden drei unterschiedliche Szenarien untersucht. In allen Szenarien gibt es eine „Fensterlüftung Tag“. Dabei werden zwischen 6:00 und 22:00 Uhr die Fenster geöffnet wenn die Innenraumlufttemperatur höher ist als die Außenlufttemperatur. Im Szenario 1 gibt es keine Verschattung und Fenster bleiben zwischen 22:00 und 6:00 Uhr („Fensterlüftung Nacht“) geschlossen. Auch in Szenario 2 wird der Sonnenschutz nicht aktiviert, aber nachts werden Fenster zum Lüften geöffnet. In Szenario 3 wird der Sonnenschutz zwischen 7:00 und 22 Uhr aktiviert und es wird nachts gelüftet.

Interne Wärmegewinne

Auch in energyplus werden für die Sommerperiode die internen Wärmegewinne von Geräten und Personen aus der ÖNORM B 8110-3:2012 (AS1 2007) herangezogen. Die „anzunehmenden inneren Lasten – Wohnung, Gästezimmer in Pensionen und Hotels“ sind in Tabelle 4 dargestellt. Die internen Gewinne werden unabhängig der Raumnutzung in einem 24 Stunden Zeitplan nach der Nutzfläche berechnet. Die zeitlichen Nutzungen der Räume innerhalb der Wohnungseinheit werden vernachlässigt und durch durchschnittliche Werte ersetzt. Die internen Wärmegewinne der Räume sind daher ausschließlich von den stündlichen Durchschnittswerten aus Tabelle 4 und der Nutzfläche der Zimmer abhängig. Abbildung 15 zeigt den Zeitplan der internen Wärmegewinne für Personen und Geräte während der Sommerperiode.

Tabelle 4 ÖNORM B 8110-3:2012 - Anzunehmende innere Lasten Wohnung, Gästezimmer, Hotels. Da im Referenzgebäude keine Raumluftechnik angenommen wird sind die Werte in der Spalte grau.

| Tageszeit | Geräte | Personen | | | Raumluftechnik |
|-----------|-------------------|---------------------------|--|-------------------------------------|--|
| | | spezifische Wärmeleistung | spezifischer hygienischer Luftvolumenstrom | Luftwechselrate bei 2,50 m Raumhöhe | spezifischer Luftvolumenstrom |
| bis h | W.m ⁻² | W.m ⁻² | m ³ .m ⁻² .h ⁻¹ | h ⁻¹ | m ³ .m ⁻² .h ⁻¹ |
| 01:00 | 1.76 | 3.76 | 1.411 | 0.56 | 1.411 |
| 02:00 | 1.67 | 3.76 | 1.411 | 0.56 | 1.411 |
| 03:00 | 1.80 | 3.76 | 1.411 | 0.56 | 1.411 |
| 04:00 | 1.80 | 3.76 | 1.411 | 0.56 | 1.411 |
| 05:00 | 2.61 | 3.76 | 1.411 | 0.56 | 1.411 |
| 06:00 | 5.76 | 3.76 | 1.411 | 0.56 | 1.411 |
| 07:00 | 5.09 | 3.76 | 1.411 | 0.56 | 1.411 |
| 08:00 | 8.06 | 0.94 | 1.411 | 0.56 | 1.411 |
| 09:00 | 6.84 | 0.94 | 0.353 | 0.14 | 1.411 |
| 10:00 | 6.30 | 0.94 | 0.353 | 0.14 | 1.411 |
| 11:00 | 5.67 | 0.94 | 0.353 | 0.14 | 1.411 |
| 12:00 | 4.10 | 0.94 | 0.353 | 0.14 | 1.411 |
| 13:00 | 3.47 | 0.94 | 0.353 | 0.14 | 1.411 |
| 14:00 | 3.33 | 2.82 | 0.353 | 0.14 | 1.411 |
| 15:00 | 5.36 | 2.82 | 1.058 | 0.42 | 1.411 |
| 16:00 | 6.30 | 2.82 | 1.058 | 0.42 | 1.411 |
| 17:00 | 7.70 | 2.82 | 1.058 | 0.42 | 1.411 |
| 18:00 | 6.71 | 3.76 | 1.058 | 0.42 | 1.411 |
| 19:00 | 6.26 | 3.76 | 1.411 | 0.56 | 1.411 |
| 20:00 | 5.36 | 3.76 | 1.411 | 0.56 | 1.411 |
| 21:00 | 4.32 | 3.76 | 1.411 | 0.56 | 1.411 |
| 22:00 | 3.11 | 3.76 | 1.411 | 0.56 | 1.411 |
| 23:00 | 2.70 | 3.76 | 1.411 | 0.56 | 1.411 |
| 00:00 | 1.98 | 3.76 | 1.411 | 0.56 | 1.411 |

Für die Winterperiode wird der Durchschnittswert von $3,75 \text{ W.m}^{-2}$ für interne Wärmegewinne aus der ÖNORM B 8110-5:2011 (AS1 2011) genommen und prozentmäßig an den Zeitplan der internen Gewinne der Sommerperiode angepasst. Dafür werden die anzunehmenden inneren Lasten aus Tabelle 4 zusammengezählt und ein durchschnittlicher Wert über 24 Stunden gebildet. Der Durchschnittswert wird auf $3,75 \text{ W.m}^{-2}$ reduziert und prozentmäßig auf die einzelnen Stunden zurückgerechnet. Anschließend werden die stündlichen Werte mit dem Sicherheitsfaktor 0,8 nach ÖNORM B 8110-6:2014 (AS1 2014) multipliziert. In Tabelle 5 ist die Umrechnung dargestellt. Abbildung 16 zeigt den Zeitplan für die internen Wärmegewinne während der Winterperiode.

Tabelle 5 Umrechnung interner Wärmegewinne von der Sommerperiode in die Winterperiode

| | spezifische Wärmeleistung nach ÖNORM B 8110-3 | | Interne Wärmegewinne nach ÖNORM B 8110-3 Personen & Geräte | | Wert im Vergleich zum Durchschnitt | Umrechnung von 7.40 W.m^{-2} auf 3.75 W.m^{-2} Durchschnitt | | Faktor 0.8 aus ÖNORM B 8110-6 | Bruchwert zum Maximalwert |
|----------------------|---|-------------------|--|-------------|------------------------------------|---|---------------|-------------------------------|---------------------------|
| | Geräte | Personen | | | | | | | |
| bis h | W.m^{-2} | W.m^{-2} | W.m^{-2} | % | % | W.m^{-2} | % | W.m^{-2} | % |
| 01:00 | 1.76 | 3.76 | 5.52 | 3.11 | 74.59 | 2.80 | 3.11 | 2.24 | 0.52 |
| 02:00 | 1.67 | 3.76 | 5.43 | 3.06 | 73.37 | 2.75 | 3.06 | 2.20 | 0.52 |
| 03:00 | 1.8 | 3.76 | 5.56 | 3.13 | 75.13 | 2.82 | 3.13 | 2.25 | 0.53 |
| 04:00 | 1.8 | 3.76 | 5.56 | 3.13 | 75.13 | 2.82 | 3.13 | 2.25 | 0.53 |
| 05:00 | 2.61 | 3.76 | 6.37 | 3.59 | 86.07 | 3.23 | 3.59 | 2.58 | 0.61 |
| 06:00 | 5.76 | 3.76 | 9.52 | 5.36 | 128.63 | 4.82 | 5.36 | 3.86 | 0.90 |
| 07:00 | 5.09 | 3.76 | 8.85 | 4.98 | 119.58 | 4.48 | 4.98 | 3.59 | 0.84 |
| 08:00 | 8.06 | 0.94 | 9 | 5.07 | 121.61 | 4.56 | 5.07 | 3.65 | 0.86 |
| 09:00 | 6.84 | 0.94 | 7.78 | 4.38 | 105.12 | 3.94 | 4.38 | 3.15 | 0.74 |
| 10:00 | 6.3 | 0.94 | 7.24 | 4.08 | 97.83 | 3.67 | 4.08 | 2.93 | 0.69 |
| 11:00 | 5.67 | 0.94 | 6.61 | 3.72 | 89.31 | 3.35 | 3.72 | 2.68 | 0.63 |
| 12:00 | 4.1 | 0.94 | 5.04 | 2.84 | 68.10 | 2.55 | 2.84 | 2.04 | 0.48 |
| 13:00 | 3.47 | 0.94 | 4.41 | 2.48 | 59.59 | 2.23 | 2.48 | 1.79 | 0.42 |
| 14:00 | 3.33 | 2.82 | 6.15 | 3.46 | 83.10 | 3.12 | 3.46 | 2.49 | 0.58 |
| 15:00 | 5.36 | 2.82 | 8.18 | 4.61 | 110.53 | 4.14 | 4.61 | 3.32 | 0.78 |
| 16:00 | 6.3 | 2.82 | 9.12 | 5.13 | 123.23 | 4.62 | 5.13 | 3.70 | 0.87 |
| 17:00 | 7.7 | 2.82 | 10.52 | 5.92 | 142.15 | 5.33 | 5.92 | 4.26 | 1.00 |
| 18:00 | 6.71 | 3.76 | 10.47 | 5.89 | 141.47 | 5.31 | 5.89 | 4.24 | 1.00 |
| 19:00 | 6.26 | 3.76 | 10.02 | 5.64 | 135.39 | 5.08 | 5.64 | 4.06 | 0.95 |
| 20:00 | 5.36 | 3.76 | 9.12 | 5.13 | 123.23 | 4.62 | 5.13 | 3.70 | 0.87 |
| 21:00 | 4.32 | 3.76 | 8.08 | 4.55 | 109.18 | 4.09 | 4.55 | 3.28 | 0.77 |
| 22:00 | 3.11 | 3.76 | 6.87 | 3.87 | 92.83 | 3.48 | 3.87 | 2.78 | 0.65 |
| 23:00 | 2.7 | 3.76 | 6.46 | 3.64 | 87.29 | 3.27 | 3.64 | 2.62 | 0.61 |
| 00:00 | 1.98 | 3.76 | 5.74 | 3.23 | 77.56 | 2.91 | 3.23 | 2.33 | 0.55 |
| Summe: | 108.06 | 69.56 | 177.62 | 100 | | 90.00 | 100.00 | 72 | |
| Durchschnitt: | | | 7.40 | | | 3.75 | | 3.00 | |

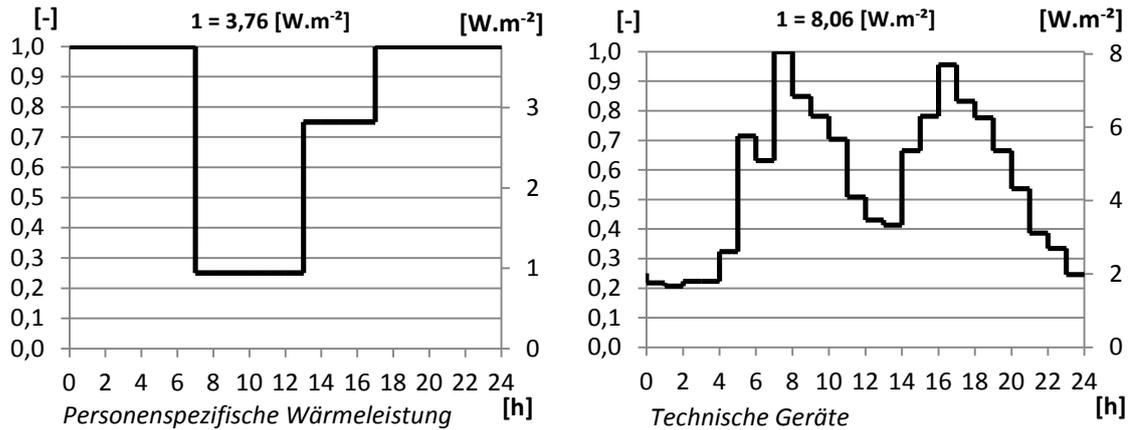


Abbildung 15 Zeitpläne interner Wärmegewinne für die Sommerperiode, Quelle: eigene Darstellung

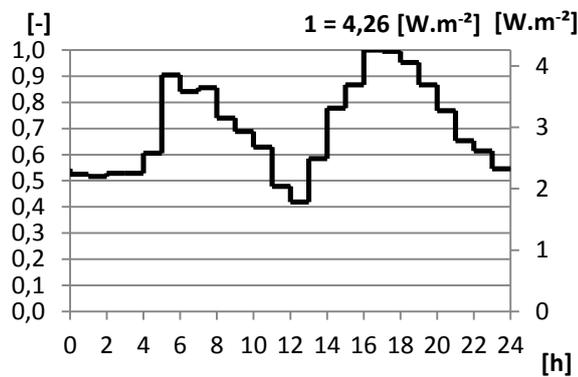


Abbildung 16 Zeitplan interner Wärmegewinne für die Winterperiode, Quelle: eigene Darstellung

Lüftungsannahmen

So wie für die internen Gewinne (Personen und Geräte) werden auch die Annahmen für die Lüftung aus Tabelle 4 für die Sommerperiode übernommen. Da eine Fensterlüftung angenommen wird, sind die Werte für den spezifischen hygienischen Luftvolumenstrom heranzuziehen. Abbildung 17 zeigt den Zeitplan für „Fensterlüftung minimal“. Die Angaben geben den minimalen Luftaustausch zwischen Außenluft und Innenraumluft an. Werden Fenster geöffnet („Fensterlüftung Tag“, „Fensterlüftung Nacht“), können die Werte überschritten werden. Die Luftwechselrate (LWR) der Winterperiode wird konstant mit $0,4 \text{ h}^{-1}$ festgesetzt.

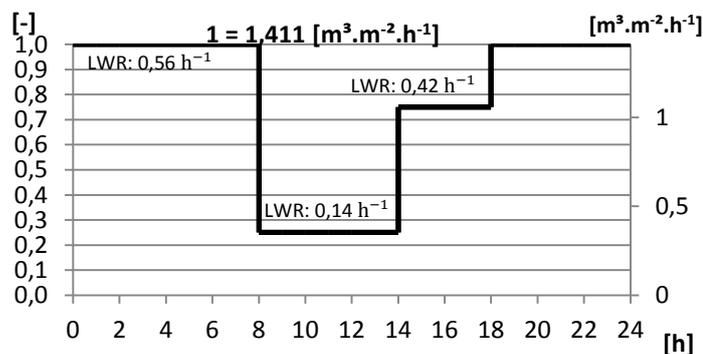


Abbildung 17 Zeitplan der minimalen Luftwechselrate in der Sommerperiode
Quelle: eigene Darstellung

Grundsätzlich ist die Luftwechselrate in Räumen vor allem abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Innenraumluft, der Windgeschwindigkeit und Windrichtung, Geometrie und Anordnung von Lüftungsöffnungen und von eventuellen Strömungsbehinderungen wie beispielsweise Sonnenschutzelemente oder Insektenschutzgitter. Selbst wenn der Einfluss all dieser Faktoren in der Simulation berücksichtigt werden könnte, wären die Ergebnisse aufgrund vieler Einflussfaktoren schwer zu interpretieren. Daher wird in der Regel die Luftwechselrate fixiert. Für die Simulationen in energyplus wurde jedoch die Formel für „Fensterlüftung Tag“ und „Fensterlüftung Nacht“ aus der ÖNORM B 8110-3:2012 (AS1 2012) übernommen, da aufgrund unterschiedlicher Bauteilaufbauten unterschiedliche Innenraumlufttemperaturen entstehen. Somit wird in ArchiPhysik und energyplus jeweils die selbe Formel aus der ÖNORM (AS1 2012) für die Berechnung der Luftwechselrate bei geöffneten Fenstern umgesetzt (in ArchiPhysik implementiert und in energyplus programmiert). In dieser Formel wird die Anzahl, Höhe und Nettofläche der Fensteröffnungen als auch die Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Innenraumluft berücksichtigt. Es ist fest zu halten, dass aus der Formel sehr hohe Luftwechselraten herauskommen, die hinterfragt werden sollten, weil so hohe Luftwechselraten in Realität vielleicht nicht erreicht werden. Nähere Details zur Formel und sind im Kapitel 3.6 Modellannahmen zu finden.

3.5 Vergleich energyplus und Verfahren nach ÖNORM

Im Nachweis der sommerlichen Überwärmung nach ÖNORM (AS1 2012) werden in der Regel die einzelnen Zonen separat eingegeben oder mehrere Räume bis hin zu einer gesamten Wohnung zusammengefasst. In ArchiPhysik wird die Zone 3 bzw. die spiegelgleiche Zone 4 und die Zonen 1 - 2 untersucht. Für die numerische thermische Gebäudesimulation mit energyplus wird die gesamte Geometrie der Wohnung zunächst in SketchUp (SketchUp 2014) mit dem OpenStudio Plug-in (OS 2014) erstellt. In der Regel werden für Raumboberflächen und Nutzflächen Innenmaße herangezogen. Damit in beiden Programmen diese gleich groß sind, wird die Geometrie in ArchiPhysik angepasst. Dafür muss bei zonenbegrenzenden Innenwänden die Raumboberfläche bis zur Mittelachse der Wände angenommen werden. Dadurch ist sichergestellt, dass Nutzfläche und Volumen der einzelnen Zonen in ArchiPhysik und energyplus gleich groß sind und somit auch die internen Gewinne (Personen und Geräte) und der Luftvolumenstrom identisch sind. Weitere wesentliche Unterschiede betreffen Geometrieingabe von Fensterflächen und inhomogene Bauteilaufbauten. In ArchiPhysik wird die Bruttofensterfläche (mit Fensterrahmen) eingegeben während in SketchUp die Nettoverglasungsfläche (mit äußeren Fensterrahmen) gezeichnet werden

muss, da in energyplus der Rahmen nach außen in die Wandfläche dazu kommt. Da Energyplus den Wärmedurchgang in Oberflächen nur eindimensional rechnet, müssen inhomogene Bauteilaufbauten in homogene Schichten geändert werden. Näheres dazu ist im Kapitel 3.6 Modellannahmen beschrieben.

3.6 Modellannahmen

In den vorigen Kapiteln wurden die wichtigsten Unterschiede zwischen ArchiPhysik und energyplus beschrieben. In diesem Kapitel wird beispielhaft auf die einzelnen Annahmen eingegangen. Details zu allen Annahmen wie beispielsweise Materialkennwerte, Bauteilaufbauten, etc. sind dem Anhang zu entnehmen.

Umrechnung inhomogener Materialien in virtuelle homogene Schichten

Für die Konstruktionen in energyplus müssen inhomogene Schichten in homogene virtuelle Materialien umgerechnet werden. Für die spezifische Wärmekapazität und Lambda Wert der Materialien wurde dabei ein Durchschnittswert mit dem jeweiligen prozentmäßigen Materialanteil berechnet. Die Umrechnung wird am Beispiel der tragenden Schicht der Holzrahmenbauweise in Tabelle 6 gezeigt.

Tabelle 6 Umrechnung inhomogener Schichten in virtuelle homogene Schichten/Materialien

| | Material 1 | Material 2 | Umrechnung | Virtuelles Material |
|---|------------|------------|---|---------------------|
| Material | Holz | Dämmung | | |
| Anteil [%] | 16 | 84 | | |
| Wärmeleitfähigkeit [W.m ⁻¹ .K ⁻¹] | 0,11 | 0,04 | $16 \times 0,11 / 100 + 84 \times 0,04 / 100$ | 0,051 |
| Dichte [kg.m ⁻³] | 425 | 50 | $16 \times 425 / 100 + 84 \times 50 / 100$ | 110 |
| Spez. Wärmekapazität [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹] | 1600 | 1030 | $16 \times 1600 / 100 + 84 \times 1030 / 100$ | 1121 |
| Balkenbreite [m] | 0,1 | | | |
| Achsabstand [m] | 0,625 | | | |

Bauteilaufbauten

Bezüglich der Bauteilaufbauten werden hier nur die wichtigsten Punkte erwähnt. Die beiden Betonbauweisen werden mit einem Zementestrich, die Holzbauweisen mit einem trockenen Fußbodenaufbau angenommen. Dabei ist zu beachten, dass in der Simulation auf einen fertigen Fußbodenbelag verzichtet wurde. Es ist anzunehmen, dass die Wahl des fertigen Fußbodenbelages die Ergebnisse beeinflusst. Beispielsweise hat ein Teppich eine höhere und Fliesen eine geringere Dämmwirkung im Vergleich zu einem Parkettboden. Um den

Einfluss zwischen einem Zementestrich und einem trockenem Fußbodenaufbau abschätzen zu können, wird für eine Simulation die Massivholzbauweise ohne Vorsatzschale auch mit einem Zementestrich angenommen und die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale mit einem trockenem Fußbodenaufbau.

Grundsätzlich bestehen alle Vorsatzschalen aus zwei Gipskartonbauplatten. Bei der Holzrahmenbauweise befindet sich in tragenden Innenwänden hinter den beiden Gipskartonbauplatten aus statischen Gründen noch eine OSB-Platte.

Annahmen zu den Fenstern

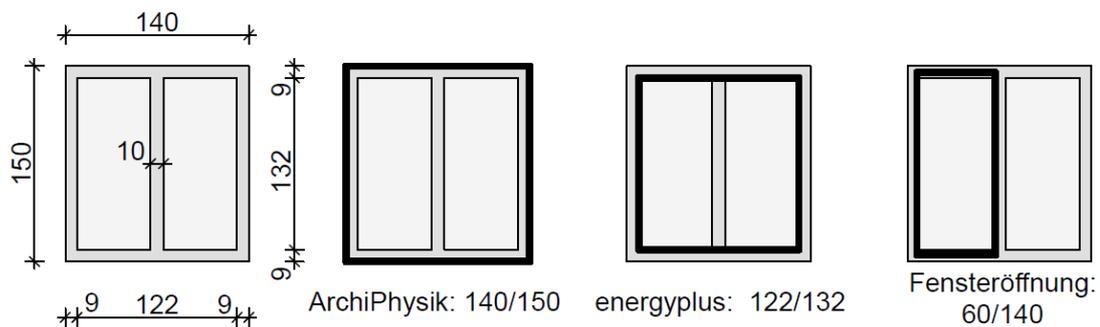


Abbildung 18 Annahmen zur Fenstergeometrie, Quelle: eigene Darstellung

Alle Fenster haben die gleiche Geometrie. Abbildung 18 zeigt die Abmessungen des Fensterrahmens, die Eingabe der Fenstergröße in ArchiPhysik und energyplus und die Annahme zur Größe der Nettoöffnungsfläche bei geöffnetem Fenster. Für „Fensterlüftung Tag“ und „Fensterlüftung Nacht“ wird angenommen, dass nur eine Hälfte des Fensters geöffnet ist. Das Fenster wird mit einem Rahmenanteil von 30 % und einen U-Wert von $1,20 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ (Verglasung $0,9 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, Rahmen $1,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, Glasrandverbund $0,06 \text{ W}/\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) angenommen. Für den außenliegenden Sonnenschutz werden ein solarer Transmissionsgrad von 0,05 und ein solarer Reflexionsgrad von 0,5 angenommen.

$$V = 0,7 \times C_{ref} \times A \times \sqrt{H} \times \sqrt{\Delta T}$$

| | |
|------------|--|
| V | Luftvolumenstrom über die Lüftungsöffnung in $[\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}]$ |
| C_{ref} | Austauschkoeffizient; $C_{ref} = 100$ in $[\text{m}^{0,5} (\text{h}\cdot\text{K}^{0,5})^{-1}]$ |
| A | Fläche der Lüftungsöffnung in $[\text{m}^2]$ |
| H | Höhe der Lüftungsöffnung in $[\text{m}]$ |
| ΔT | Lufttemperaturdifferenz zwischen Außenluft und Innenluft in $[\text{K}]$ |

Formel 1 Formel für Luftvolumenstrom nach ÖNORM B 8110-3:2012

Aufgrund gleicher Geometrie aller Fenster ist die Formel 1 bis auf die Lufttemperaturdifferenz eine Konstante von 69,57 je Zone. Sind in einer Zone zwei Fenster vorhanden, muss diese Konstante mit zwei multipliziert werden. Abbildung 19 zeigt die Ergebnisse der Formel für den Luftvolumenstrom und die Luftwechselrate für die Zone 3/4.

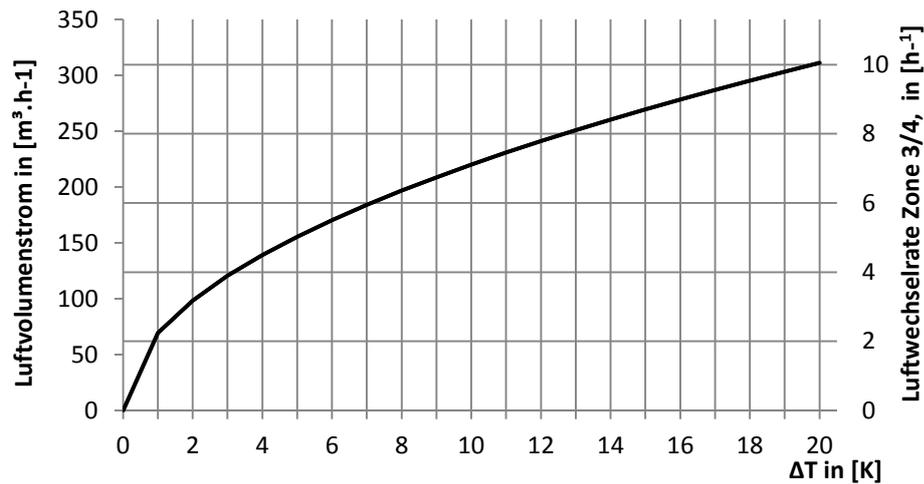


Abbildung 19 Luftvolumenstrom und Luftwechselrate der Zone 3/4 für „Fensterlüftung Tag“ und „Fensterlüftung Nacht“, Quelle: eigene Darstellung

3.7 Auswertung der Daten

Die Auswertung der Daten und Darstellung der Diagramme erfolgte mit Microsoft Excel (Excel 2010). Für die Diagramme werden unter anderem die Kelvinstunden über bestimmten Temperaturen berechnet. Da es sich in ArchiPhysik um eine Tagessimulation handelt werden die Kelvinstunden anders berechnet als in der Jahressimulation mit energyplus (siehe Abbildung 20-21). Um das Über- bzw. Unterschreiten von Temperaturgrenzen zu berücksichtigen, wird unter der Annahme, dass die stündlichen Temperaturpunkte linear verbunden werden, die tatsächliche Fläche über der Temperaturgrenze (T_V) berechnet (siehe Abbildung 22).

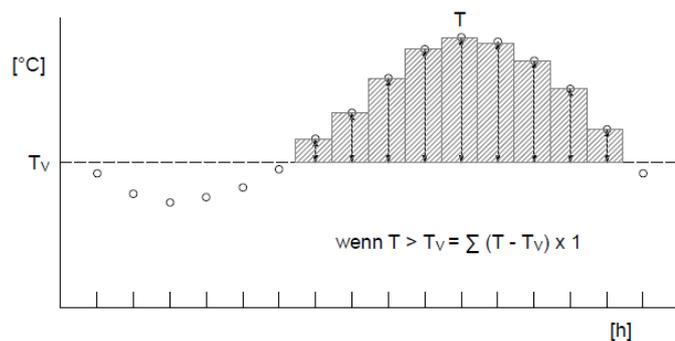


Abbildung 20 Berechnung der Kelvinstunden mit den Daten aus energyplus, Quelle: eigene Darstellung

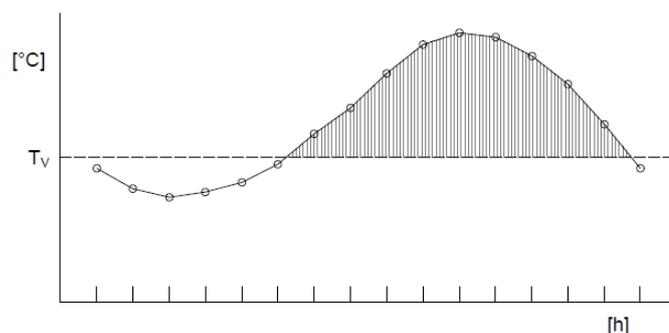
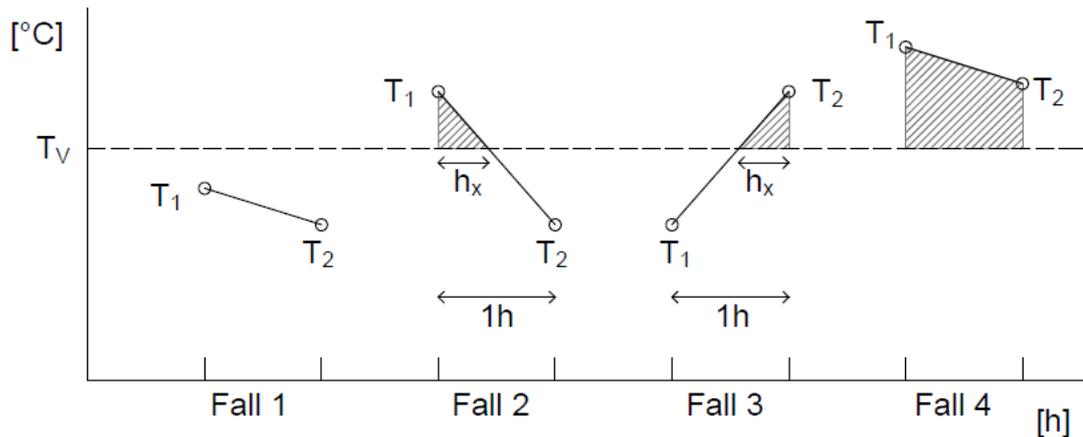


Abbildung 21 Berechnung der Kelvinstunden mit den Daten aus ArchiPhysik
Quelle: eigene Darstellung



Fall 1: $T_1 \leq T_V$ & $T_2 \leq T_V = 0$

Fall 2: $T_1 > T_V$ & $T_2 \leq T_V = \frac{(T_1 - T_V)}{(T_1 - T_2)} \times \frac{(T_1 - T_V)}{2}$
 $\frac{(T_1 - T_2)}{1} = \frac{(T_1 - T_V)}{h_x}$

$$h_x = \frac{(T_1 - T_V)}{(T_1 - T_2)}$$

Fall 3: $T_1 \leq T_V$ & $T_2 > T_V = \frac{(T_2 - T_V)}{(T_2 - T_1)} \times \frac{(T_2 - T_V)}{2}$
 $\frac{(T_2 - T_1)}{1} = \frac{(T_2 - T_V)}{h_x}$

$$h_x = \frac{(T_2 - T_V)}{(T_2 - T_1)}$$

Fall 4: $T_1 > T_V$ & $T_2 > T_V = T_1 + \frac{(T_2 - T_1)}{2} - T_V$

T_V ... Grenztemperatur 25°, 26° oder 27°C

$T_{1,2}$... stündliche operative Raumtemperatur

Abbildung 22 Detaillierte Darstellung der Berechnung der Kelvinstunden mit den Daten aus ArchiPhysik, Quelle: eigene Darstellung

4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Da in den folgenden Kapiteln nicht alle Ergebnisse gezeigt und diskutiert werden können, sind weitere Resultate dem Anhang zu entnehmen. Die Abbildungen sind mit Buchstaben versehen, um die dazugehörigen Darstellungen im Anhang leichter zu finden. Die Ergebnisse aus ArchiPhysik und energyplus werden getrennt behandelt. Grundsätzlich wird versucht die Resultate nach Einfluss der Szenarien, Ausrichtung und Bauweisen in Kapiteln zu trennen. Da sich die Arbeit in erster Linie auf einen Vergleich zwischen den unterschiedlichen Bauweisen konzentriert, kann dieser in fast allen Abbildungen zur Diskussion gebracht werden.

Nach dem Verfahren nach ÖNORM B 8110-3:2012 (AS1 2012) wird die operative Raumtemperatur ermittelt. Deshalb wurden die Ergebnisse aus energyplus ebenfalls ausschließlich mit der operativen Temperatur (Mittelwert aus Raumlufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur der umgebenden Oberflächen) dargestellt.

4.1 ArchiPhysik

4.1.1 Ergebnisse nach Szenario

Die Abbildungen 23 A-C zeigen die Häufigkeit der Überhitzung der Zone 3. Dabei wurde ein durchschnittlicher Wert aus allen Orientierungen für die Szenarien 1 bis 3 berechnet.

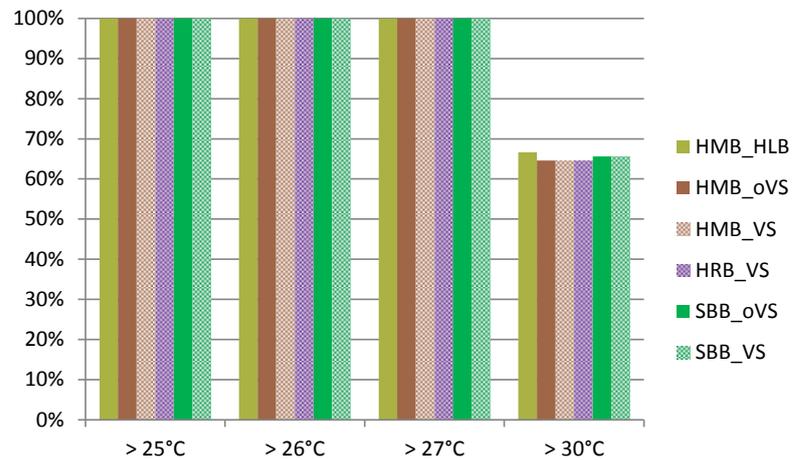


Abbildung 23 A Häufigkeit an Überhitzung, Zone 3, Szenario 1, alle Orientierungen

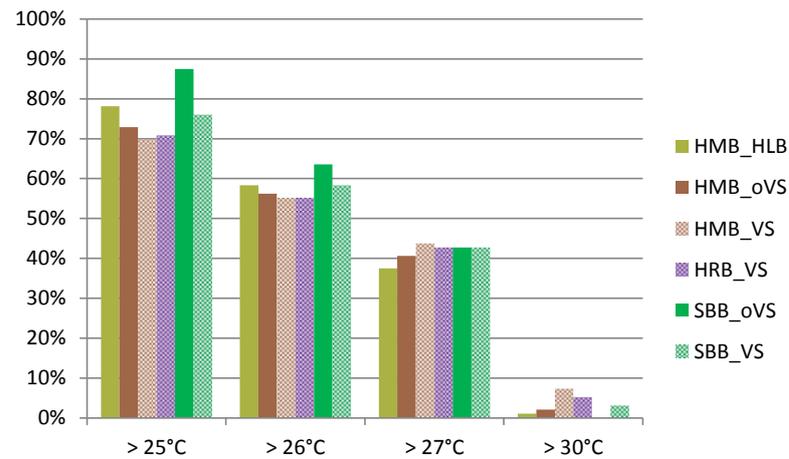


Abbildung 23 B Häufigkeit an Überhitzung, Zone 3, Szenario 2, alle Orientierungen

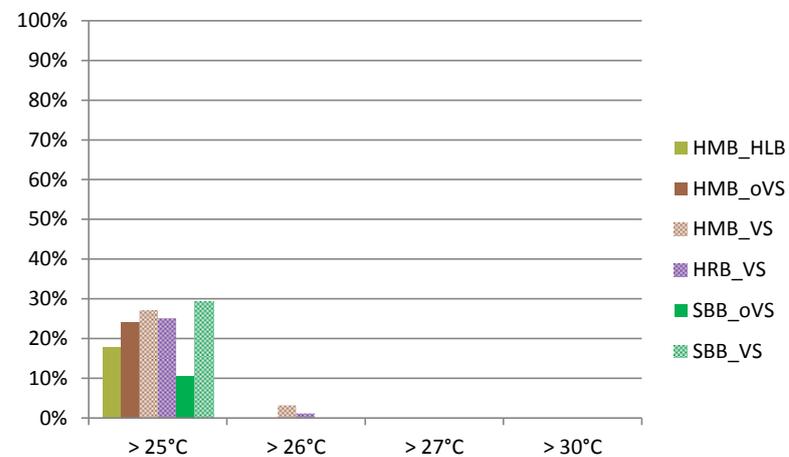
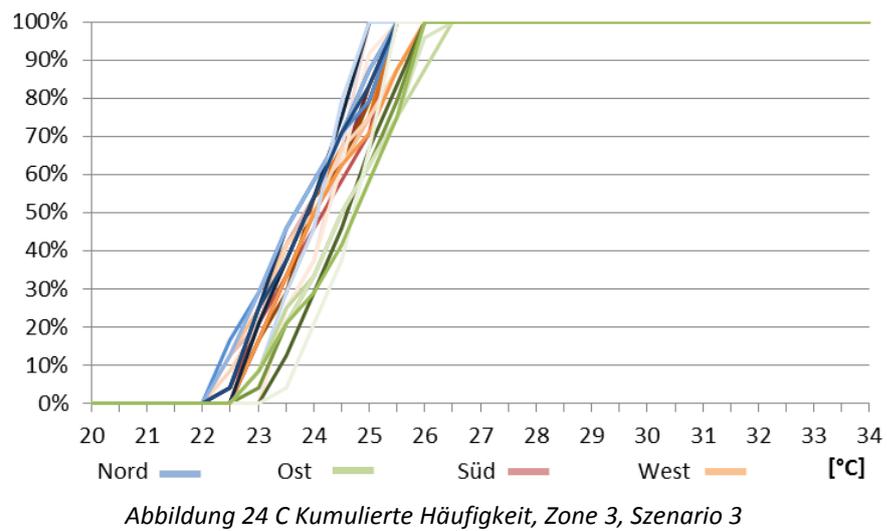
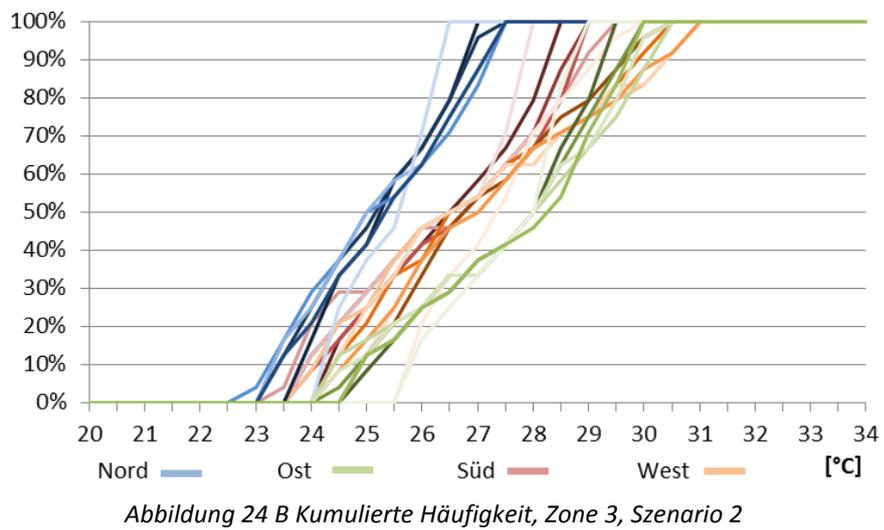
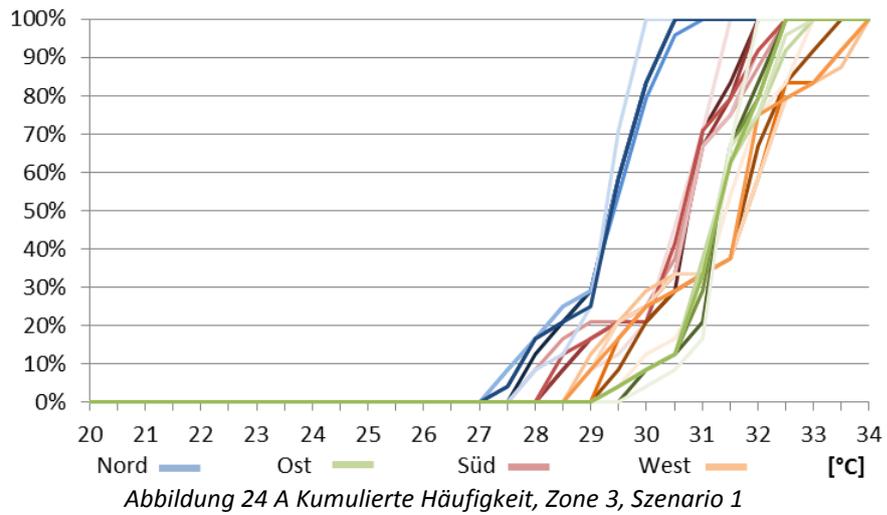


Abbildung 23 C Häufigkeit an Überhitzung, Zone 3, Szenario 3, alle Orientierungen

Die Abbildung 23 A (Szenario 1) zeigt, dass in jeder Bauweise die Temperatur über 27 °C liegt. Sobald nachts gelüftet wird (Szenario 2) ist die Häufigkeit an Überhitzung bereits deutlich geringer. In Szenario 3 (nachts gelüftet und Sonnenschutz während des Tages) gibt es nur noch im Holzrahmenbau und in der Holzmassivbauweise mit Vorsatzschale Temperaturen über 26 °C. Aus den Abbildungen zeigt sich, dass Nachtlüftung und Sonnenschutz eine wesentliche Maßnahme gegen Überhitzung sind. Nur in Szenario 2 und 3 ist eine Differenz zwischen den Bauweisen deutlich erkennbar. Deshalb müssen beim Vergleich unterschiedlicher Bauweisen auch verschiedene Lüftungs- und Verschattungsszenarien berücksichtigt werden. Die Ergebnisse der Zone 1-2 sind im Anhang bei den Abbildungen 23 D-F zu finden.

Die Abbildungen 24 A-C zeigen die kumulierten Häufigkeiten der Temperaturverläufe für jede Simulation. Dabei werden die Diagramme nach Szenarien getrennt und die Orientierungen farblich herausgehoben. Je weiter links die Linie ist desto geringere Temperaturen und je steiler der Verlauf der Linie ist desto geringere Temperaturschwankungen treten auf. In Szenario 3 ist zu erkennen, dass alle Linienverläufe sehr steil sind und nahe beieinander liegen. In Szenario 2 sind die Linien flacher und die Resultate liegen weiter auseinander. In Szenario 1 zeigt sich, dass die Linien zwar sehr steil sind, aber die Resultate trotzdem weiter auseinander liegen. Die Ursache dafür liegt an den solaren Gewinnen. Wenn ein außenliegender Sonnenschutz vorhanden ist, gelangt nur ein geringer Anteil der solaren Einstrahlung in den Raum. Der Einfluss der Orientierung verliert dabei an Bedeutung. Dass der Sonnenschutz erst ab 7:00 Uhr aktiviert wird, ist wahrscheinlich der Grund weshalb die Ausrichtung Ost höhere operative Raumtemperaturen aufweist. Ist kein Sonnenschutz vorhanden (Szenario 1 und 2) sind die Raumtemperaturen bei Westausrichtung höher. In den Abbildungen sind bei einigen Farben deutlich steilere Linien zu erkennen. Die Abstufung der Farbtintensität stellt die unterschiedlichen Bauweisen dar. Diese Resultate sind im Kapitel 4.1.3 „Ergebnisse nach Bauweisen“ in anderen Abbildungen besser zu erkennen. Auch aus diesen Abbildungen kann man schließen, dass beim Vergleich zwischen den Bauweisen verschiedene Szenarien (Lüftung und Verschattung) betrachtet werden müssen.



Die Resultate der Zone 1-2 sind im Anhang bei den Abbildungen 24 D-F zu finden.

In Abbildung 25 A sind die Kelvinstunden größer 25, 26 und 27 °C getrennt nach Szenarien und Ausrichtung dargestellt. Jeder farbige horizontale Strich steht für eine Bauweise. Je enger die Striche beieinander sind, desto geringer ist die Differenz zwischen den Bauweisen. In Szenario 1 und 3 ist die Differenz zwischen den Bauweisen wesentlich geringer als in Szenario 2. Außerdem zeigt die Abbildung, dass der Einfluss der Szenarien (Nachtlüftung und Verschattung) höher ist, als der Einfluss der Orientierung.

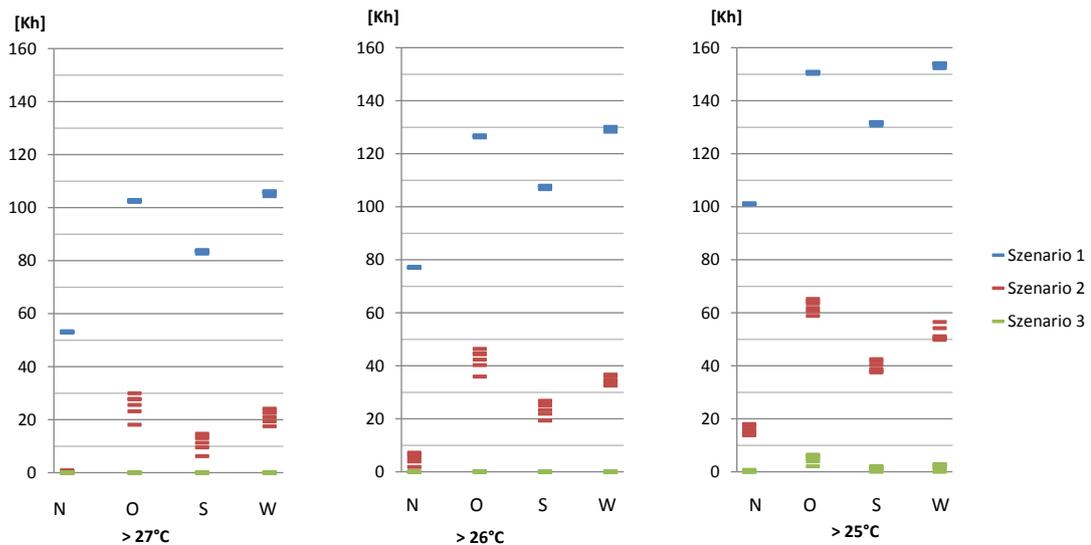


Abbildung 25 A Kelvinstunden der Szenarien getrennt nach Ausrichtungen, Zone 3

4.1.2 Ergebnisse nach Ausrichtung

Die Abbildungen 26 A-D zeigen die Häufigkeit an Überhitzung der Zone 3. Dabei wurde für jede Ausrichtung ein durchschnittlicher Wert aus den drei Szenarien berechnet. Von Fachleuten wird immer die Ausrichtung nach Süden und Westen als problematisch gesehen. Da am späten Nachmittag die Sonne im Westen sehr flach steht, kommt es ohne Sonnenschutz zu hohen solaren Gewinnen. Die Resultate der Abbildungen 26 A-D zeigen jedoch, dass die Kelvinstunden der Ausrichtungen Ost und West etwa gleich hoch sind. Je geringer die gewählte Grenztemperatur, desto größer wird die Überhitzungshäufigkeit der Ausrichtung Ost im Vergleich zur Ausrichtung West. So liegen die Ausrichtungen Ost und West bei größer 30 °C (Grenztemperatur) bei etwa 30 % Überhitzungshäufigkeit. Bei größer 25 °C ist die Ausrichtung West knapp unter 70 %, während die Ausrichtung Ost bereits bei etwa 75 % liegt. Die Orientierung nach Süden zeigt eine um etwa 5 % geringere Überhitzungshäufigkeit als die Ausrichtungen Ost und West. Südorientierte Fenster sind zwar fast den ganzen Tag der Sonnenstrahlung ausgesetzt, haben aber aufgrund der hoch stehenden Sonne deutlich weniger solare Gewinne als ost- oder westorientierte Verglasungen.

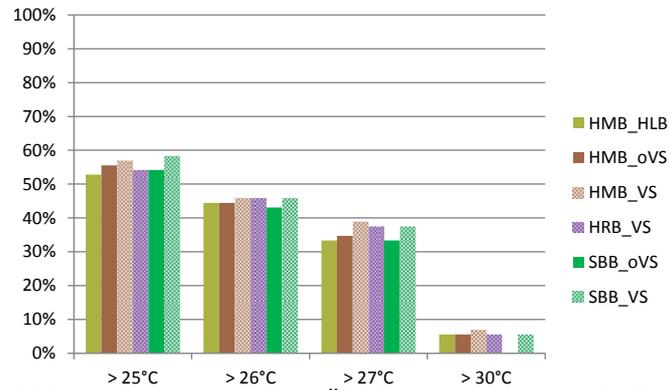


Abbildung 26 A Häufigkeit an Überhitzung, Zone 3, Nord, alle Szenarien

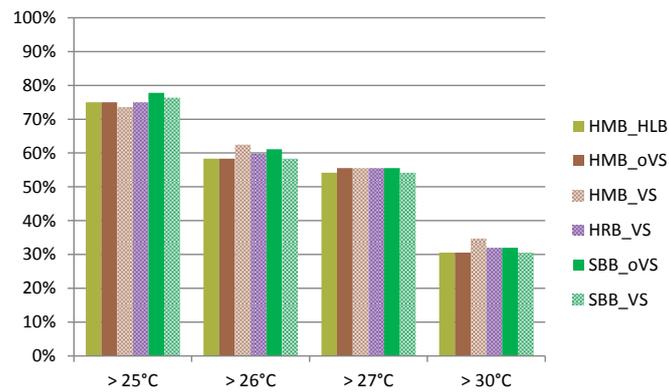


Abbildung 26 B Häufigkeit an Überhitzung, Zone 3, Ost, alle Szenarien

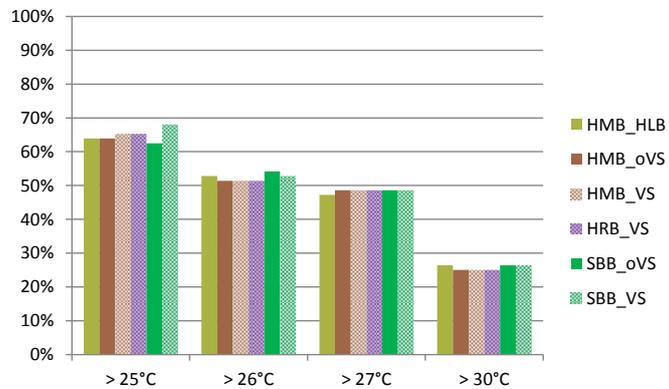


Abbildung 26 C Häufigkeit an Überhitzung, Zone 3, Süd, alle Szenarien

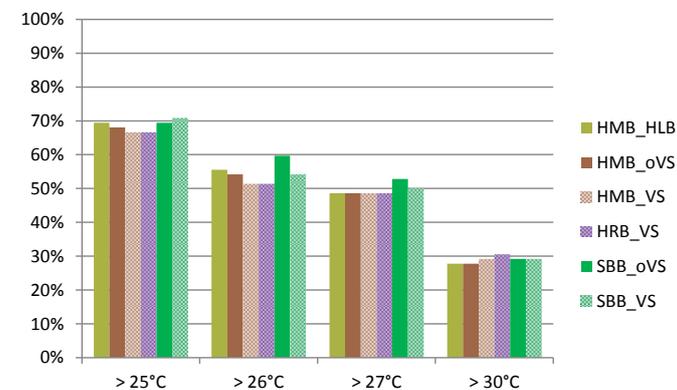


Abbildung 26 D Häufigkeit an Überhitzung, Zone 3, West, alle Szenarien

Ergebnisse der Zone 1-2 sind im Anhang bei den Abbildungen 26 E-H zu finden.

In den Abbildungen 27 A-C wurde die Überwärmung in Kelvinstunden aller Bauweisen summiert. Für die Grenztemperaturen von 25, 26 und 27 °C sind die Resultate getrennt nach Szenarien und Ausrichtung.

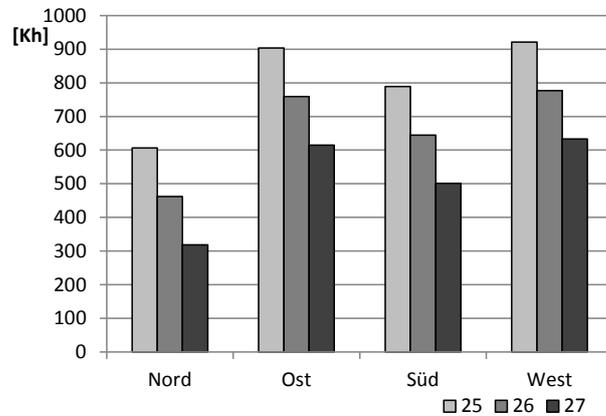


Abbildung 27 A Summe an Überwärmung in Kelvinstunden aller Bauweisen, Zone 3, Szenario 1

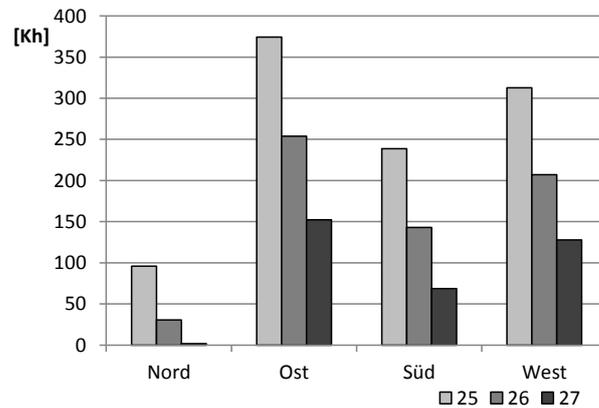


Abbildung 27 B Summe an Überwärmung in Kelvinstunden aller Bauweisen, Zone 3, Szenario 2

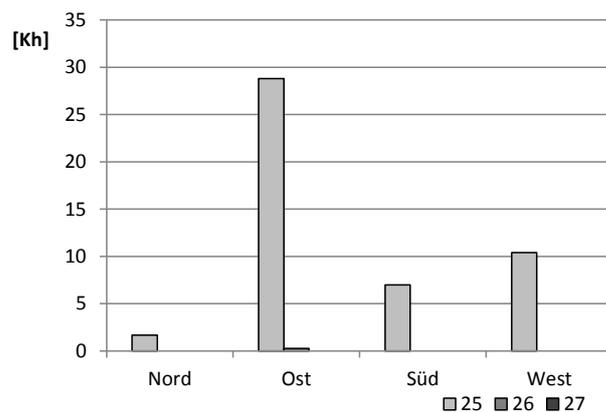


Abbildung 27 C Summe an Überwärmung in Kelvinstunden aller Bauweisen, Zone 3, Szenario 3

Auch hier ist deutlich zu erkennen, dass der Einflussfaktor der Szenarien wesentlich größer ist als der Einfluss der Ausrichtung. Während in Szenario 1 die Überwärmung der Westausrichtung knapp höher sind, hat in Szenario 2 und 3 die Ostausrichtung deutlich mehr Überwärmung.

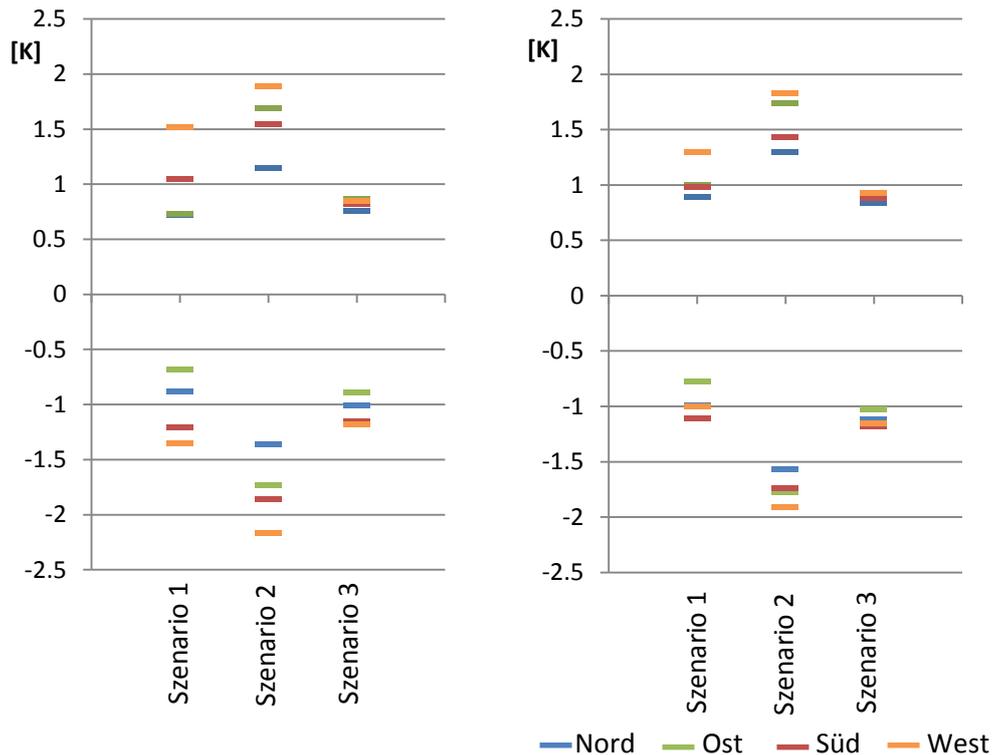


Abbildung 28 Maximale Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS
links: Zone 3, rechts: Zone 1-2

In Abbildung 28 wird für jede Ausrichtung und jedes Szenario jene Bauweise als horizontaler Strich dargestellt, welche die maximale Temperaturdifferenz zur Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale hat. Um welche Bauweise es sich handelt geht in dieser Darstellung nicht hervor. Man erkennt aber die maximale Temperaturdifferenz mit dem Einflussfaktor des Szenarios und der Ausrichtung. Hier zeigt sich, dass in Szenario 3 die maximalen Temperaturdifferenzen der unterschiedlichen Ausrichtungen eng beieinander liegen. In Szenario 1 und 2 liegen diese deutlich weiter auseinander. Weiters zeigt sich, dass die maximalen Temperaturdifferenzen in Szenario 2 am höchsten sind. Das liegt daran, dass tagsüber kein Sonnenschutz vorhanden ist und sich die Räume aufheizen. In den kühlen Nachtstunden wird gelüftet und dabei sinken die Raumlufttemperaturen deutlich ab. Am häufigsten hat die Ausrichtung West die maximale Temperaturdifferenz. In der einseitig orientierten Zone 3 zeigt sich, dass die Ausrichtung West und Süd die höchsten Temperaturschwankungen zeigen.

Die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale wurde für diese Darstellung als Referenz ausgewählt, da diese die geringsten Temperaturschwankungen zeigt. Näheres dazu wird im folgenden Kapitel „Ergebnisse nach Bauweisen“ behandelt.

4.1.3 Ergebnisse nach Bauweisen

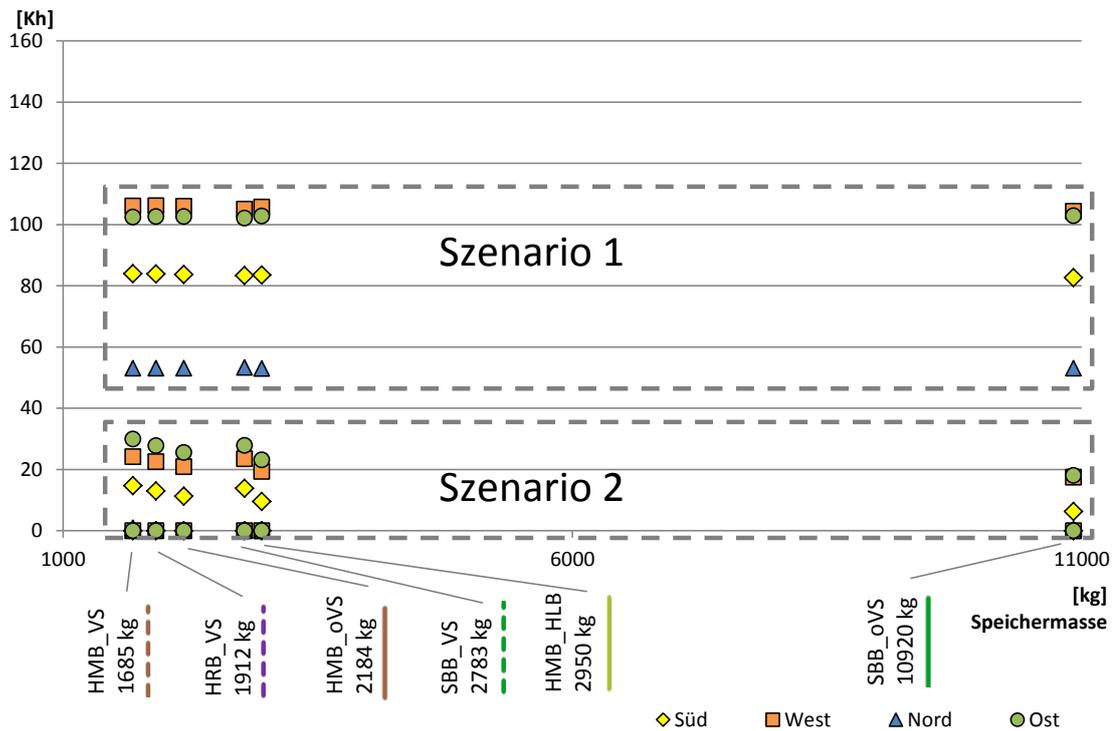


Abbildung 29 A Überwärmung in Kelvinstunden über 27 °C bei Vergleich nach Speichermasse, Zone 3

Abbildung 29 A-C zeigt die Überwärmung in Kelvinstunden über 25, 26 und 27 °C bei gleichzeitigem Vergleich der vorhandenen Speichermasse nach ÖNORM B 8110-3:2012 (AS1 2012). Hier ist anzumerken, dass die Holzrahmenbauweise eine höhere Speichermasse bietet als die Holzmassivbauweise mit Vorsatzschale. Grund dafür ist, dass in der Holzrahmenbauweise zum Teil keine Installationsebene angenommen wurde, da Leitungen auch in der Konstruktionsebene geführt werden können. Eine Dämmebene zwischen Vorsatzschale und Konstruktion entfällt. Dadurch sind hinter den Gipskartonplatten OSB-Platten, die zur Aussteifung der Rahmenbauweise dienen und zur speicherwirksamen Masse beitragen. Die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale bietet eine wesentlich höhere Speichermasse als alle anderen Bauweisen. Dennoch zeigen die Ergebnisse der Überwärmung über 27 °C, dass die hohe Speichermasse in Szenario 1 keine Verbesserung bringt. In Szenario 2 ist die Anzahl an Kelvinstunden etwas geringer als in den anderen Bauweisen. Mit Ausnahme der Stahlbetonbauweise mit Vorsatzschale zeigt sich, dass zunehmende Speichermasse eine geringe Verbesserung bringt.

Abbildung 29 B zeigt die Überwärmung in Kelvinstunden über 26 °C und Abbildung 29 C zeigt die Überwärmung in Kelvinstunden über 25 °C.

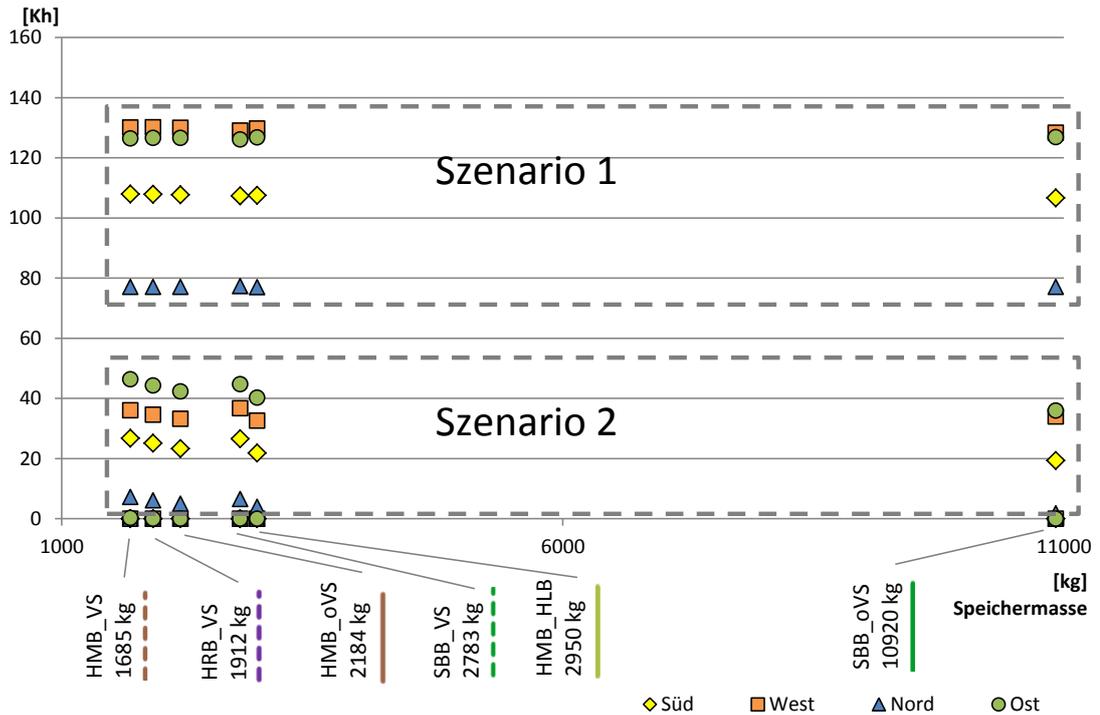


Abbildung 29 B Überwärmung in Kelvinstunden über 26 °C bei Vergleich nach Speichermasse, Zone 3

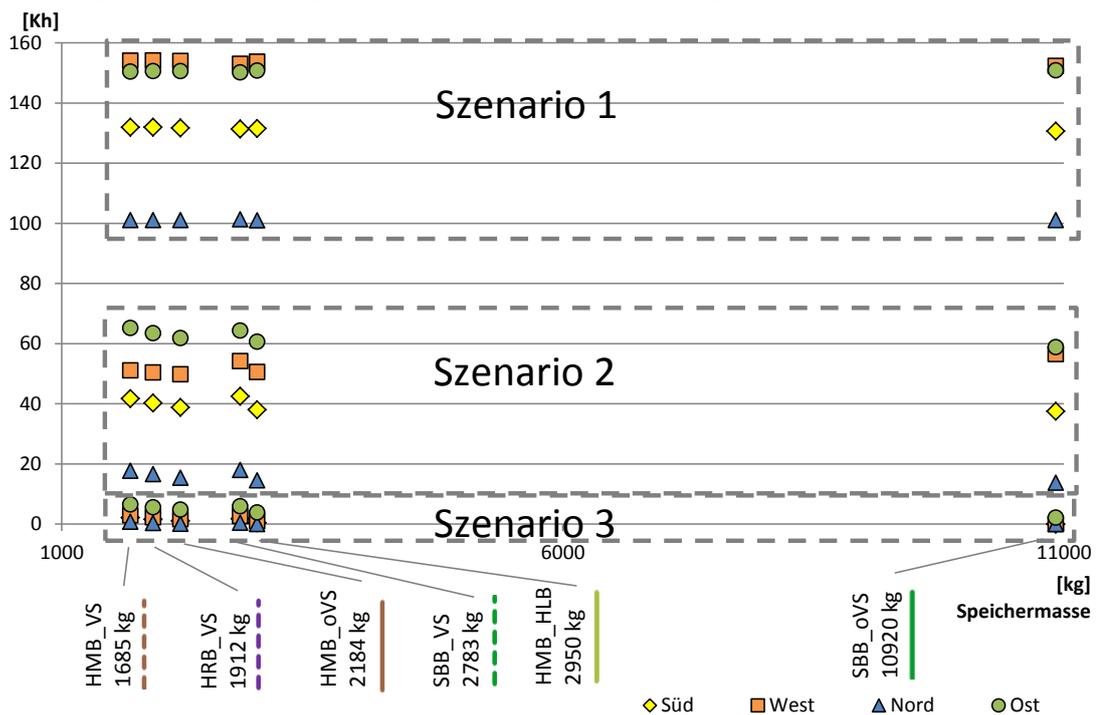


Abbildung 29 C Überwärmung in Kelvinstunden über 25 °C bei Vergleich nach Speichermasse, Zone 3

Betrachtet man die Abbildungen 29 A-C zeigt sich, dass die Szenarien den größten Einfluss haben. Auch die Ausrichtung hat eine große Auswirkung auf die Ergebnisse. Dagegen sind die Unterschiede der Bauweisen sehr minimal. Wirft man einen Blick auf die kumulierten Häufigkeiten der Temperaturverläufe, welche die Abbildungen 30 A-D darstellen, zeigt sich trotzdem ein Unterschied zwischen Bauweisen mit weniger und Bauweisen mit mehr

Speichermasse. Die Ergebnisse sind hier nach den Ausrichtungen getrennt. Von rechts (Szenario 1) nach links (Szenario 3) kann man die Szenarien klar als „Pakete“ erkennen. Auch wenn die Linien der Bauweisen sehr knapp beieinander liegen ist erkennbar, dass die Kurven der Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale gefolgt von den Kurven der Holzmassivbauweise mit Holzleichtbeton steiler verlaufen. Das bedeutet, dass die Temperaturschwankungen im Tagesverlauf geringer sind. Vor allem in Szenario 2, dem mittleren Paket, ist erkennbar, dass die punktierten Linien flacher verlaufen. Daraus kann man schließen, dass in den Bauweisen mit Vorsatzschalen die minimalen und maximalen Temperaturen auftreten.

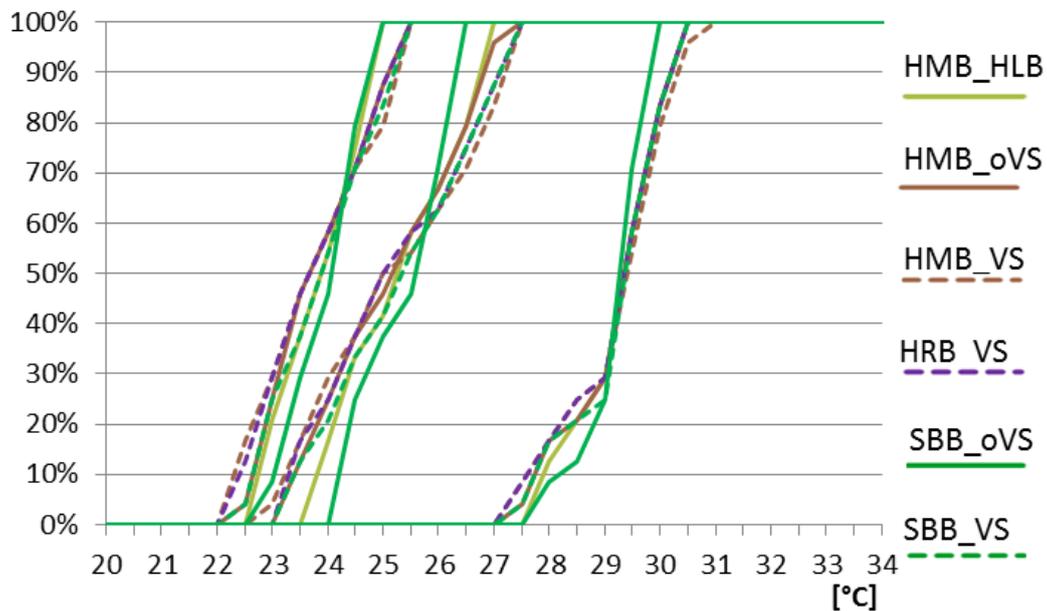


Abbildung 30 A Kumulierte Häufigkeit, Zone 3, Ausrichtung Nord

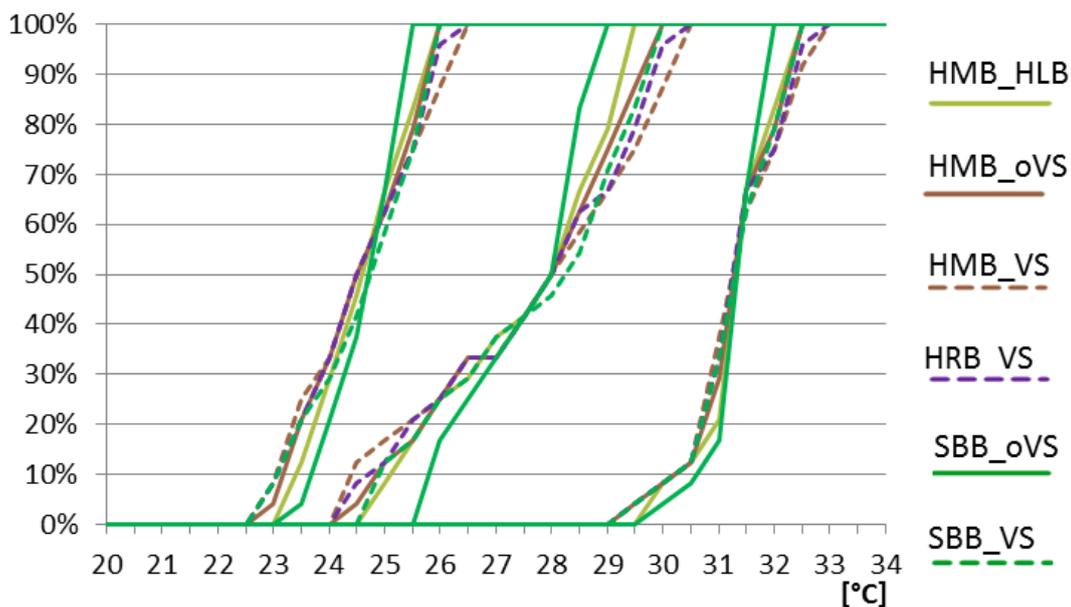


Abbildung 30 B Kumulierte Häufigkeit, Zone 3, Ausrichtung Ost

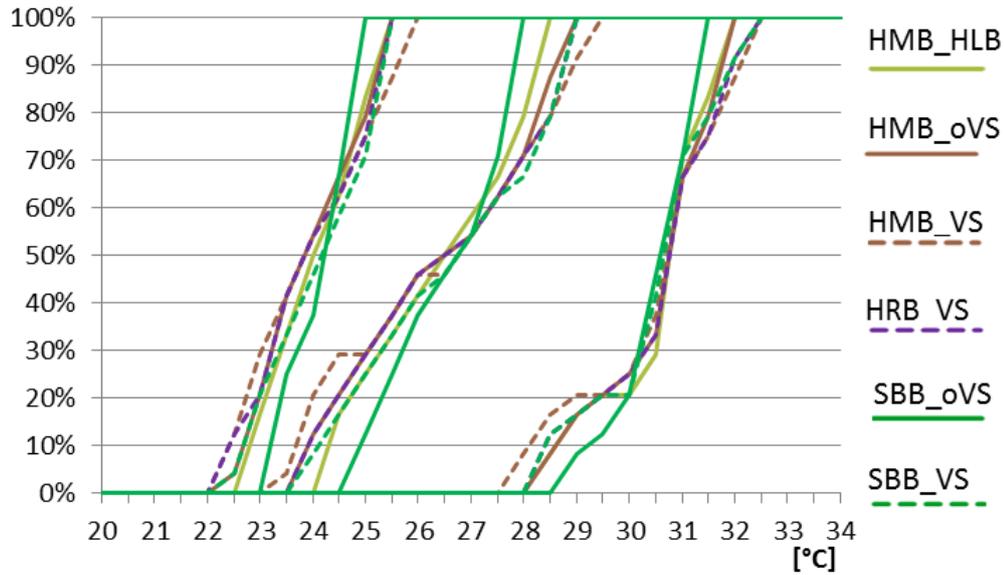


Abbildung 30 C Kumulierte Häufigkeit, Zone 3, Ausrichtung Süd

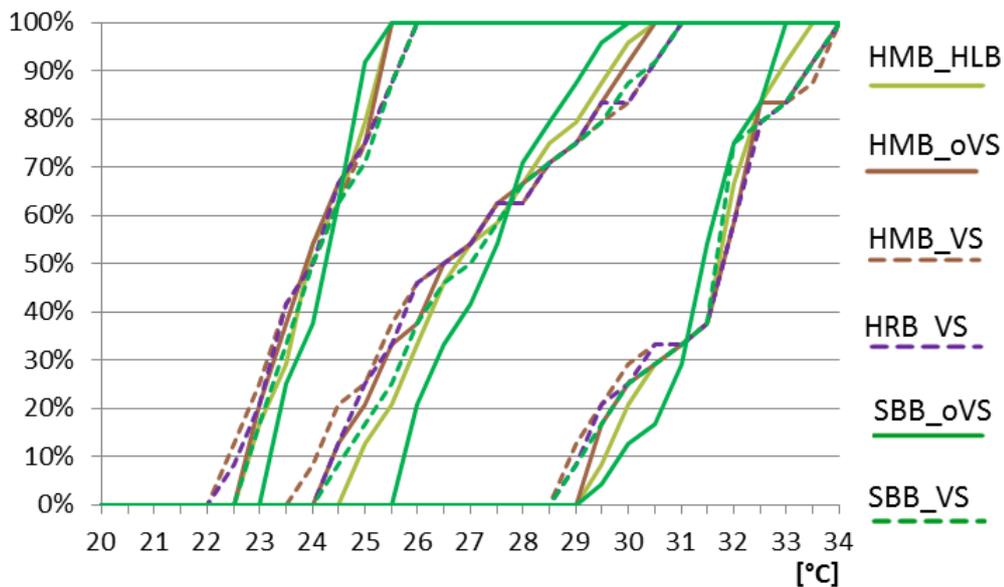


Abbildung 30 D Kumulierte Häufigkeit, Zone 3, Ausrichtung West

Auf den folgenden Seiten ist der Temperaturverlauf der Zone 3 mit Ausrichtung West zu sehen. Aus den Daten der stündlichen Temperaturverläufe werden Balkendiagramme und Boxplottdiagramme erstellt um Zusammenhänge verständlich darzustellen. Die Boxplottdarstellungen zeigen die minimale und maximale Temperatur sowie das untere und obere Quartil als auch den Median. Im Anhang sind weitere Abbildungen zu den Ausrichtungen Nord, Ost und Süd für die Zone 3, als auch alle Abbildungen für die Zone 1-2 zu finden.

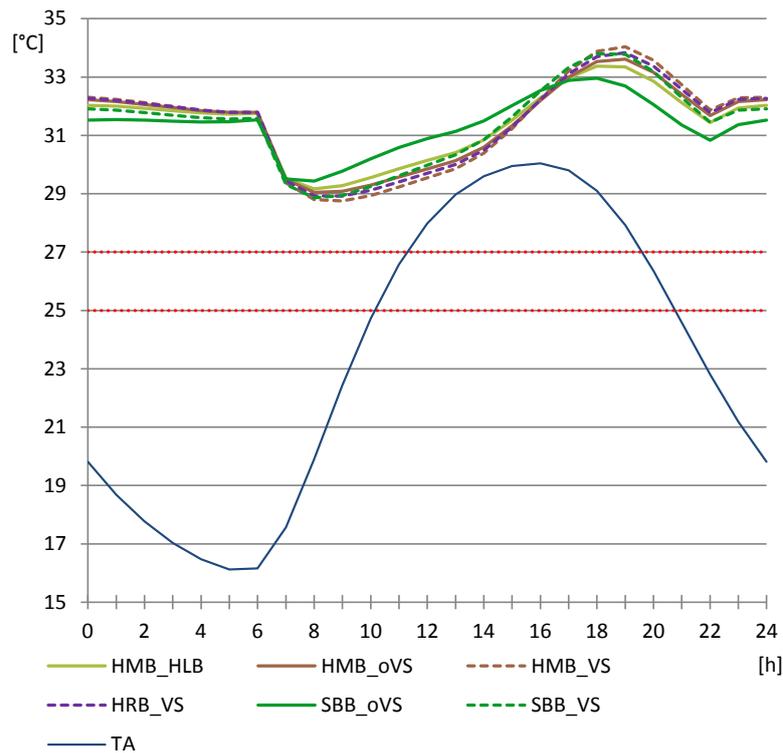
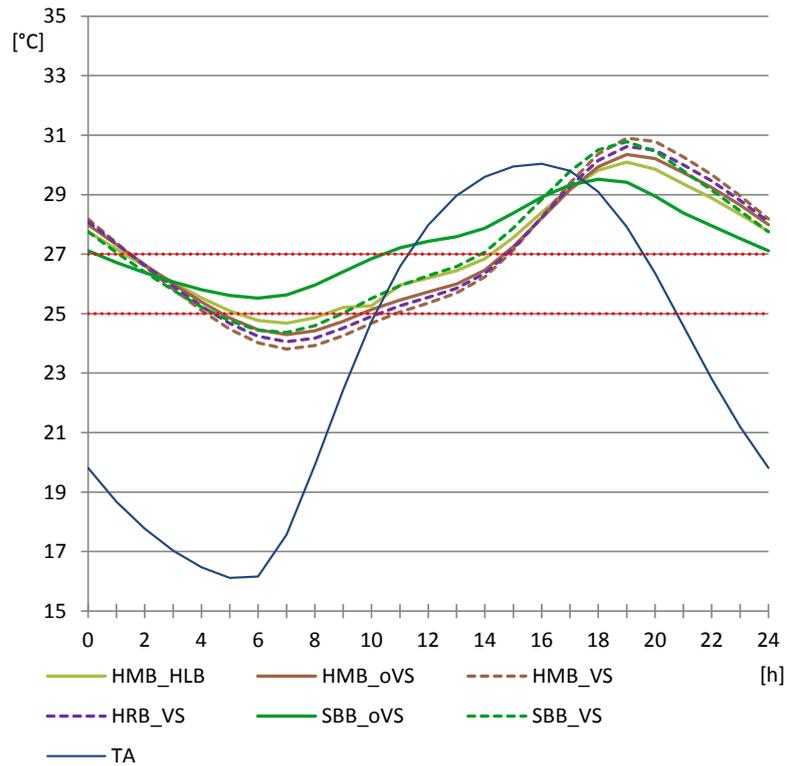
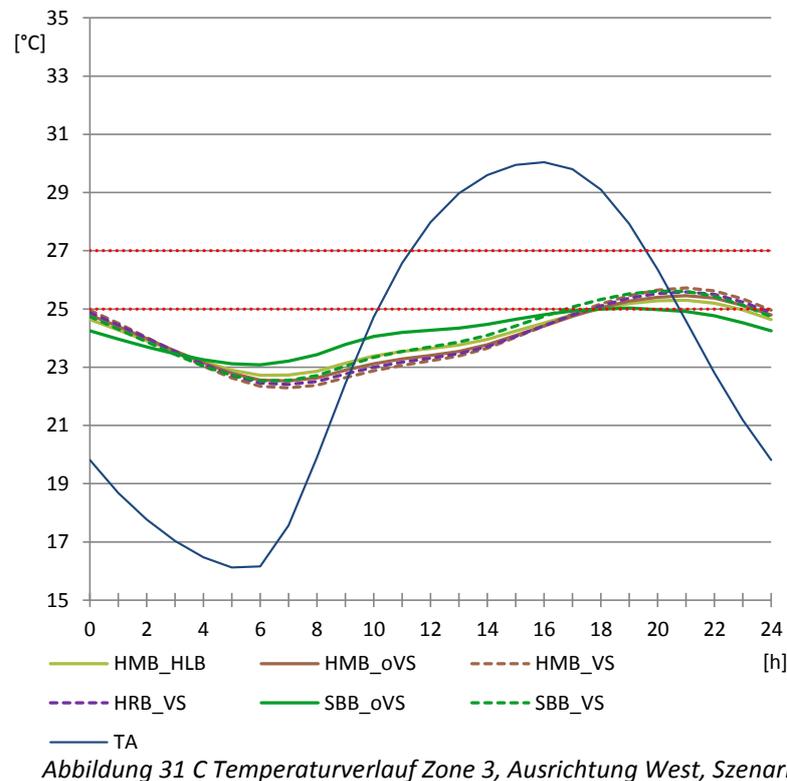


Abbildung 31 A Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 1

Abbildung 31 A zeigt den Tages temperaturverlauf der Außenluft und der Bauweisen in der nach Westen orientierten Zone 3 im Szenario 1. Da nachts nicht gelüftet wird bleiben die Temperaturen in den Nachtstunden konstant hoch. Ab 6 Uhr früh setzt die „Fensterlüftung Tag“ ein, bei der Fenster geöffnet werden wenn die Lufttemperatur im Innenraum höher ist als die Außenlufttemperatur. Hier zeigt sich, dass die Temperatur bei allen Bauweisen mit Vorsatzschale gefolgt von der Holzmassivbauweise ohne Vorsatzschale am höchsten abfällt. Auch die Temperatur der Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale kühlt deutlich ab, steigt aber im Gegensatz zu den anderen Bauweisen früher und schneller wieder an. Die Maximaltemperaturen werden in der Ausrichtung West gegen 19 Uhr erreicht. Jene Bauweisen die am Vormittag die geringsten Temperaturen haben zeigen abends die höchsten Temperaturen. Je mehr Speichermasse vorhanden ist, desto geringer sind die Temperaturschwankungen. Das zeigt sich in Szenario 2 (Abbildung 31 B) noch etwas deutlicher. Nach ÖNORM B 8110-3:2012 (AS1 2012) sollte nachts die Raumtemperatur unter 25 °C fallen. In Szenario 2 wird dies von allen Bauweisen mit Ausnahme der Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale erreicht. Die Bauweise „SBB_oVS“ zeigt zwischen 4 und 16 Uhr deutlich höhere Raumtemperaturen. Gegen 18 Uhr kühlt die Temperatur wieder ab, während alle anderen Bauweisen erst gegen 19 Uhr ihre deutlich höheren Maximaltemperaturen erreichen.



Auch in Szenario 3 (Abbildung 31 C) sind diese Tendenzen zu erkennen, allerdings deutlich abgeschwächt. In den Ausrichtungen Norden, Osten und Süden der Zone 3 sowie in allen Ausrichtungen der Zone 1-2 sind diese Tendenzen ebenfalls vorhanden. Die Abbildungen 31 D-X dazu sind im Anhang zu finden.



Betrachtet man in den Abbildungen 32 A-C die Überwärmung in Kelvinstunden der Ausrichtung West, so ist zwischen den Bauweisen kaum ein Unterschied erkennbar. Nur in Szenario 2 ist zu sehen, dass die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale mehr Kelvinstunden über 25 °C aber weniger Kelvinstunden über 27 °C hat. Es zeigt sich, dass die unterschiedlichen Temperaturschwankungen, die in den Tagestemperaturverläufen zu sehen sind, sich bei den Kelvinstunden in Summe wieder ausgleichen.

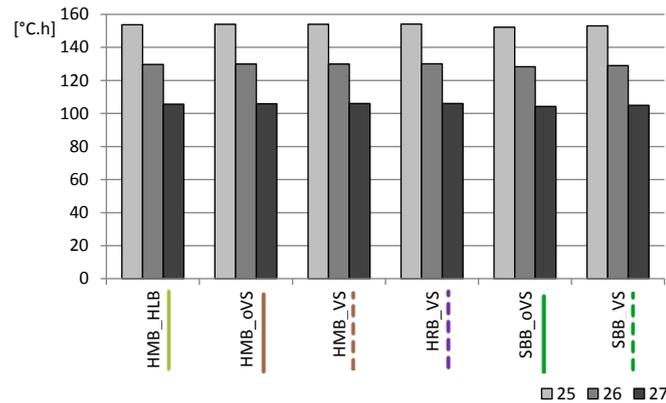


Abbildung 32 A Überwärmung in Kelvinstunden Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 1

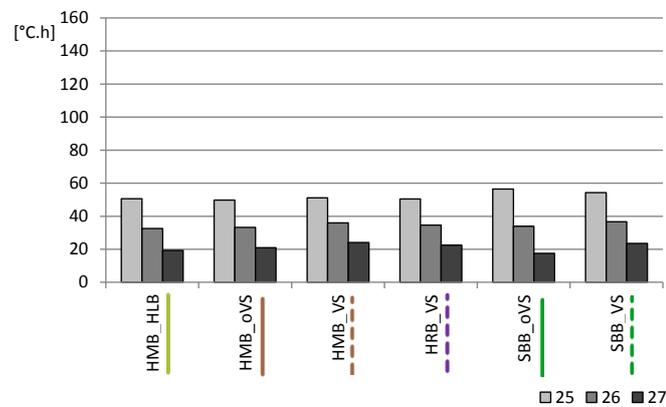


Abbildung 32 B Überwärmung in Kelvinstunden Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 2

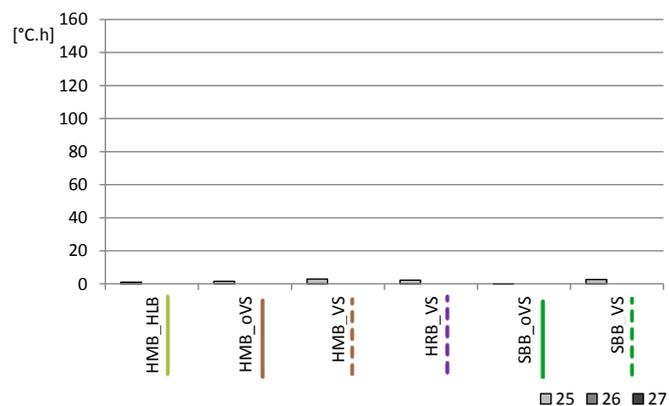


Abbildung 32 C Überwärmung in Kelvinstunden Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 3

In den Abbildungen 33 A-C zeigt sich nochmal, dass die Temperaturschwankungen der Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale deutlich geringer sind. Der Median ist in Szenario 1 tiefer, in Szenario 2 und 3 deutlich höher als in den anderen Bauweisen. Diese Darstellungen zeigen auch sehr deutlich, dass die Reihenfolge der Maximaltemperaturen ident ist mit der Reihenfolge der Minimaltemperaturen. Je geringer die Speichermasse ist, desto höher fällt die Maximaltemperatur aus und desto niedriger sind die Minimaltemperaturen.

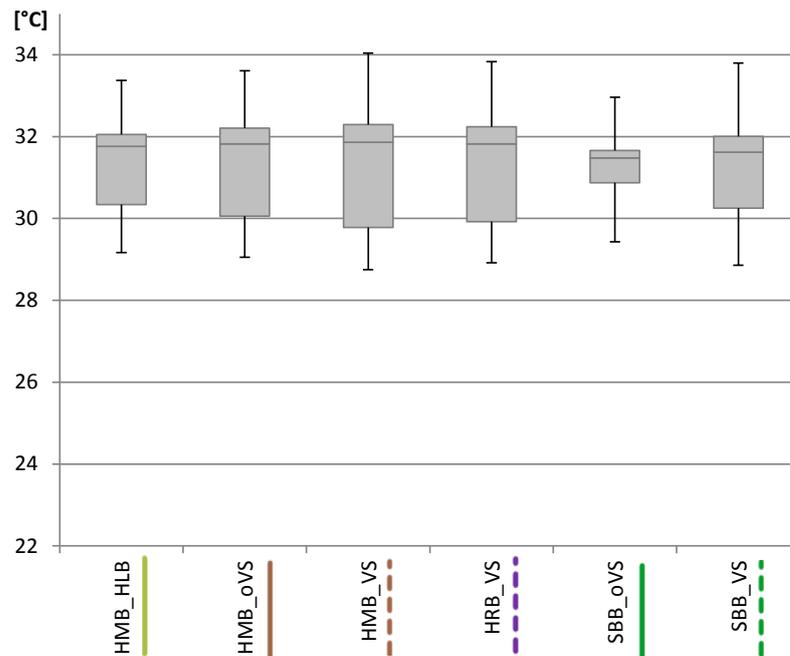


Abbildung 33 A Boxplottedarstellung, Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 1

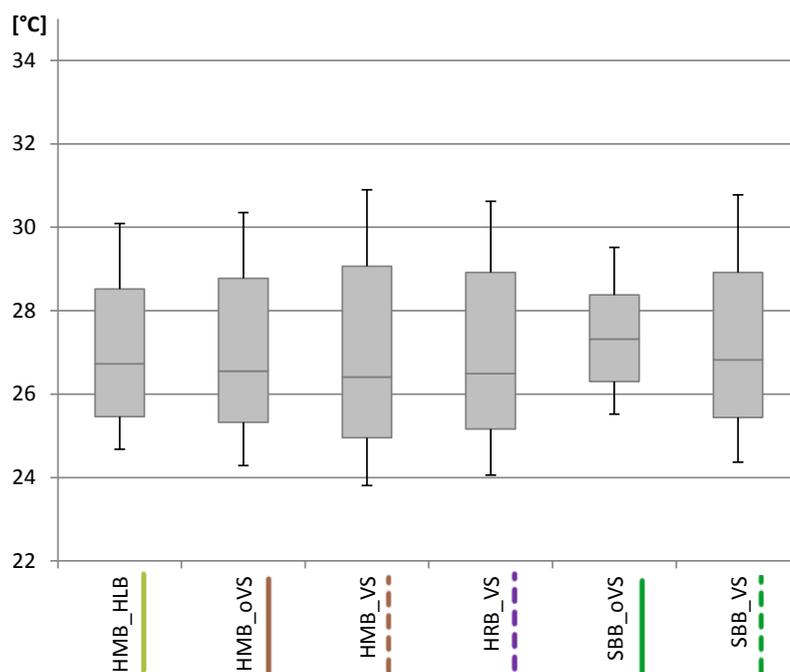


Abbildung 33 B Boxplottedarstellung, Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 2

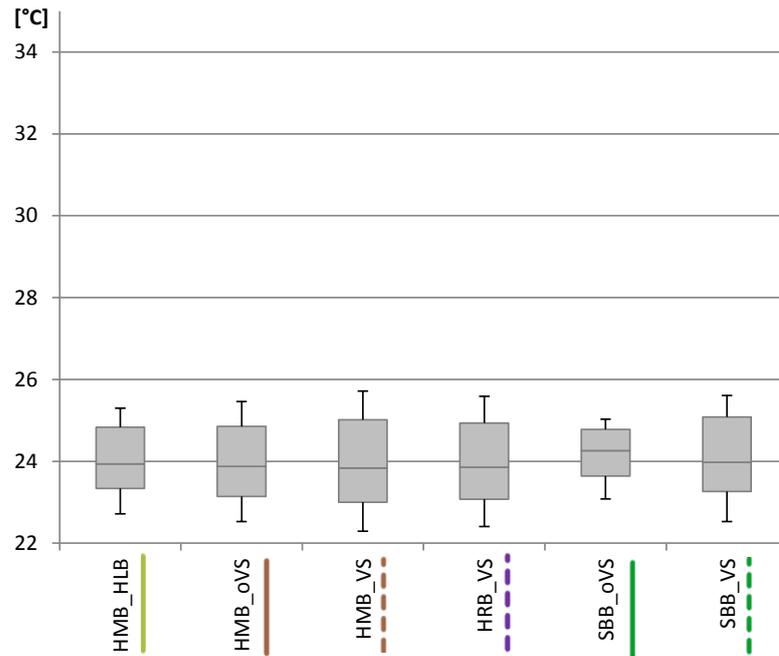


Abbildung 33 C Boxplottedarstellung, Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 3

Nun wird der Vergleich zwischen den Bauweisen noch einmal mit den Maximaltemperaturen und deren Temperaturdifferenzen dargestellt. In Abbildung 34 A-B ist getrennt nach Szenarien die Temperaturdifferenz zwischen zwei Bauweisen einer Ausrichtung dargestellt. Dabei wird nur jene Ausrichtung dargestellt bei der die maximale Raumtemperatur erreicht wird. Die Temperaturdifferenz wird im Fall der Maximaltemperatur, dem Median und der Minimaltemperatur dargestellt.

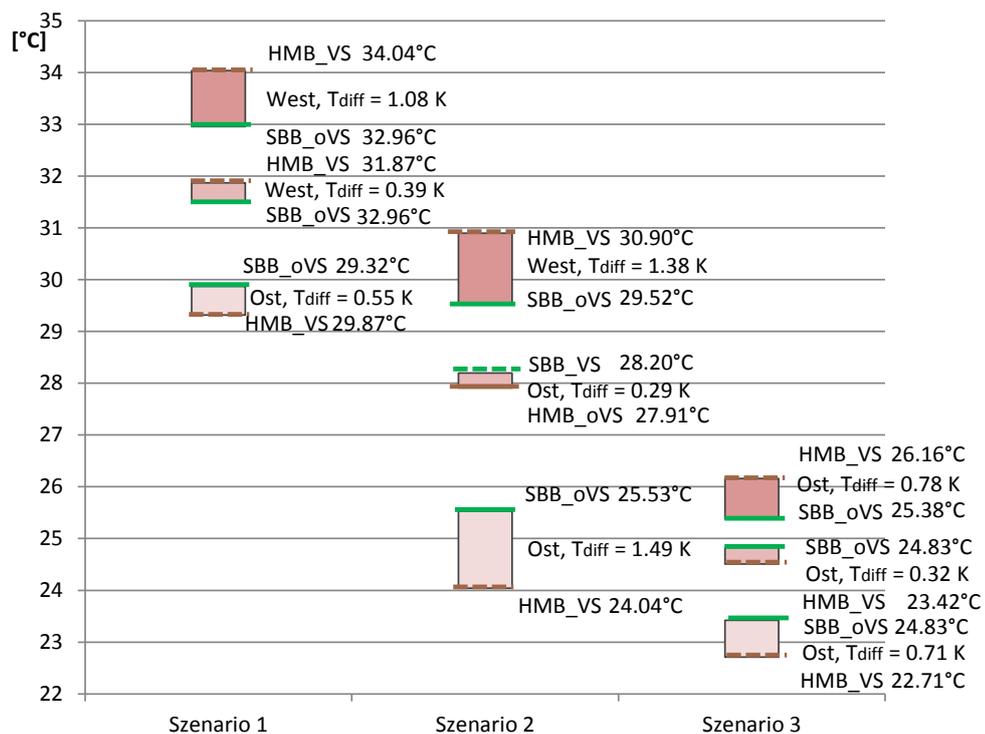


Abbildung 34 A Temperaturdifferenz der Maximaltemperatur im Fall von T_{max} , T_{med} , T_{min} Zone 3

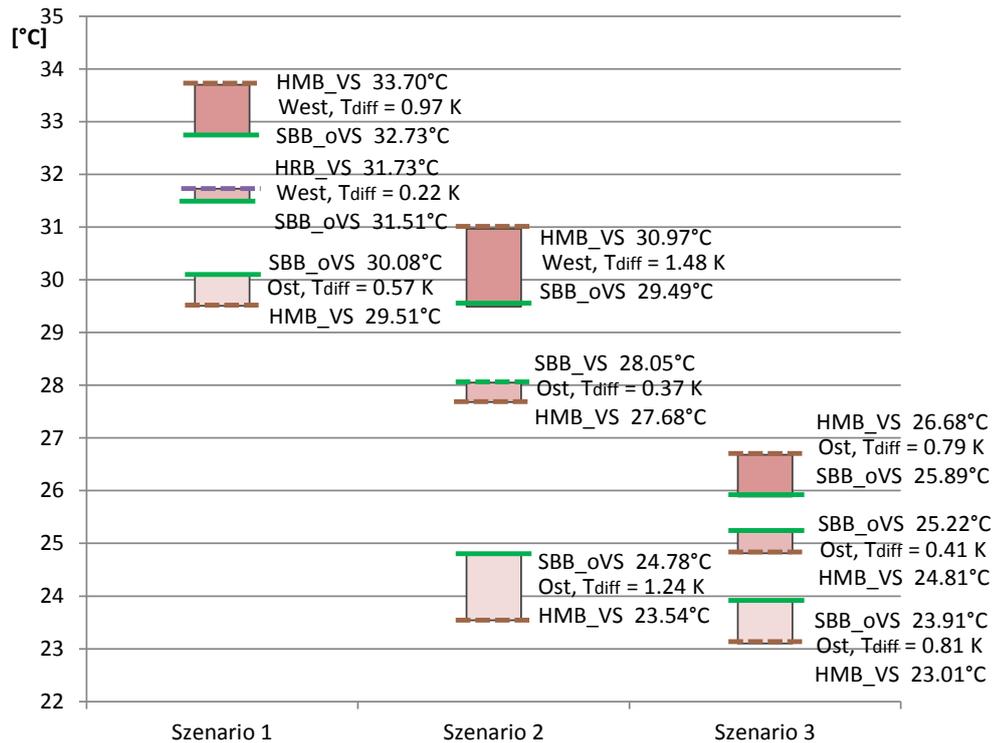


Abbildung 34 B Temperaturdifferenz der Maximaltemperatur im Fall von T_{max} , T_{med} , T_{min} Zone 1-2

In der Abbildung 34 A sieht man, dass im Szenario 1 die Temperaturdifferenz von T_{max} zwischen der Bauweise „HMB_VS“ und „SBB_oVS“ dargestellt ist. Die Holzmassivbauweise mit Vorsatzschale erreicht in der Ausrichtung West die Maximaltemperatur von 34,04 °C aller Ausrichtungen und Bauweisen. Die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale erreicht eine Maximaltemperatur von 32,96 °C, eine Differenz von 1,08 K, in dieser Ausrichtung. Im Szenario 2 sind es zwischen den gleichen Bauweisen mit Ausrichtung West 1,38 K und in Szenario 3 0,78 K in der Ausrichtung Ost. Das bedeutet nicht, dass diese Temperaturdifferenz gleichzeitig die maximal vorhandene Temperaturdifferenz ist, sondern es handelt sich hier um die Temperaturdifferenz der maximalen Höchsttemperatur zur minimalen Höchsttemperatur der gleichen Ausrichtung. Es ist daher möglich, dass in einer anderen Ausrichtung die maximale Höchsttemperatur niedriger ist, aber die Temperaturdifferenz zur minimalen Höchsttemperatur größer ist.

Zuletzt werden die Temperaturdifferenzen zwischen den Bauweisen dargestellt. Die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale wird als Referenz gewählt, da diese die geringsten Temperaturschwankungen zeigt. In den Abbildungen 35 A-C ist die durchschnittliche Temperaturdifferenz aller Ausrichtungen der Zone 3 getrennt nach den Szenarien 1-3 dargestellt. In diesen Darstellungen ist zu beachten, dass die Maximaltemperaturen nicht zu jener Zeit sind in der die maximalen Temperaturdifferenzen auftreten.

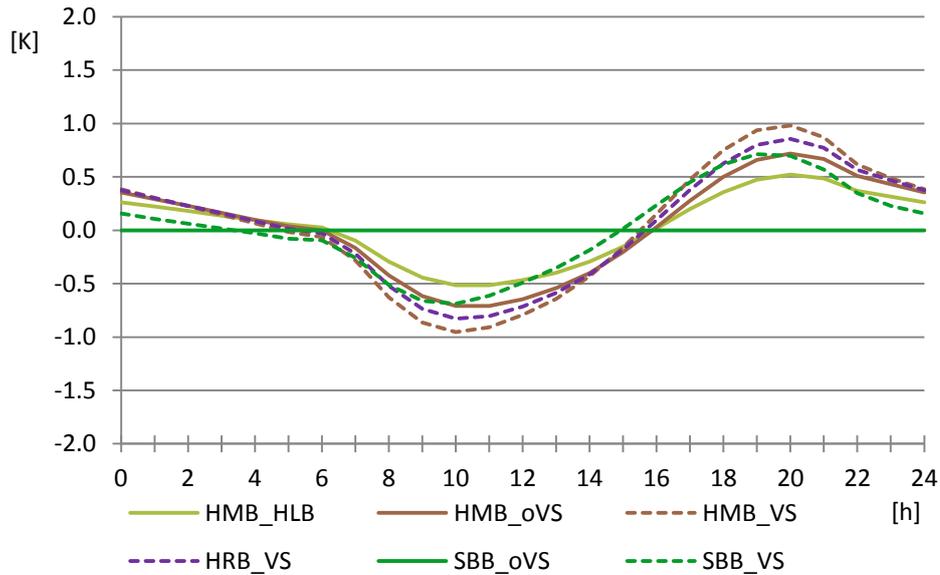


Abbildung 35 A Durchschnittliche Temperaturdifferenz aller Ausrichtungen zur Bauweise SBB_oVS, Zone 3, Szenario 1

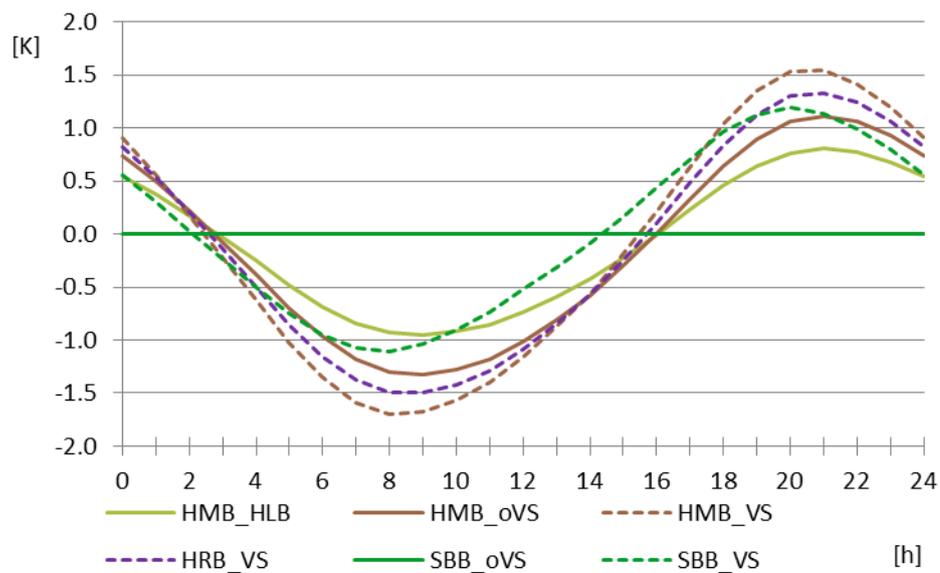


Abbildung 35 B Durchschnittliche Temperaturdifferenz aller Ausrichtungen zur Bauweise SBB_oVS, Zone 3, Szenario 2

Der Vergleich zeigt deutlich, dass die Temperaturdifferenzen der Bauweisen im Szenario 2 deutlich größer sind als in Szenario 1 und 2. Die Ergebnisse der Zone 1-2 sind im Anhang in den Abbildungen 35 D-F zu finden.

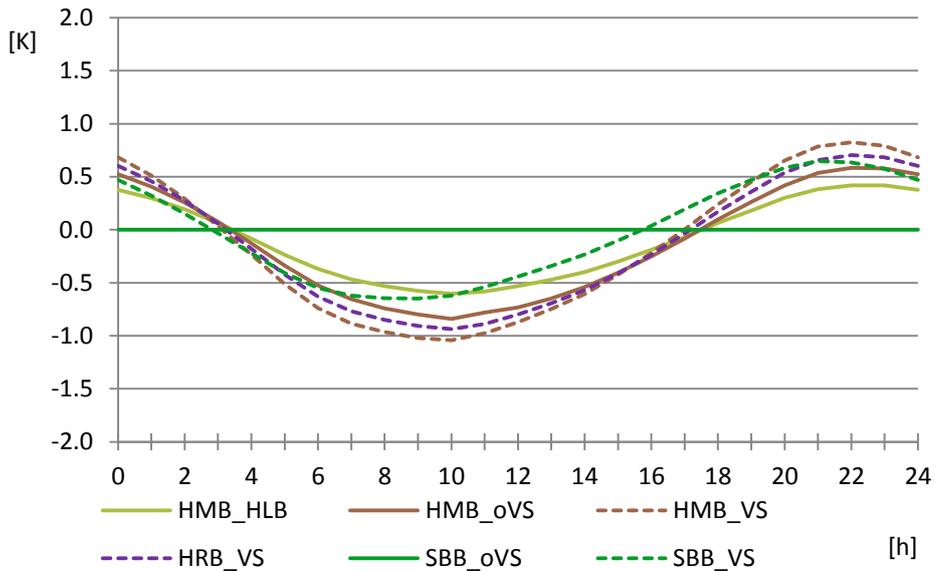


Abbildung 35 C Durchschnittliche Temperaturdifferenz aller Ausrichtungen zur Bauweise SBB_oVS, Zone 3, Szenario 3

Die Abbildungen 36 A-D zeigen die durchschnittliche Temperaturdifferenz aller Szenarien getrennt nach den Ausrichtungen Nord, Ost, Süd und West.

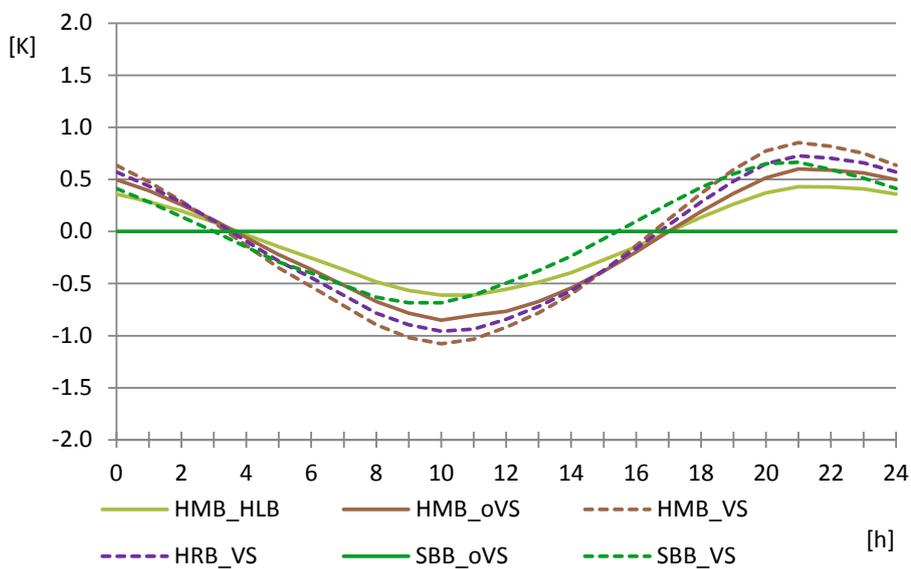


Abbildung 36 A Durchschnittliche Temperaturdifferenz aller Szenarien zur Bauweise SBB_oVS Zone 3, Ausrichtung Nord

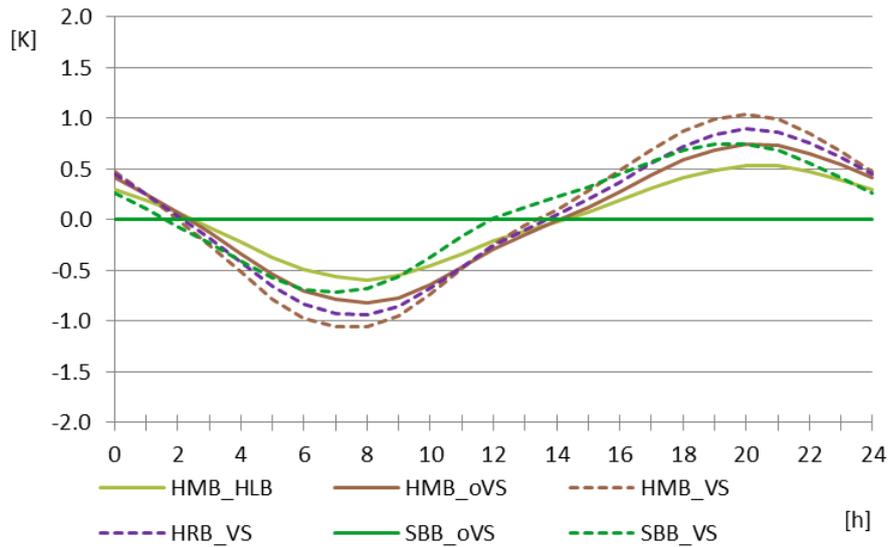


Abbildung 36 B Durchschnittliche Temperaturdifferenz aller Szenarien zur Bauweise SBB_oVS Zone 3, Ausrichtung Ost

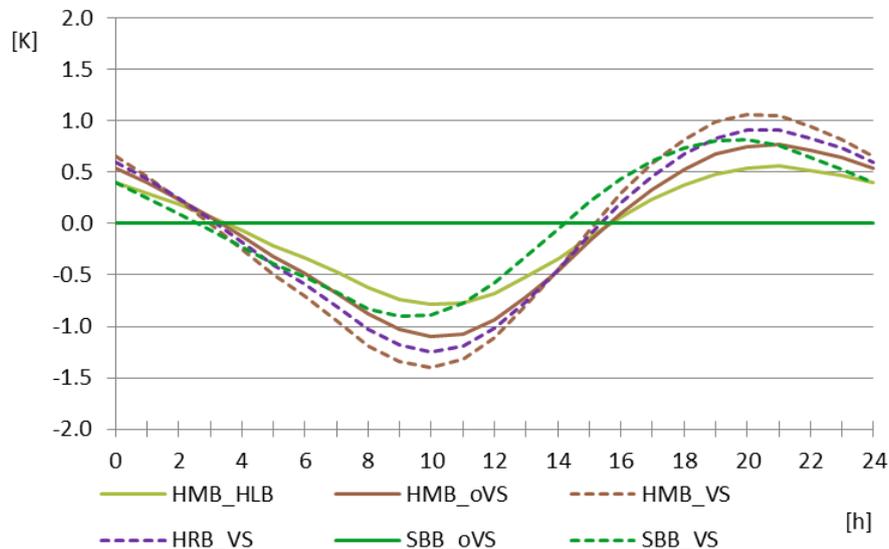


Abbildung 36 C Durchschnittliche Temperaturdifferenz aller Szenarien zur Bauweise SBB_oVS Zone 3, Ausrichtung Süd

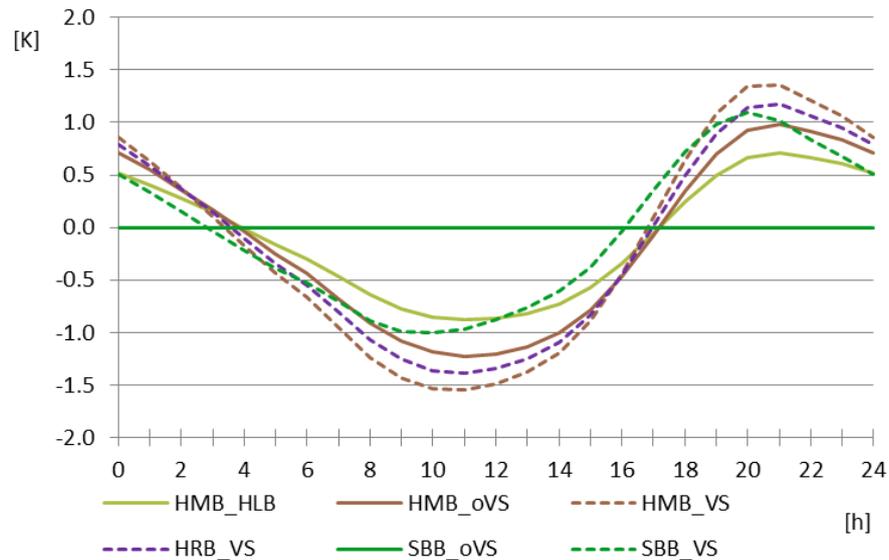


Abbildung 36 D Durchschnittliche Temperaturdifferenz aller Szenarien zur Bauweise SBB_oVS Zone 3, Ausrichtung West

In den vorigen Abbildungen wurden durchschnittliche Temperaturdifferenzwerte aus den drei Szenarien oder den vier Orientierungen gemittelt. Abbildung 37 zeigt die Ergebnisse der Zone 3 mit Ausrichtung West und Szenario 2. In dieser Simulationsvariante wurden die höchsten Temperaturdifferenzen erreicht.

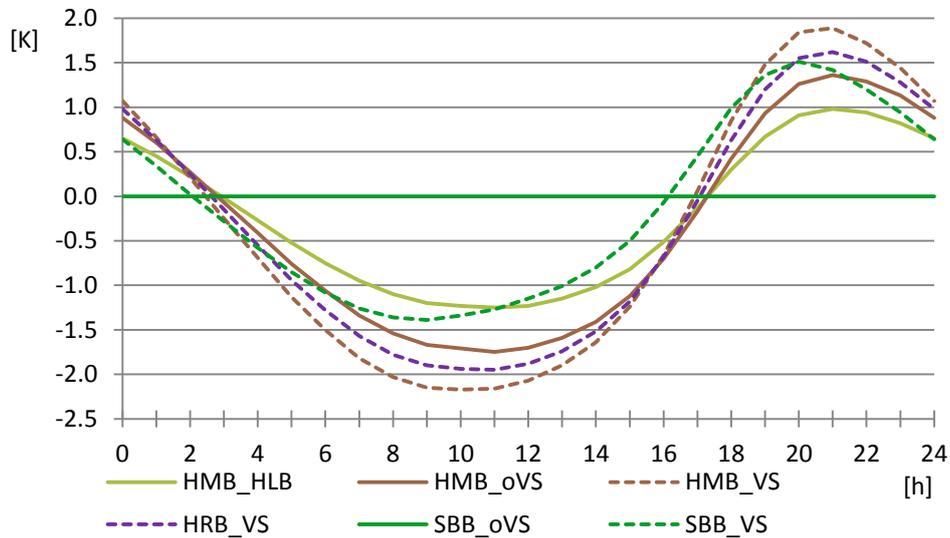


Abbildung 37 Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS, Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 2

4.2 energyplus

Für die Ergebnisse in energyplus werden vier unterschiedliche Zeiträume betrachtet, die in Abbildung 38 dargestellt sind. Die Zeiträume „HWB“ (blau) und „Sommerliche Überwärmung“ (gelb) wurden bereits in Kapitel 3.4 erwähnt. In der roten Phase werden die letzten sechs Tage einer Hitzewelle inklusive zwei darauffolgender Tage untersucht. Die orange Phase beinhaltet die Hitzewelle inklusive weiterer zehn Folgetage bis zum nächsten Hitzetag. Durch die Auswahl der Zeiträume können die Ergebnisse für die Bauweisen aus der numerisch thermischen Gebäudesimulationen über den ganzen Sommer als auch in Phasen kurzer Hitzewellen verglichen werden.

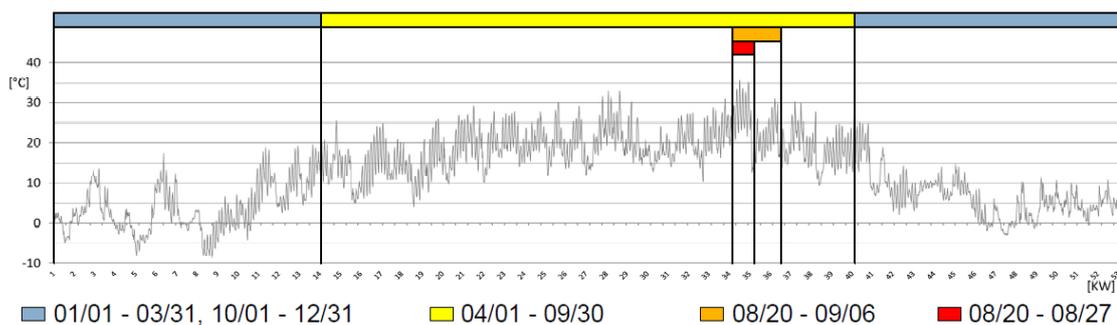


Abbildung 38 Untersuchte Zeiträume für die Ergebnisse in energyplus

4.2.1 Ergebnisse nach Szenario

Die Abbildungen 39 A-C zeigen die Überhitzungshäufigkeit der Zone 3 in der Periode April bis September. Dabei werden die Ausrichtungen gemittelt und die drei Szenarien getrennt dargestellt.

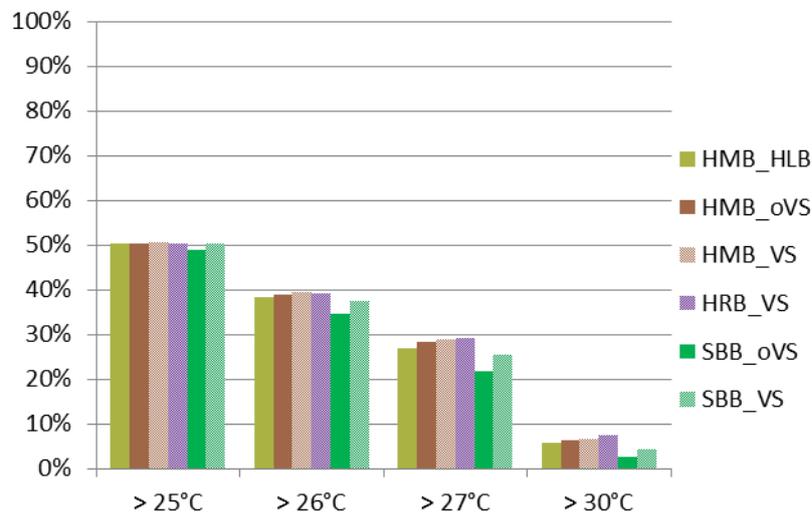


Abbildung 39 A Überhitzungshäufigkeit der Periode April – September
Zone 3, Ausrichtungen gemittelt, Szenario 1

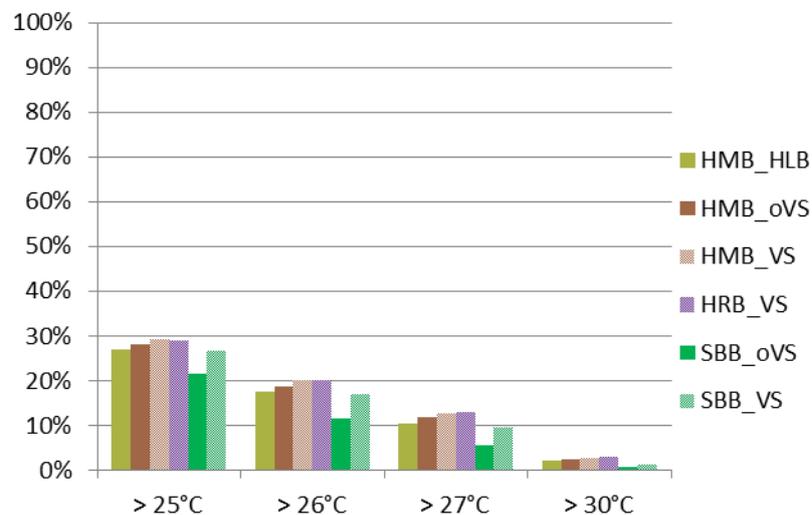


Abbildung 39 B Überhitzungshäufigkeit der Periode April – September
Zone 3, Ausrichtungen gemittelt, Szenario 2

Die Ergebnisse zeigen, dass durch Lüften in der Nacht und Verschatten unter Tags eine deutliche Reduzierung der Überhitzungshäufigkeit erreicht werden kann. Die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale zeigt eine wesentlich geringere Überhitzungshäufigkeit in allen Szenarien und Grenztemperaturen. Auch die Stahlbetonbauweise mit Vorsatzschale zeigt eine etwas geringere Überhitzungshäufigkeit als

die Holzbauweisen. Die Holzrahmenbauweise und Holzmassivbauweise mit Vorsatzschale haben die höchste Überhitzungshäufigkeit.

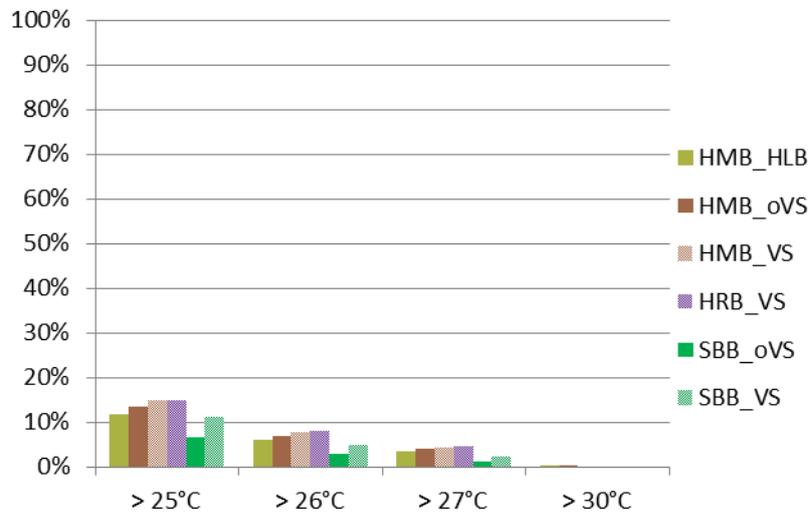


Abbildung 39 C Überhitzungshäufigkeit der Periode April – September
Zone 3, Ausrichtungen gemittelt, Szenario 3

In den Abbildungen 40 A-C ist die kumulierte Häufigkeit des Temperaturverlaufes der einzelnen Simulationen getrennt nach Szenario dargestellt. Die Ausrichtungen sind farblich hervorgehoben. Die Kurven in Szenario 1 sind sehr flach. Wird nachts gelüftet zeigt sich in Szenario 2, dass die Kurven im niedrigen Temperaturbereich wesentlich steiler verlaufen. Während in Szenario 2 die Kurven im höheren Temperaturbereich wieder flacher werden sieht man in Szenario 3, dass aufgrund der Verschattung die Kurven auch in diesem Bereich steiler sind. In Szenario 1 und 2 ist zu erkennen, dass die Temperaturen in der Ausrichtung Nord wesentlich geringer sind. Die Kurven aller anderen Ausrichtungen liegen näher beieinander. In Szenario 3 sieht man, dass je eine Kurve der Ausrichtung Süd und West einige Kurven der Ausrichtung Nord kreuzen. Außerdem liegen die Kurven wesentlich enger beieinander als im Szenario 1 und 2. Hier bestätigen sich die Ergebnisse aus AchiPhysik, die zeigen, dass bei Verschattung tagsüber der Einfluss der Ausrichtung deutlich reduziert wird.

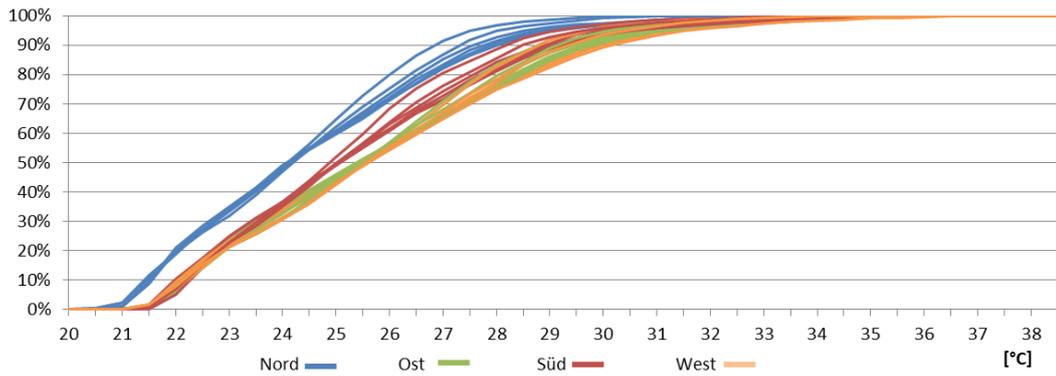


Abbildung 40 A Kumulierte Häufigkeit der Periode April – September, Zone 3, Szenario 1

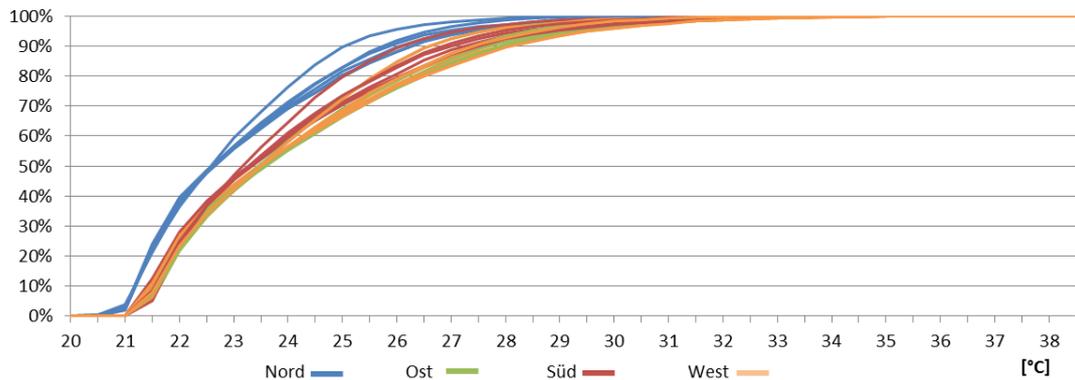


Abbildung 40 B Kumulierte Häufigkeit der Periode April – September, Zone 3, Szenario 2

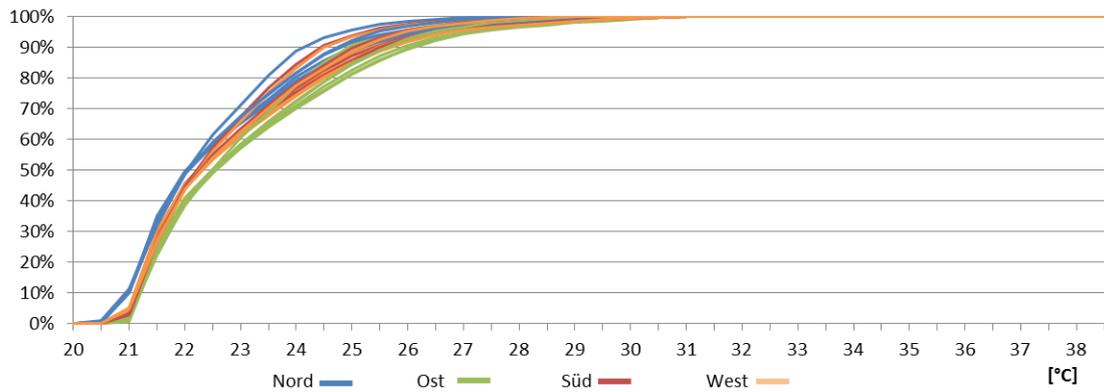


Abbildung 40 C Kumulierte Häufigkeit der Periode April – September, Zone 3, Szenario 3

Auf der folgenden Seite sind in den Abbildungen 41 A-C nochmals Ergebnisse zur kumulierten Häufigkeit der Temperaturverläufe dargestellt. Allerdings wird diesmal nicht die gesamte Sommerperiode von April bis September, sondern nur die Hitzewelle (rote Phase) betrachtet.

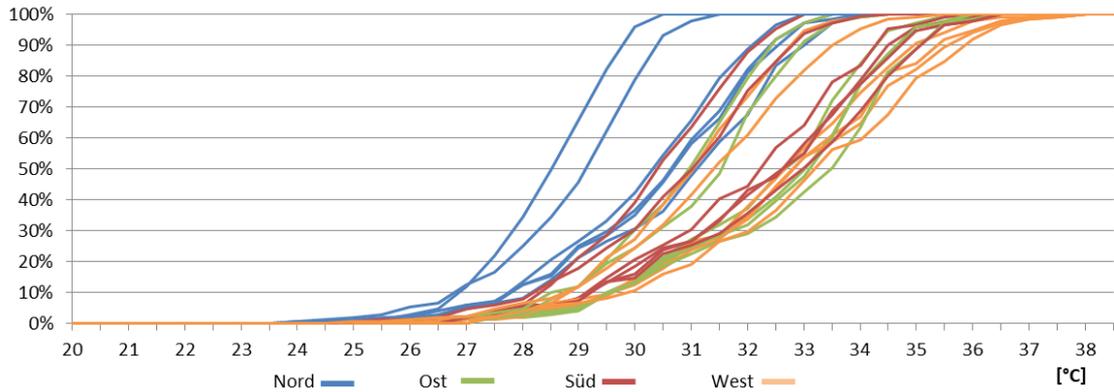


Abbildung 41 A Kumulierte Häufigkeit der Periode „Hitzewelle“, Zone 3, Szenario 1

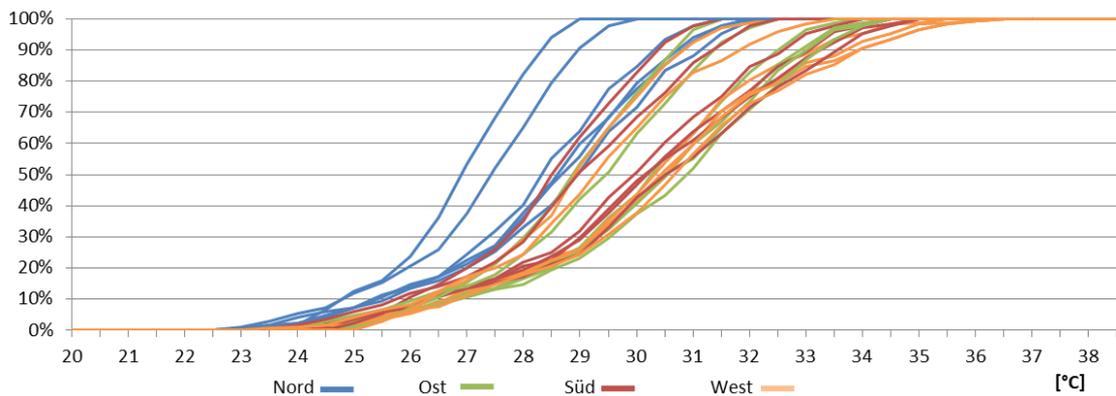


Abbildung 41 B Kumulierte Häufigkeit der Periode „Hitzewelle“, Zone 3, Szenario 2

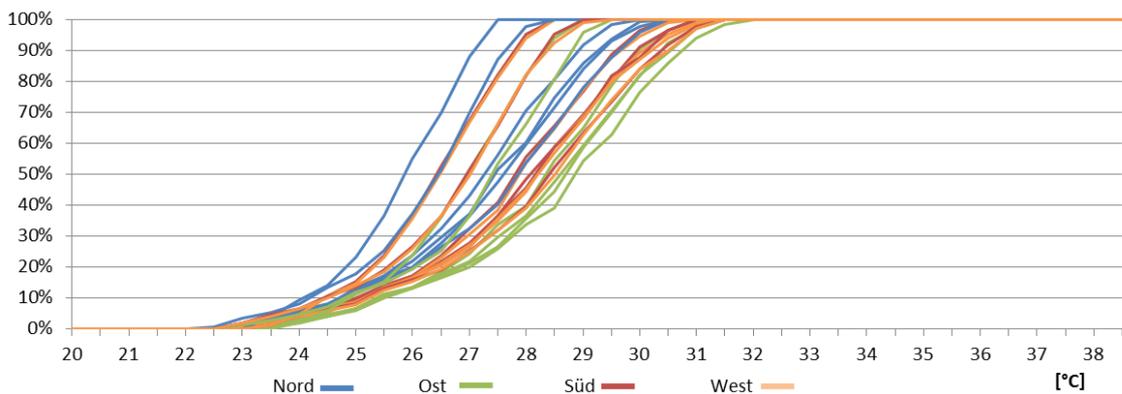


Abbildung 41 C Kumulierte Häufigkeit der Periode „Hitzewelle“, Zone 3, Szenario 3

Betrachtet man die kumulierte Häufigkeit nur im Zeitraum der Hitzewelle zeigt sich, dass die Kurven wesentlich weiter auseinander liegen. Da in diesen Abbildungen keine klare Trennung der Ausrichtungen zu erkennen ist, kann man daraus schließen, dass Bauweisen während Hitzewellen einen größeren Einfluss auf die Raumtemperatur haben. Die Kurvenverläufe zeigen, dass Nachtlüftung und Verschattung gute Maßnahmen sind um Temperaturspitzen während Hitzewellen entgegenzuwirken.

4.2.2 Ergebnisse nach Ausrichtung

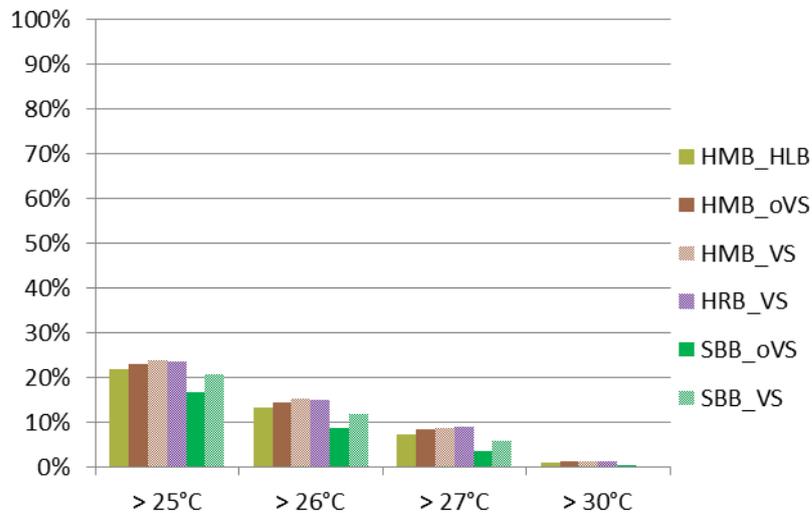


Abbildung 42 A Überhitzungshäufigkeit der Periode April – September Zone 3, Szenarien gemittelt, Ausrichtung Nord

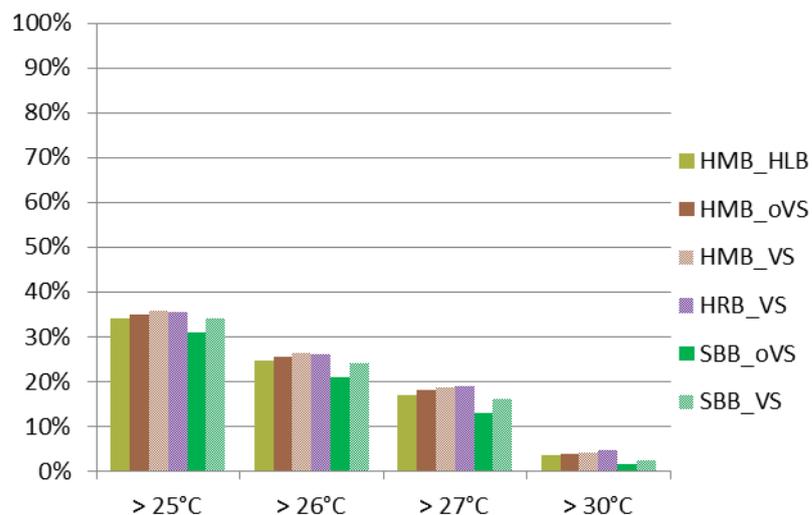


Abbildung 42 B Überhitzungshäufigkeit der Periode April – September Zone 3, Szenarien gemittelt, Ausrichtung Ost

Die Abbildungen 42 A-D zeigen die Überhitzungshäufigkeit der Periode April bis September für die Zone 3. Dabei werden die drei Szenarien gemittelt und die Ergebnisse nach Ausrichtung getrennt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Ausrichtung Ost und West etwas mehr Überhitzungsstunden zeigen als die Ausrichtung Süd. Weshalb auch die Orientierung Ost mehr Überhitzungsstunden zeigt wurde bereits bei den Ergebnissen aus ArchiPhysik diskutiert. Außerdem sieht man deutlich, dass die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale, gefolgt von der Stahlbetonbauweise mit Vorsatzschale die geringste Überhitzungshäufigkeit zeigt.

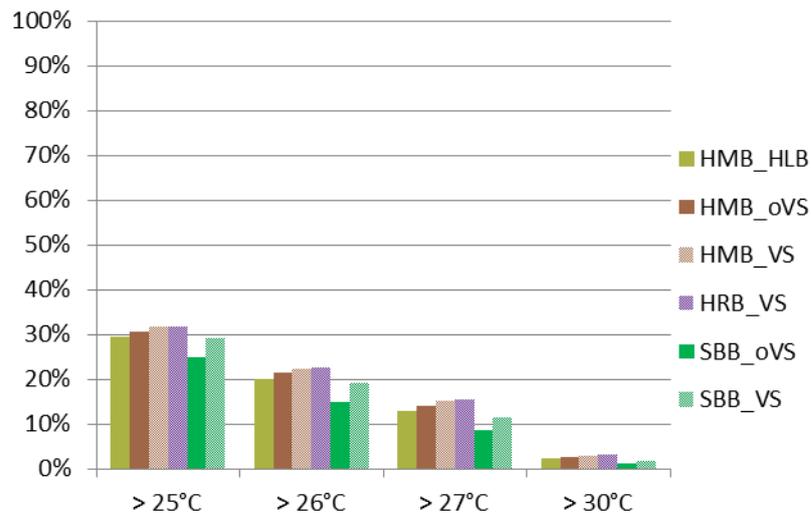


Abbildung 42 C Überhitzungshäufigkeit der Periode April – September Zone 3, Szenarien gemittelt, Ausrichtung Süd

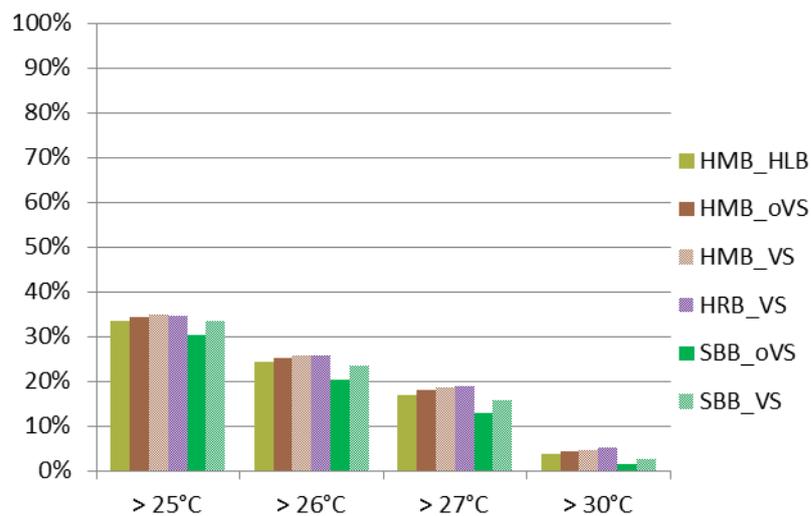


Abbildung 42 D Überhitzungshäufigkeit der Periode April – September Zone 3, Szenarien gemittelt, Ausrichtung West

Die Abbildungen 43 A-C zeigen die Summe der Überwärmung in Kelvinstunden aller Bauweisen getrennt nach Szenarien und Ausrichtung. In Szenario 1 und 2 zeigt sich, dass die Ausrichtung West, gefolgt von der Ausrichtung Ost die meiste Überwärmung aufweist. Die Orientierung nach Süden hat etwas weniger Kelvinstunden, nur die Ausrichtung Nord hat eine wesentlich geringere Anzahl an Kelvinstunden. In Szenario 3 sieht man, dass die Ausrichtung Ost am meisten Kelvinstunden zeigt. Eine mögliche Erklärung ist, dass in den frühen Morgenstunden bereits hohe solare Gewinne vorhanden sind da der Sonnenschutz erst ab 7:00 Uhr aktiviert wird.

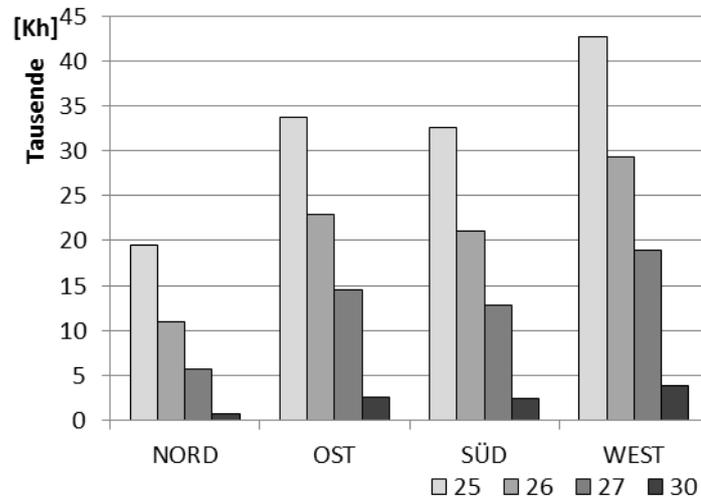


Abbildung 43 A Summe an Überwärmung in Kelvinstunden aller Bauweisen, Zone 3, Szenario 1

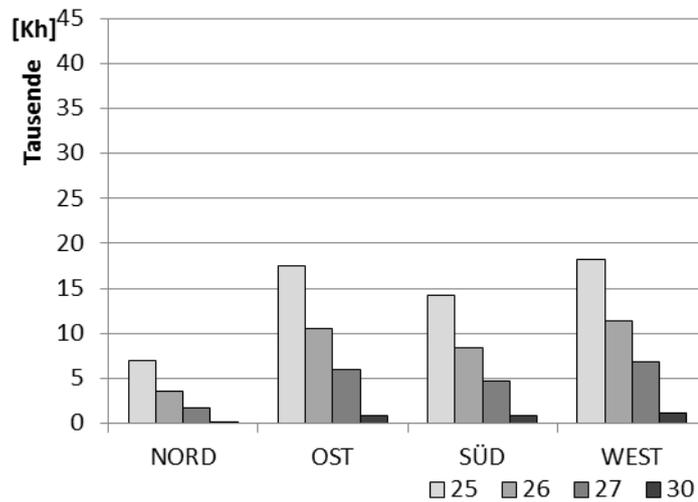


Abbildung 43 B Summe an Überwärmung in Kelvinstunden aller Bauweisen, Zone 3, Szenario 2

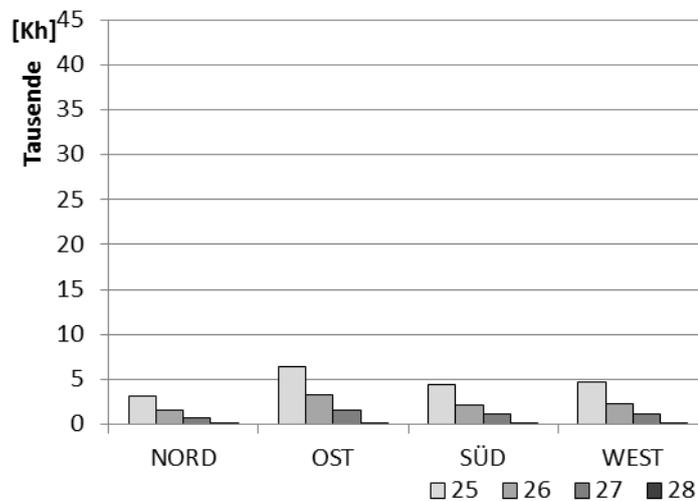


Abbildung 43 C Summe an Überwärmung in Kelvinstunden aller Bauweisen, Zone 3, Szenario 3

4.2.3 Ergebnisse nach Bauweisen

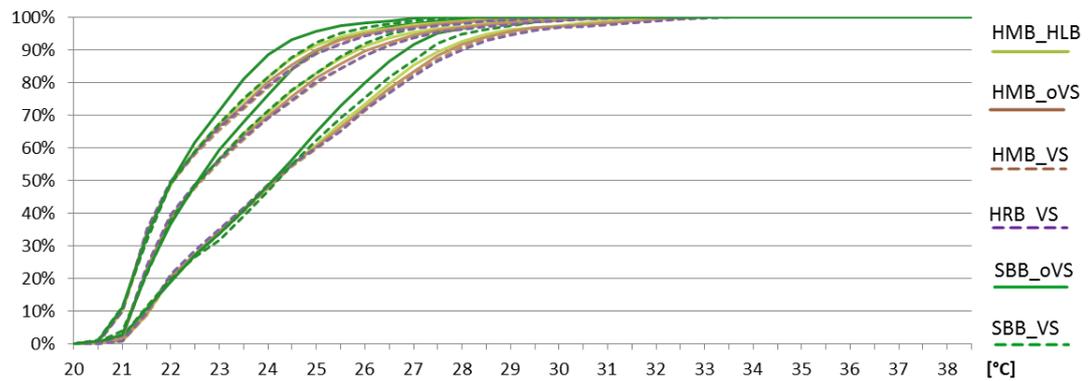


Abbildung 44 A Kumulierte Häufigkeit der Periode April – September, Zone 3, Ausrichtung Nord

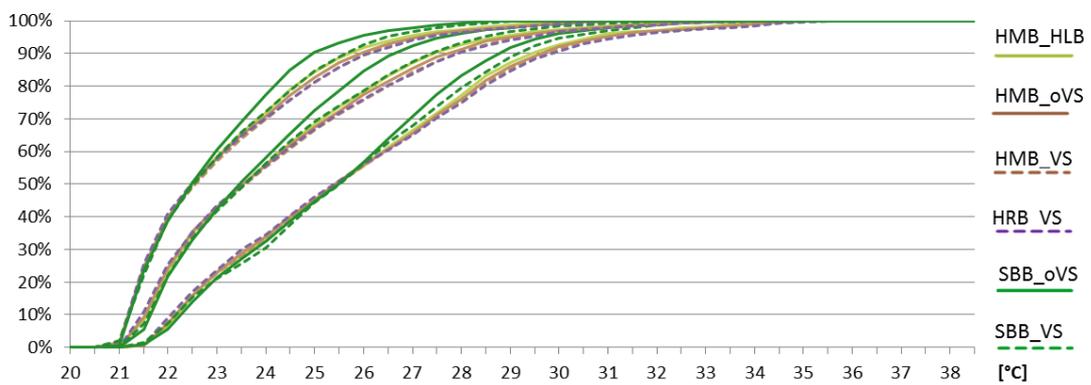


Abbildung 44 B Kumulierte Häufigkeit der Periode April – September, Zone 3, Ausrichtung Ost

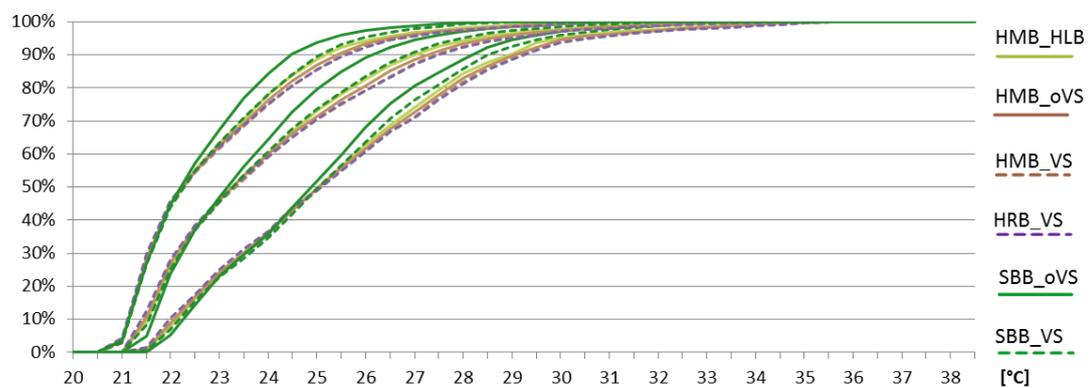


Abbildung 44 C Kumulierte Häufigkeit der Periode April – September, Zone 3, Ausrichtung Süd

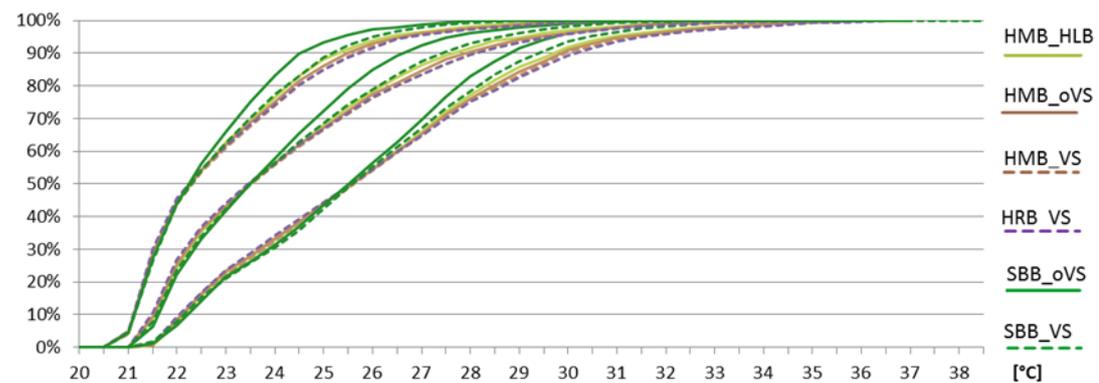


Abbildung 44 D Kumulierte Häufigkeit der Periode April – September, Zone 3, Ausrichtung West

Die Abbildungen 44 A-D zeigen die kumulierte Häufigkeit der Temperaturverläufe der Zone 3 in der Periode April bis September. Die Ergebnisse sind nach Ausrichtung getrennt. Die Szenarien 1-3 sind in jeder Ausrichtung gut in den „Paketen“ von rechts (Szenario 1) nach links (Szenario 3) zu erkennen. Auch in den Ergebnissen aus energyplus zeigt sich, dass die Bauweisen einen wesentlich geringeren Einfluss als die Szenarien haben. Dennoch ist in jedem „Paket“ erkennbar, dass sich die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale von den anderen Bauweisen abhebt. Diese Kurven sind im oberen Temperaturbereich steiler.

In den Abbildungen 45 A-D ist die kumulierte Häufigkeit der Temperaturverläufe während der Hitzewelle (rote Phase) dargestellt. Auf den ersten Blick sieht man, dass die Szenarien nicht mehr klar als „Pakete“ erkennbar sind. Beispielsweise sind in der Ausrichtung Nord von links nach rechts die Bauweisen „SBB_oVS“, „SBB_VS“ und dann wieder die Bauweise „SBB_oVS“ zu erkennen. In diesem Fall zeigt die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale aus Szenario 2 geringere Temperaturen als alle Holzbauweisen aus Szenario 3. Der gleiche Fall zeigt sich auch in den anderen Ausrichtungen. Daraus kann man schließen, dass in Hitzewellen der Einfluss der Bauweise wesentlich höher ist als in der gesamten Sommerperiode von April bis September.

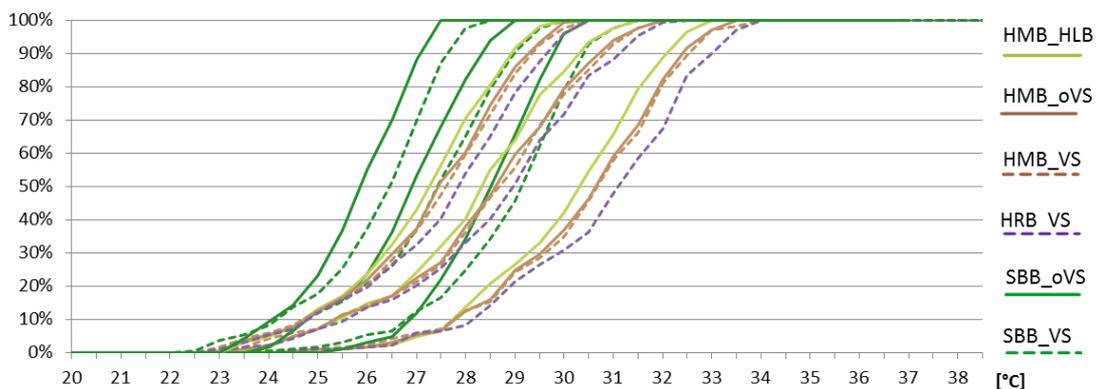


Abbildung 45 A Kumulierte Häufigkeit der Periode „Hitzewelle“, Zone 3, Ausrichtung Nord

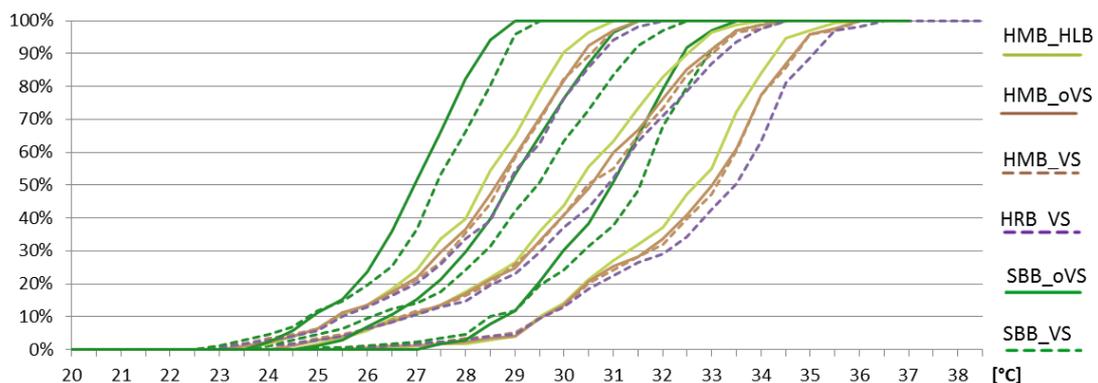


Abbildung 45 B Kumulierte Häufigkeit der Periode „Hitzewelle“, Zone 3, Ausrichtung Ost

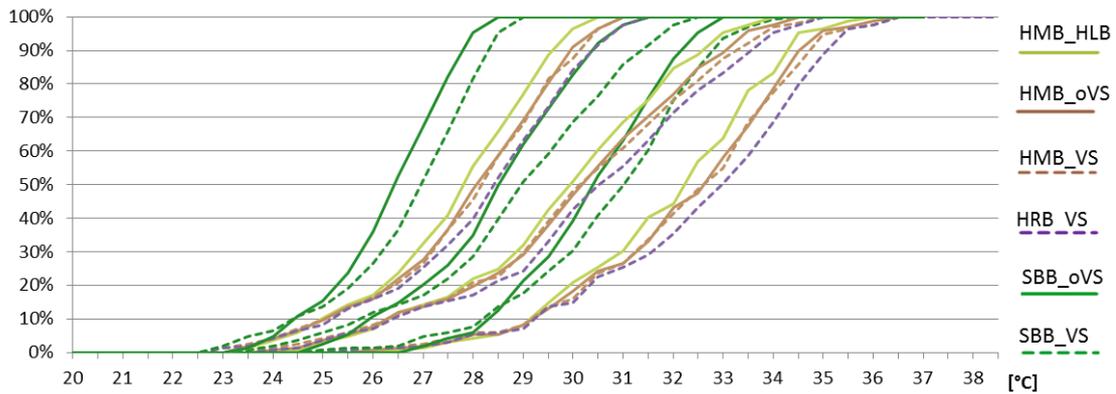


Abbildung 45 C Kumulierte Häufigkeit der Periode „Hitzewelle“, Zone 3, Ausrichtung Süd

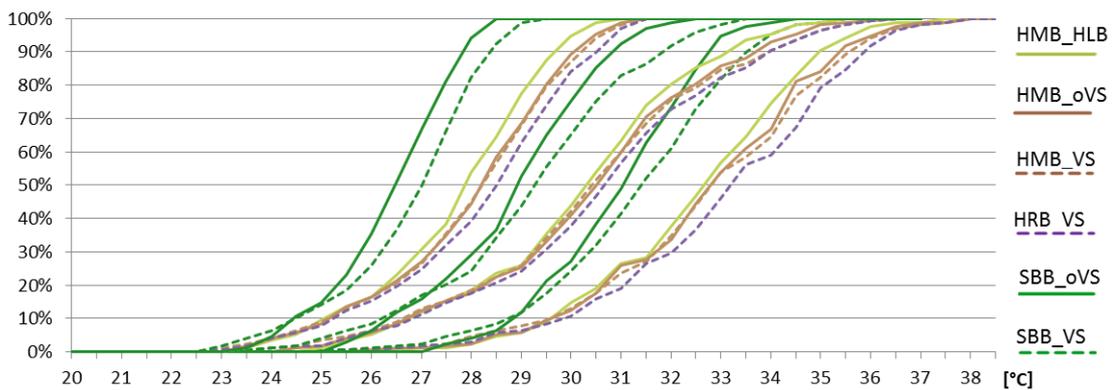


Abbildung 45 D Kumulierte Häufigkeit der Periode „Hitzewelle“, Zone 3, Ausrichtung West

Auf der folgenden Seite sind in den Abbildungen 46 A-C die Temperaturverläufe für die Szenarien 1-3 der Ausrichtung West dargestellt. Die Ergebnisse zeigen die orange Periode (Hitzewelle + 10 Tage). Bis zum letzten Tag der Hitzewelle haben die beiden Stahlbetonbauweisen deutlich geringere Maximaltemperaturen in allen Szenarien. Auch nachts erreichen diese beiden Bauweisen die Minimaltemperaturen. In der Nacht auf den 27. August sinkt die Außentemperatur unter 15 °C ab. In Szenario 1 bleiben die Temperaturen in dieser Nacht sehr hoch. Dabei erreichen die Bauweisen ohne Vorsatzschale die Höchstwerte. Überraschend ist, dass die Stahlbetonbauweise mit Vorsatzschale hier die minimalste Temperatur hat, obwohl diese während der Hitzewelle tendenziell dem Temperaturverlauf der Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale folgt. In Szenario 2 ist zu erkennen, dass die Bauweisen mit Vorsatzschale in der Nacht auf den 27. August aufgrund der vorhandenen Nachtlüftung mehr abkühlen. In den Tagen nach der Hitzewelle zeigt sich, dass bei Außentemperaturen unter 25 °C die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale in Szenario 1 höhere Temperaturen aufweist als die anderen Bauweisen. In Szenario 2 liegen die Temperaturen in diesem Bereich enger beieinander, nur in der Nacht sinken bei allen Bauweisen mit Ausnahme der Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale die Temperaturen deutlich ab.

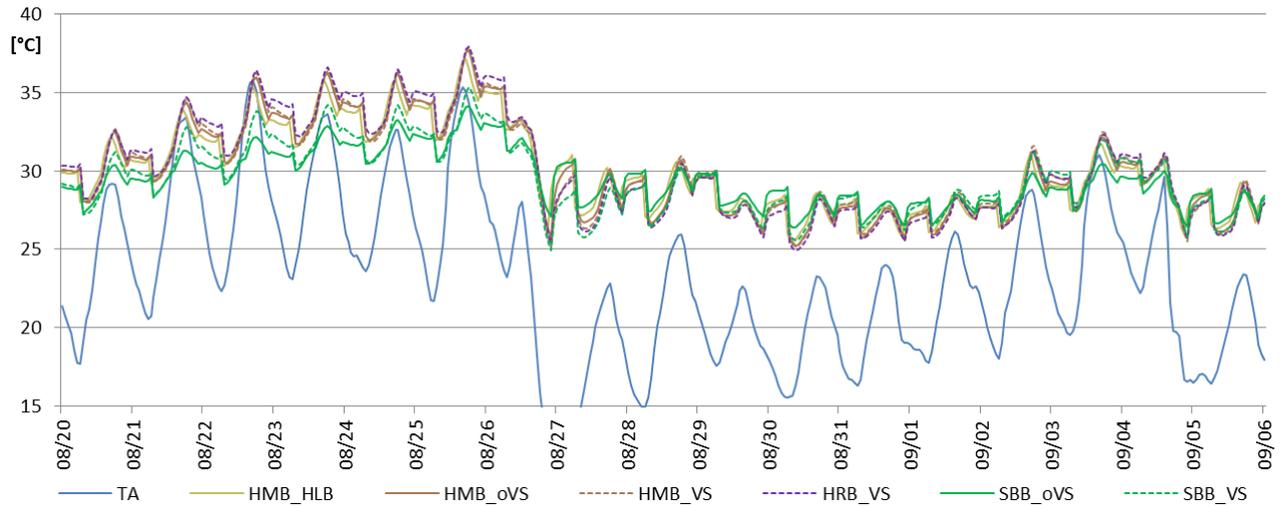


Abbildung 46 A Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 1

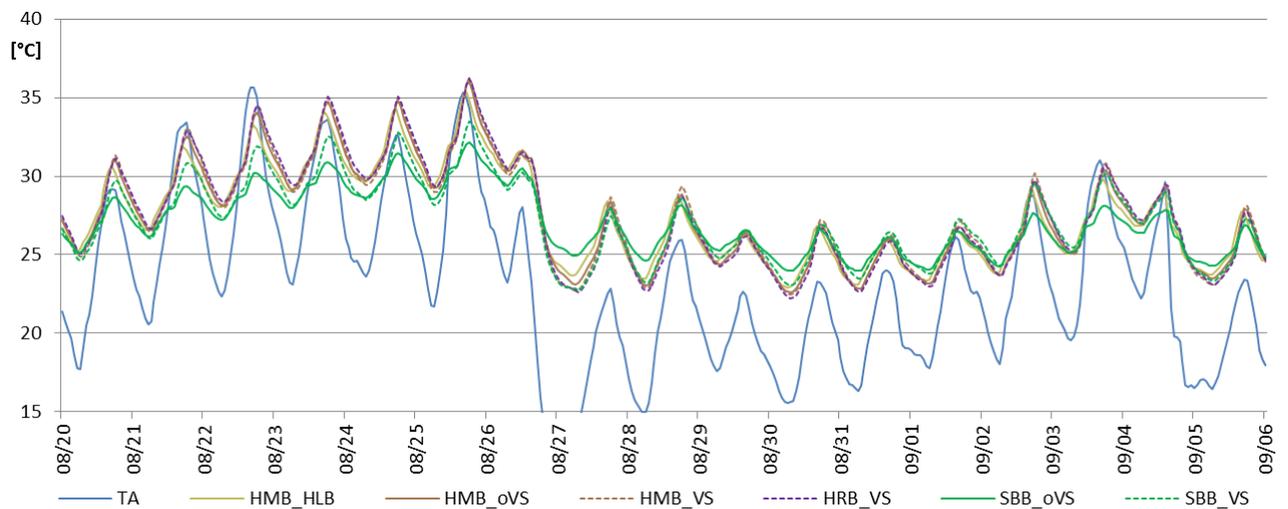


Abbildung 46 B Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 2

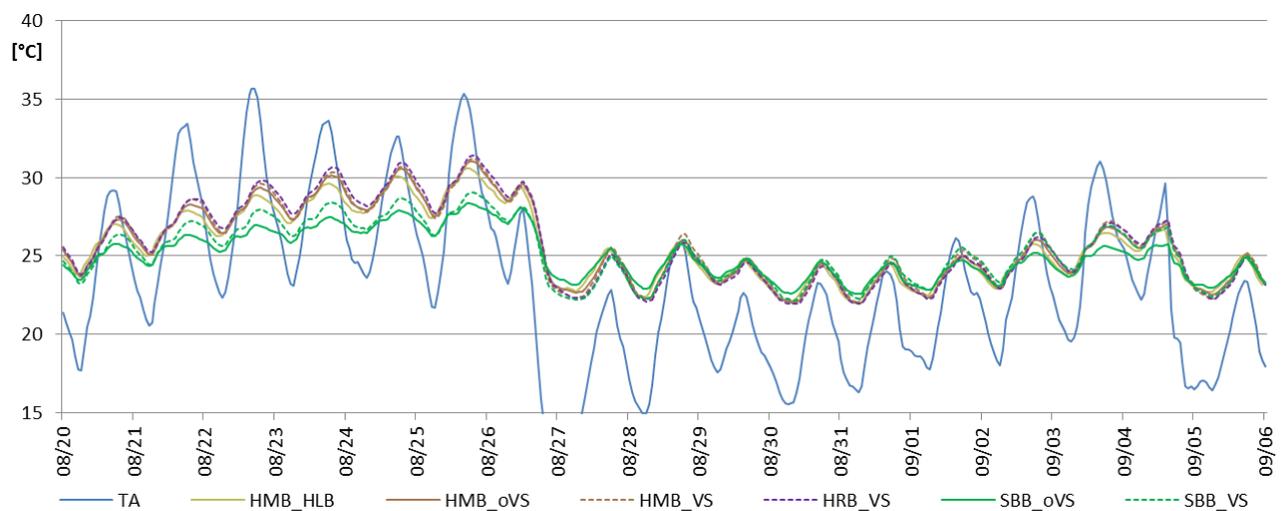


Abbildung 46 C Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 3

Steigt die Außentemperatur wieder über 25 °C, ist in allen Szenarien zu sehen, dass die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale niedrigere Maximaltemperaturen aufweist als die anderen Bauweisen. Die Ergebnisse für die Ausrichtungen Nord, Ost und Süd sind dem Anhang zu entnehmen.

Die Abbildungen 47 A-C zeigen die Überwärmung in Kelvinstunden der Zone 3 mit Ausrichtung West für die Periode April bis September. In allen Szenarien und Temperaturbereichen hat die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale die geringste Anzahl an Kelvinstunden. Auch die Stahlbetonbauweise mit Vorsatzschale zeigt eine deutlich geringere Anzahl an Kelvinstunden als die Holzbauweisen. Die Holzrahmenbauweise hat in allen Szenarien und Temperaturbereichen die höchste Anzahl an Kelvinstunden. Alle weiteren Ausrichtungen sind im Anhang zu finden.

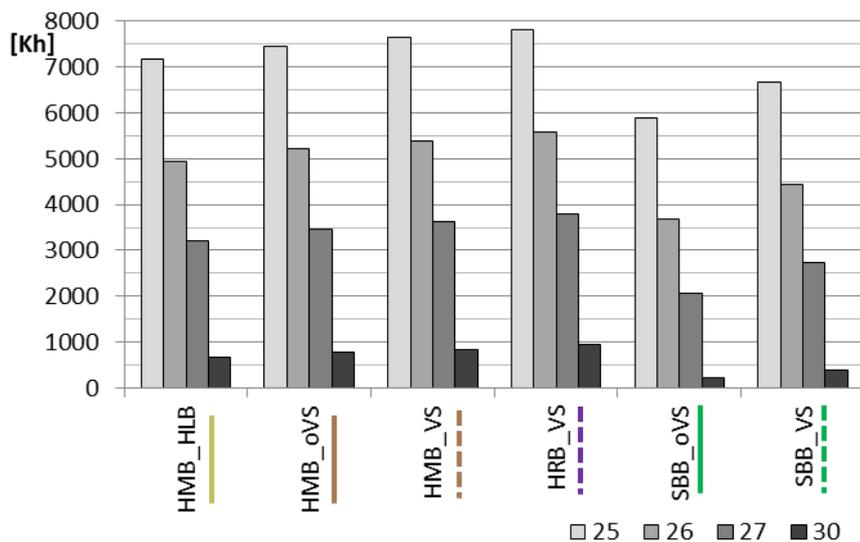


Abbildung 47 A Überwärmung in der Periode April – September, Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 1

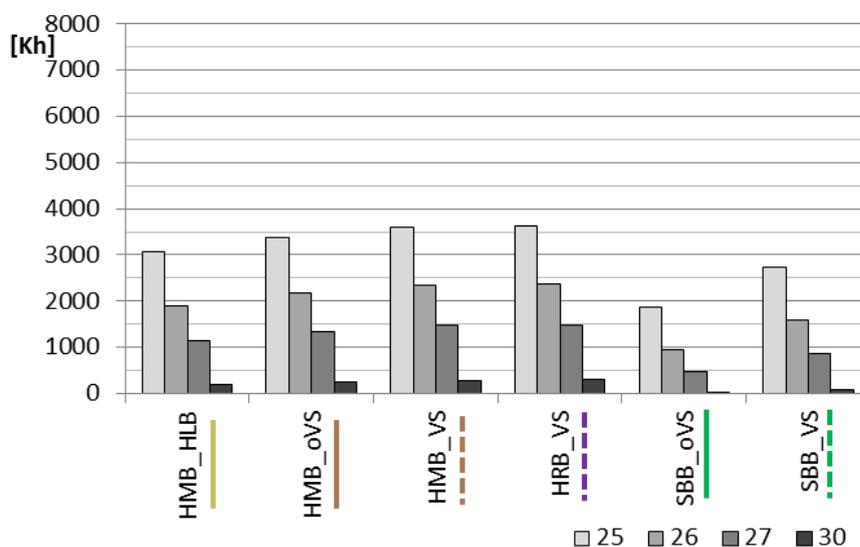


Abbildung 47 B Überwärmung in der Periode April – September, Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 2

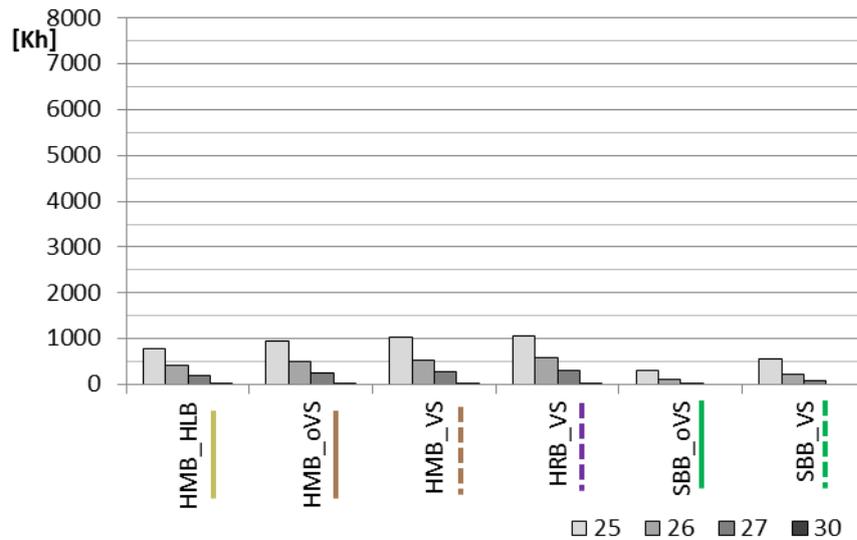


Abbildung 47 C Überwärmung in der Periode April – September, Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 3

In den Abbildungen 48 A-X sind die Temperaturdifferenzen der Zone 3 während der Hitzewelle dargestellt. Als Referenz wird die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale herangezogen. In der Ausrichtung Nord, Szenario 1 zeigt sich, dass die Temperatur der Holzrahmenbauweise um bis zu 4 Kelvin höher ist. Die Temperaturdifferenzen sind auch in Szenario 2 sehr groß, in Szenario 3 sind diese um etwa 1 Kelvin geringer.

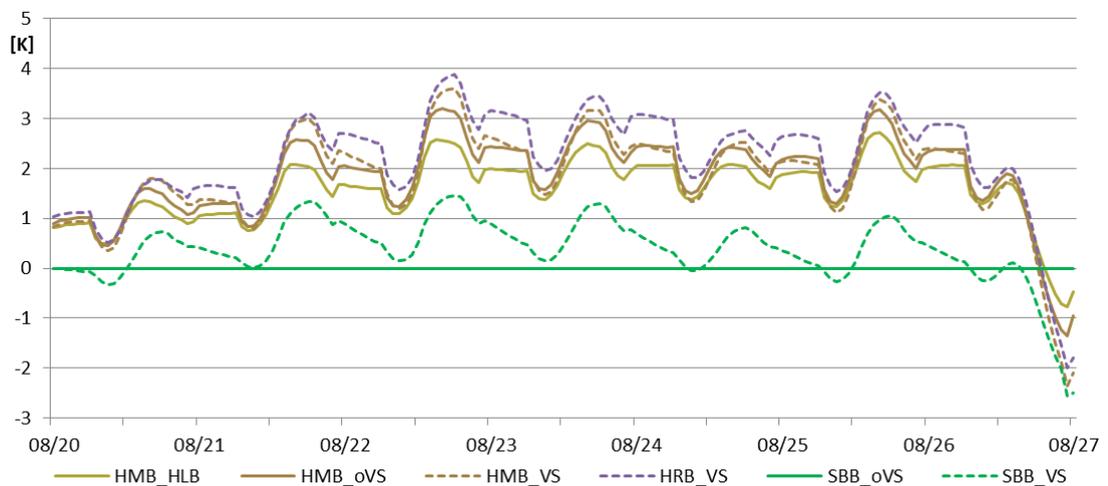


Abbildung 48 A Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS in der Hitzewelle Zone 3, Ausrichtung Nord, Szenario 1

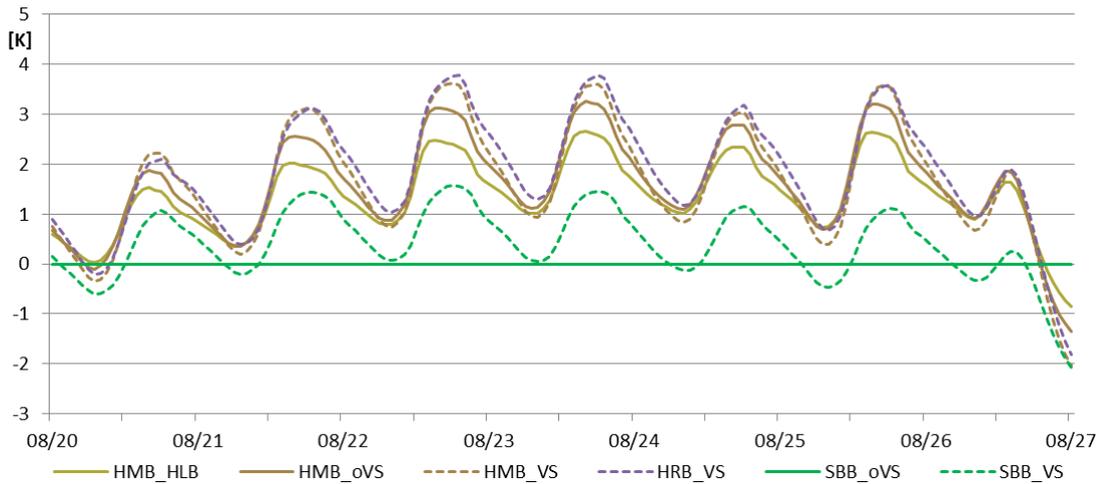


Abbildung 48 B Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS in der Hitzewelle Zone 3, Ausrichtung Nord, Szenario 2

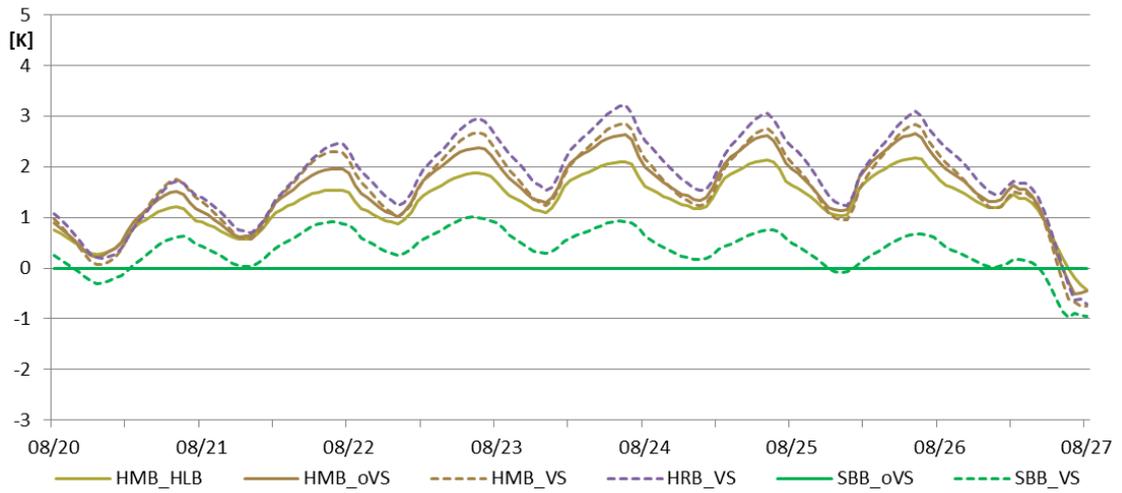


Abbildung 48 C Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS in der Hitzewelle Zone 3, Ausrichtung Nord, Szenario 3

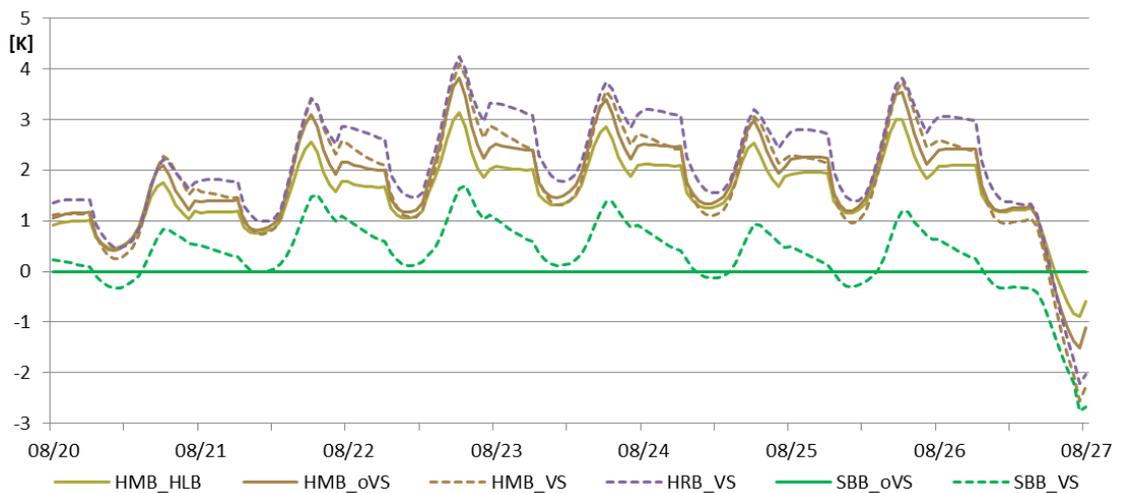


Abbildung 48 D Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS in der Hitzewelle Zone 3, Ausrichtung Ost, Szenario 1

Bei Ausrichtung Ost sind in Szenario 1 und 2 sehr spitze Kurven bei der Temperaturdifferenz zu sehen. Betrachtet man die Temperaturverläufe der Abbildung 46 sieht man, dass die größten Temperaturdifferenzen zwischen den Bauweisen bei den maximalen Tagestemperaturen auftreten. Dies bedeutet wiederum, dass aus der Abbildung 48 die Temperaturdifferenz bei maximaler Tagestemperatur gut abzulesen ist. Die Holzrahmenbauweise und Holzmassivbauweise mit Vorsatzschale haben die höchsten Temperaturen. Die Holzmassivbauweise ohne Vorsatzschale zeigt etwas geringere Maximaltemperaturen. Auch die Holzmassivbauweise mit Holzleichtbeton hat eine Temperaturdifferenz bis zu 3 Kelvin. Die Stahlbetonbauweise erreicht nachts mit Vorsatzschale in etwa die gleiche Temperatur wie ohne Vorsatzschale.

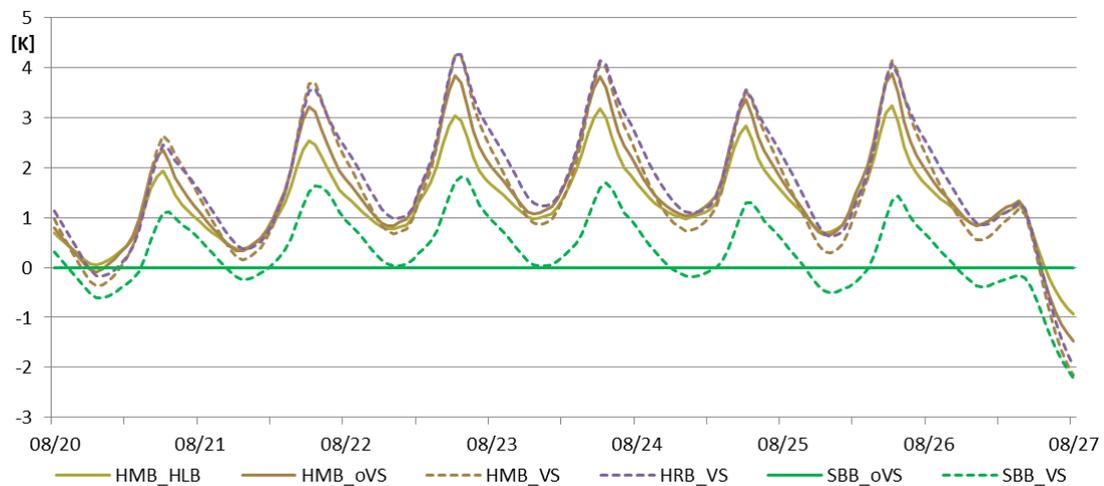


Abbildung 48 E Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS in der Hitzewelle
Zone 3, Ausrichtung Ost, Szenario 2

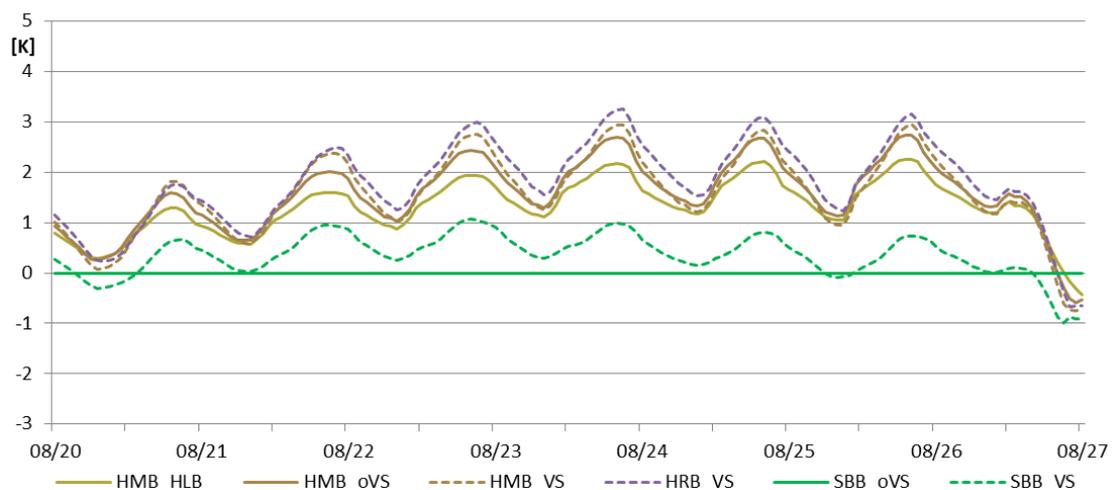
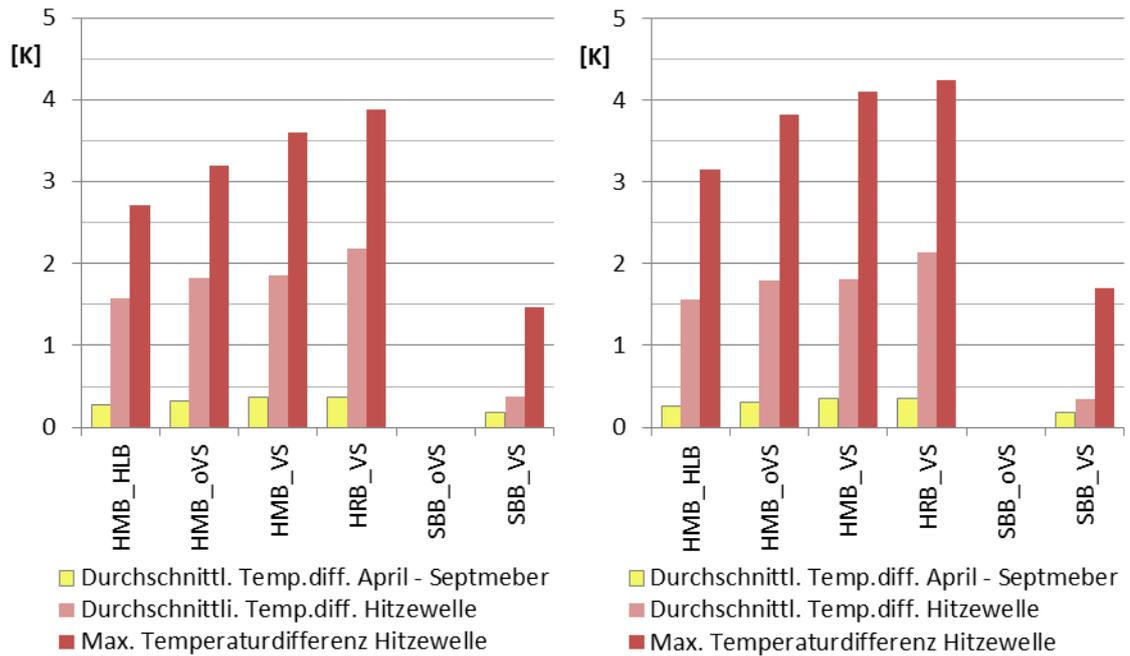
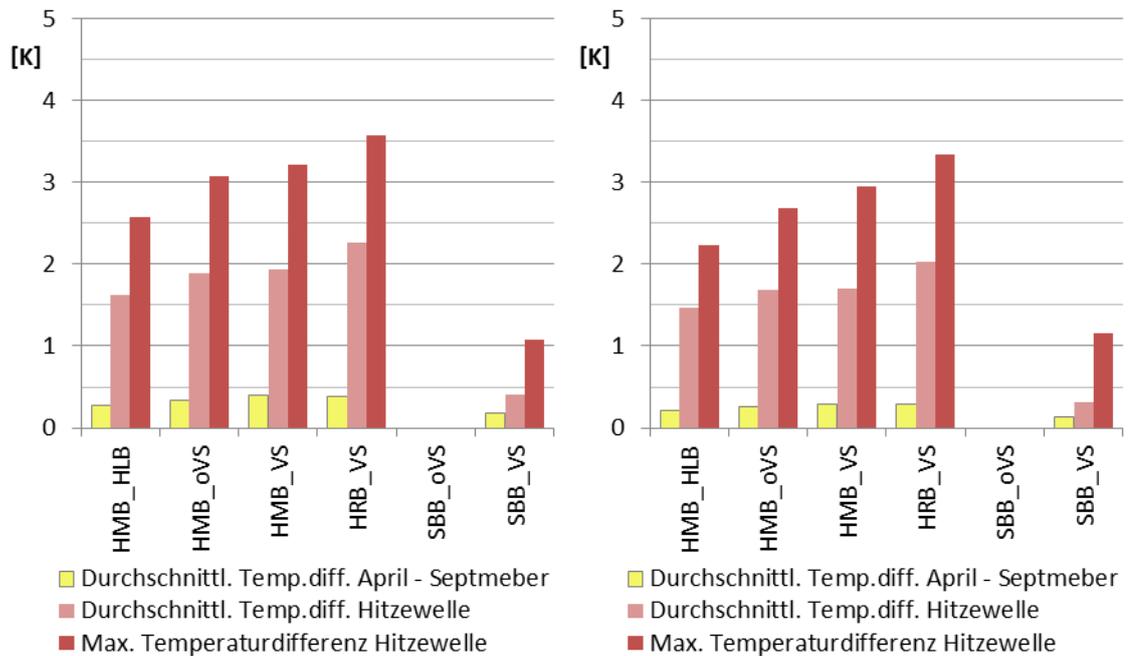


Abbildung 48 F Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS in der Hitzewelle
Zone 3, Ausrichtung Ost, Szenario 3

Die Abbildungen 48 G-L für die Ausrichtungen Süd und West sind im Anhang.

**Zone 3, Nord, Szenario 1****Zone 3, Ost, Szenario 1****Zone 3, Süd, Szenario 1****Zone 3, West, Szenario 1***Abbildung 49 A Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS, Zone 3, Szenario 1*

In den Abbildungen 49 A-C sind die Temperaturdifferenzen der Bauweisen dargestellt. Als Referenz wird die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale genommen. Der gelbe Balken zeigt die durchschnittliche Temperaturdifferenz der gesamten Periode von April bis September. Der hellrote Balken zeigt die durchschnittliche Temperaturdifferenz während der Hitzewelle. Der dunkelrote Balken zeigt die maximale Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS während der Hitzewelle.

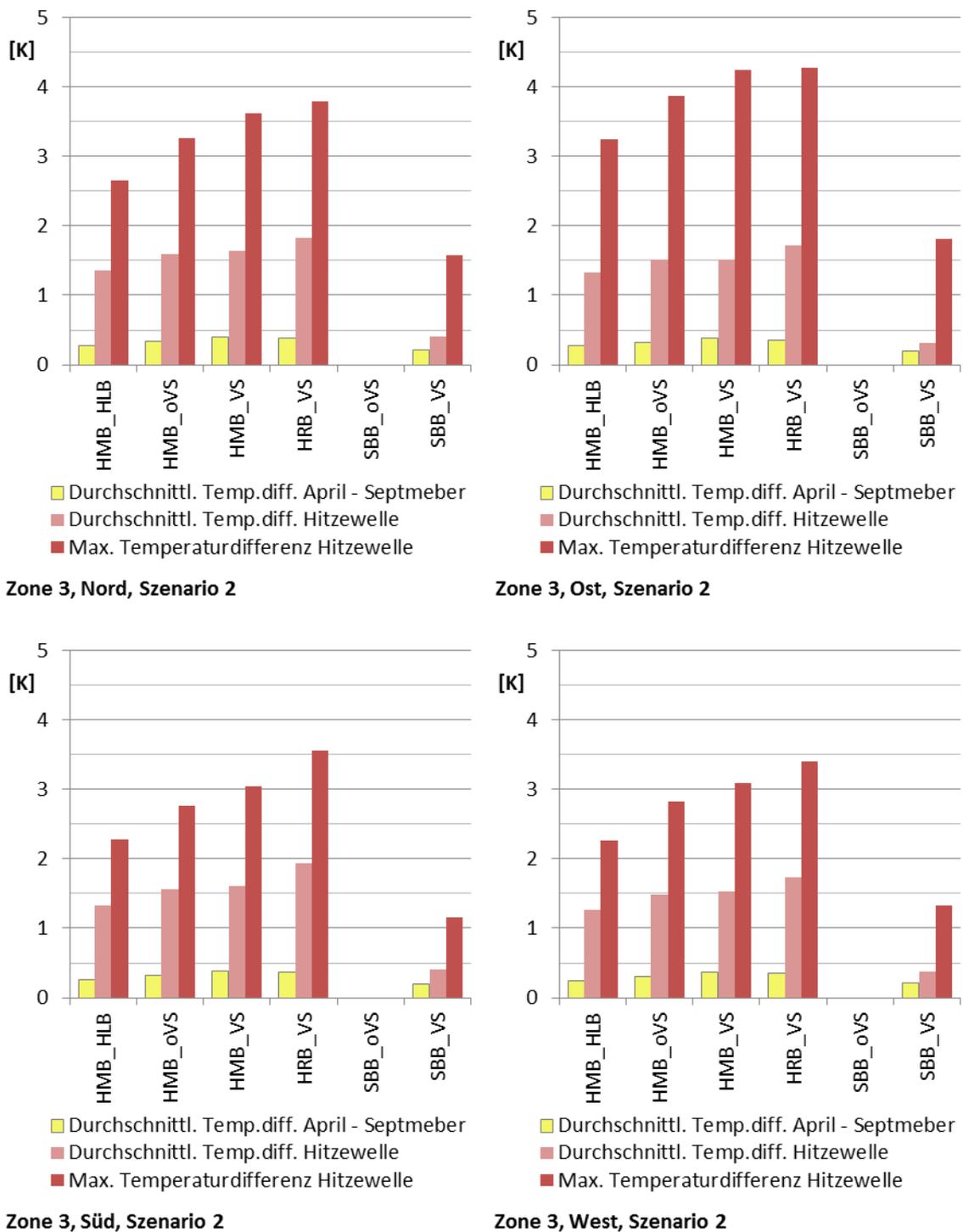
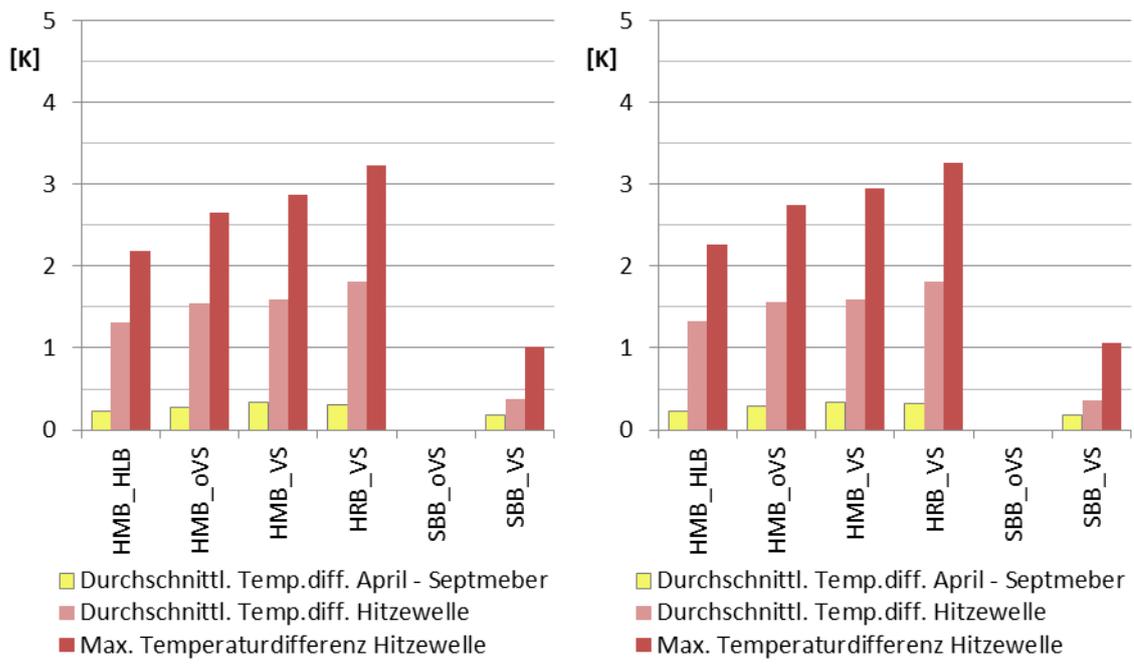


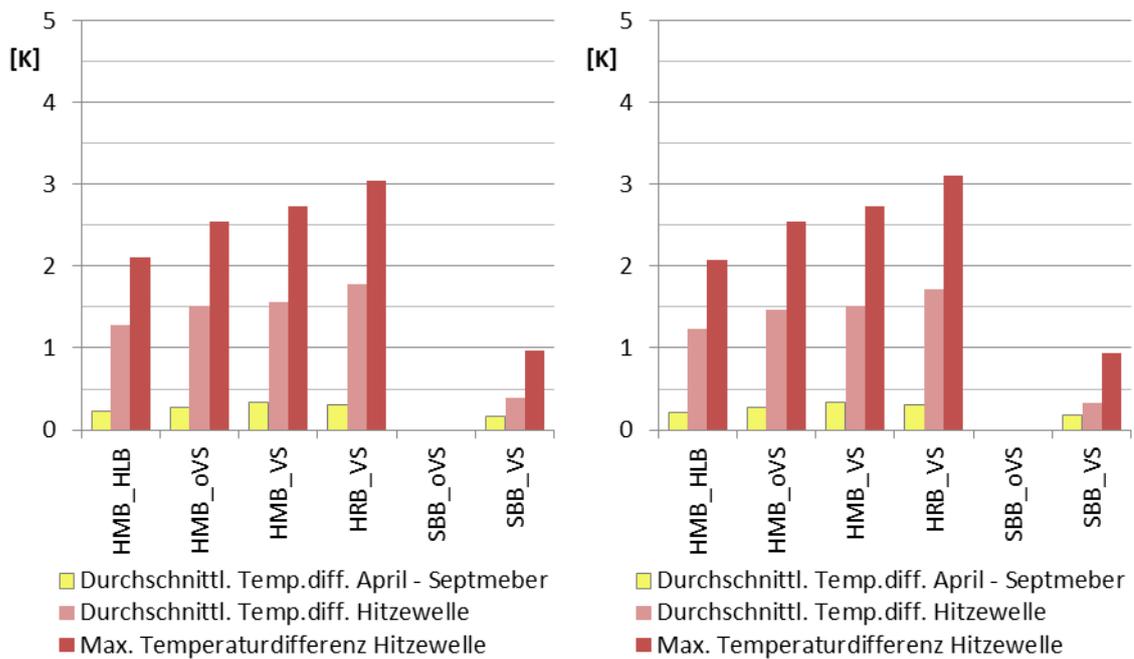
Abbildung 49 B Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS, Zone 3, Szenario 2

Aus den Resultaten zeigt sich, dass die durchschnittliche Temperaturdifferenz in der Hitzewelle wesentlich größer ist. Gerade an sehr heißen Tagen zeigen die beiden Stahlbetonbauweisen deutlich geringere Maximaltemperaturen. In allen Szenarien ist das gleiche Muster zu erkennen. Die Balken der Holzrahmenbauweise sind in allen drei Kategorien am höchsten, gefolgt von der Holzmassivbauweise mit Vorsatzschale, der Holzmassivbauweise ohne Vorsatzschale und der Holzmassivbauweise mit Holzleichtbeton.



Zone 3, Nord, Szenario 3

Zone 3, Ost, Szenario 3



Zone 3, Süd, Szenario 3

Zone 3, West, Szenario 3

Abbildung 49 C Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS, Zone 3, Szenario 3

Die Balken der Stahlbetonbauweise mit Vorsatzschale sind wesentlich niedriger als alle anderen Bauweisen. Die größten Temperaturdifferenzen treten in allen Szenarien in der Ausrichtung Ost auf. In Szenario 3 werden die Temperaturdifferenzen zur Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale minimal geringer.

4.3 Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf wurde aus den Ergebnissen von energyplus in Szenario 1 verglichen.

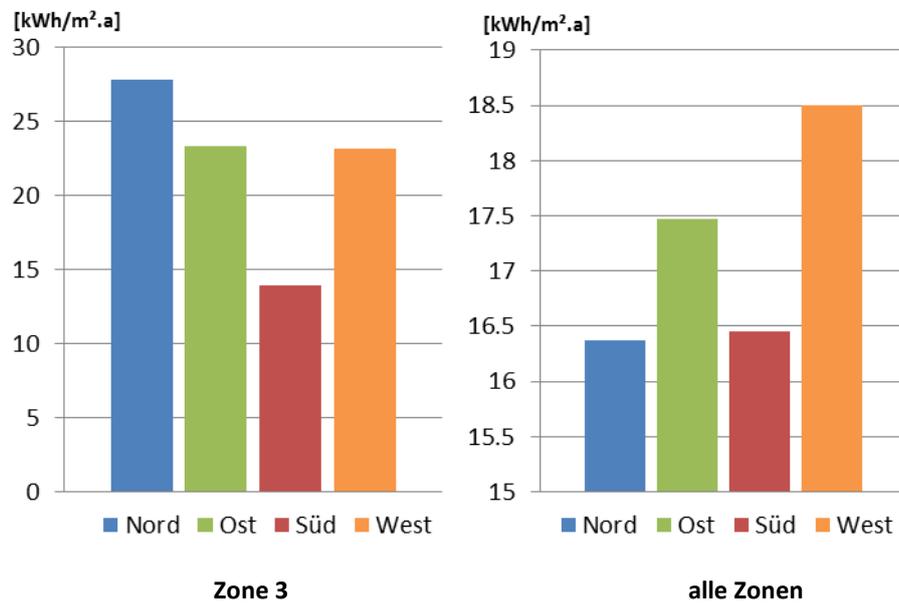


Abbildung 50 Durchschnittlicher HWB aller Bauweisen

Die Abbildung 50 zeigt auf der linken Seite den durchschnittlichen Heizwärmebedarf aller Bauweisen der Zone 3. Dabei zeigt sich, dass der Heizwärmebedarf der Ausrichtung Ost und West gleich groß ist. Bei Ausrichtung Nord ist der Heizwärmebedarf höher, bei Ausrichtung Süd geringer. Auf der rechten Seite der Abbildung ist der Heizwärmebedarf für den gesamten Wohnungsgrundriss dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass die Hauptausrichtung auch gegenüberliegende Fenster hat. Interessant ist, dass hier der Heizwärmebedarf von Ost und West nicht mehr gleich ist, obwohl die gleiche Anzahl und Größe an Fenstern nach Ost und West orientiert sind. Der Heizwärmebedarf der Ausrichtung Nord ist hier etwas geringer.

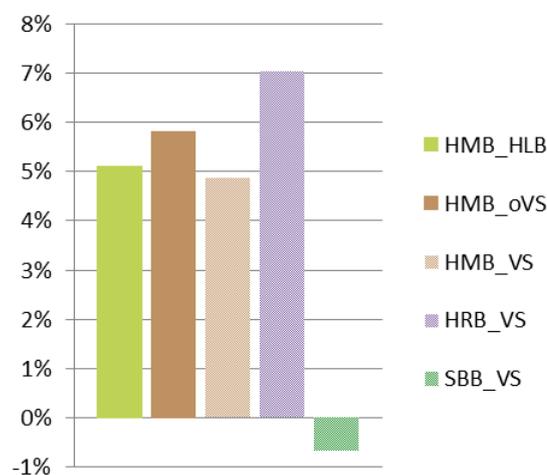


Abbildung 51 Vergleich des HWB zur Bauweise SBB_oVS mit 24,10 kWh.m².a⁻¹, Zone 3

Abbildung 51 zeigt den prozentuellen Unterschied der einzelnen Bauweisen im Heizwärmebedarf der Zone 3. Als Referenz wird die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale herangezogen. Diese hat einen Heizwärmebedarf von $24,10 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$. Die Resultate zeigen, dass der Heizwärmebedarf in den Holzbauweisen höher ist. Der Heizwärmebedarf der Holzrahmenbauweise ist etwa um 5,5 % höher. Die anderen Holzbauweisen liegen bei ca. 4 %. Interessant ist, dass der Heizwärmebedarf der Stahlbetonbauweise mit Vorsatzschale niedriger ist als ohne Vorsatzschale.

4.4 Einfluss von Konstruktionsmaterial und Fußbodenaufbau

Aus den Ergebnissen von ArchiPhysik haben ganz klar die Bauweisen mit Vorsatzschale die größte Anzahl an Überhitzungsstunden. In energyplus zeigt sich, dass die Stahlbetonbauweise mit Vorsatzschale eine geringere Überhitzungshäufigkeit zeigt als in ArchiPhysik. Der Unterschied zwischen den Bauweisen liegt nicht nur in der Tragkonstruktion sondern auch am Fußbodenaufbau. So haben alle Holzbauweisen einen trockenen Fußbodenaufbau und die beiden Stahlbetonbauweisen einen Zementestrich. Ob die Ursache für den großen Unterschied in den unterschiedlichen Fußbodenaufbauten oder in der Masse der Tragkonstruktion zu finden ist sollen zwei weitere Simulationen zeigen. Dafür wird die Holzmassivbauweise ohne Vorsatzschale mit einem Zementestrich „HMB_oVS_ZE“ und die Stahlbetonbauweise mit Vorsatzschale mit einem trockenen Fußbodenaufbau „SBB_VS_TF“ simuliert. Die Simulation wird nur für die Zone 3 mit Ausrichtung West in Szenario 3 durchgeführt. Abbildung 52 zeigt den Temperaturverlauf der Zone 3 mit Ausrichtung West. Abbildung 53 zeigt die Temperaturdifferenz zur Bauweise „SBB_oVS“ während der Hitzewelle. Abbildung 54 zeigt die Temperaturdifferenzen zusammengefasst in den drei Kategorien.

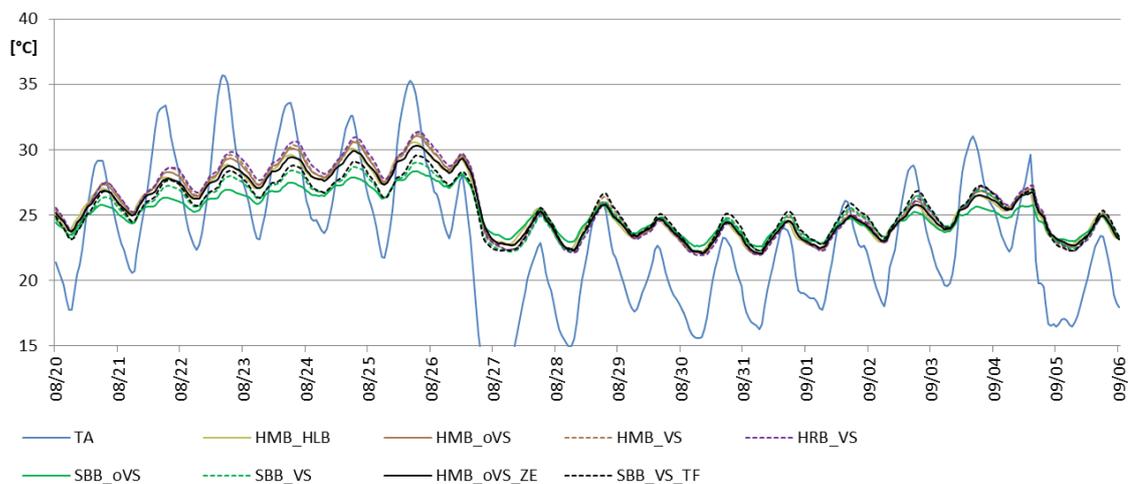


Abbildung 52 Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 3 mit 2 anderen Bauweisen

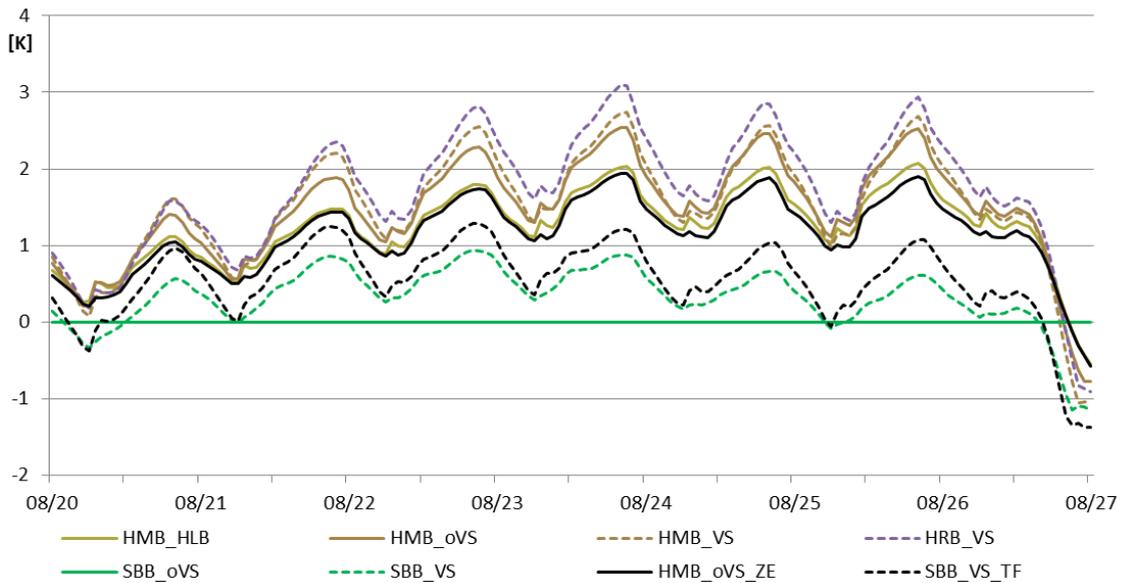


Abbildung 53 Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS in der Hitzewelle mit 2 anderen Bauweisen Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 3

Das Einbringen eines zementgebundenen Estrichs in die Holzmassivbauweise ohne Vorsatzschale zeigt eine Reduzierung der Temperaturen. Diese Variante weist in etwa die gleichen Temperaturen auf wie die Holzmassivbauweise mit Holzleichtbeton. Bringt man in die Stahlbetonbauweise mit Vorsatzschale einen trockenen Fußbodenaufbau ein erhöhen sich die Maximaltemperaturen. Allerdings ist zwischen den Bauweisen „SBB_VS_TF“ und „HMB_VS“ noch sehr großer Spielraum. Daraus kann man schließen, dass die Art der Fußbodenkonstruktion einen deutlichen Einfluss hat aber das Konstruktionsmaterial hinter den Vorsatzschalen einen wesentlich größeren Einfluss aufweist. In diesen Ergebnissen zeigt sich ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Verfahren nach ÖNORM (AS1 2012) und einer numerischen thermischen Gebäudesimulation.

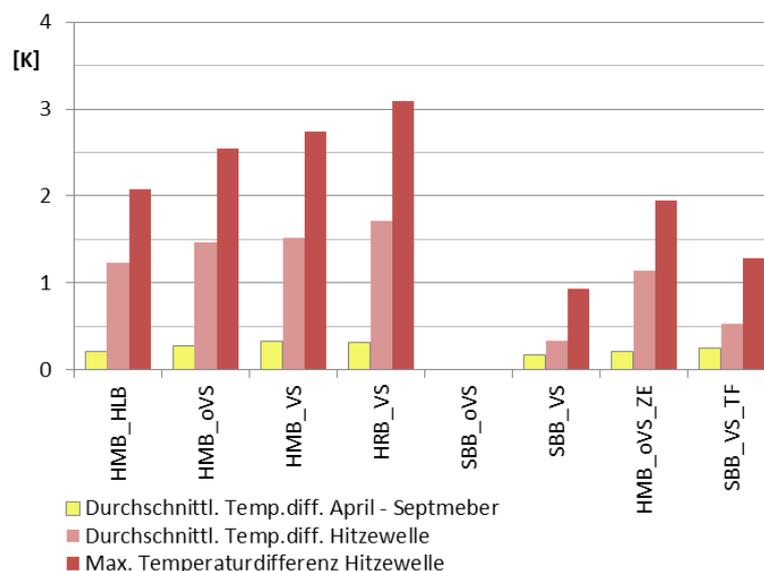


Abbildung 54 Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS mit 2 anderen Bauweisen Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 3

5 SCHLUSSFOLGERUNG

Die Ergebnisse dieser Arbeit werden anhand der Antworten auf die Hypothesen zusammengefasst. Allgemein ist zu sagen, dass bei der Beurteilung der Bauweisen zum Thema sommerliche Überwärmung verschiedene Szenarien und Ausrichtungen untersucht werden müssen.

H1: Holzbauer sagen, dass die sommerliche Überwärmung in Gebäuden hauptsächlich vom Nutzerverhalten (Bedienung von Lüftungs- und Verschattungselementen) abhängt. Speichermasse hat nur einen geringen Einfluss.

Die Ergebnisse aus ArchiPhysik zeigen, dass die unterschiedlichen Szenarien einen wesentlich größeren Einfluss haben als Ausrichtung und Bauweisen. Betrachtet man die Langzeitperiode von April bis September bestätigen sich diese Ergebnisse auch in energyplus. Dass sommerliche Überwärmung hauptsächlich vom Nutzerverhalten abhängt, ist daher grundsätzlich korrekt.

H2: „Warm im Winter, kühl im Sommer“, damit werben Vertreter von herkömmlichen Massivbauweisen.

H2A: Massivbauer sind der Meinung, dass Gebäude mit viel Speichermasse die Wärme aufnehmen und Hitzeperioden dadurch besser überbrücken können. Die Überhitzungshäufigkeit von südorientierten Räumen ist in Holzhäusern deutlich höher.

Die Resultate aus ArchiPhysik zeigen, dass die Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale geringere Maximale der operativen Innenraumtemperatur aufweist. Die Ergebnisse in energyplus zeigen, dass die Überhitzungshäufigkeit von Holzbauweisen oftmals um bis zu 5 bis 7 % höher ist als in den Stahlbetonbauweisen. Der genaue Unterschied ist abhängig von dem betrachteten Szenario (Nutzerverhalten hinsichtlich Lüftung und Verschattung), dem betrachteten Grenztemperaturbereich (25, 26 oder 27 °C) und der Ausrichtung. In der untersuchten Hitzeperiode hat sich gezeigt, dass die Maximaltemperaturen in den Holzbauweisen je nach Szenario und Ausrichtung zwischen 2 und 4 Kelvin höher sind als in den Stahlbetonbauweisen. Daher ist auch die Aussage korrekt, dass Gebäude mit viel Speichermasse Hitzeperioden besser überbrücken können. Der Einfluss der Speichermasse nimmt in Hitzeperioden grundsätzlich zu.

H2B: Laut einer Studie der Alware GmbH (Alware 2015) ist der Heizwärmebedarf in Gebäuden in Holzrahmenbauweise um 12 % höher als in Massivbauweise (Ziegel, Beton).

Die Ergebnisse aus energyplus haben gezeigt, dass der Heizwärmebedarf der Zone 3 (1 Raum mit einem Fenster) in den Holzbauweisen um 4 bis 5 % höher ist als in den

Stahlbetonbauweisen. Dazu muss gesagt werden, dass die Zone 3 nur eine einzige Fläche zur Außenluft hat und daher kein direkter Vergleich zu Studien von Einfamilienhäusern möglich ist.

H3: Trockenbauer sagen: In lang andauernden Hitzeperioden werden Speichermassen unwirksam. Zu viel Speichermasse kühlt über Nacht nicht mehr aus. Vorsatzschalen aus Gipsplatten bieten jene erforderliche Speichermasse, damit tagsüber die Wärme aufgenommen und nachts wieder an den Raum abgegeben werden kann.

In energyplus wurde eine ca. einwöchige Hitzewelle untersucht. Auch am letzten Tag dieser Woche hatten die Varianten in Stahlbetonbauweise in den Nachtstunden die tiefsten operativen Innenraumtemperaturen. Außerdem hat sich gezeigt, dass die Holzbauweisen mit Vorsatzschalen unter Tags sehr hohe Temperaturen erreichen. Die Aussagen des Trockenbauers können in der untersuchten Hitzeperiode in energyplus daher nicht bestätigt werden. Nur in den Ergebnissen aus ArchiPhysik hat sich gezeigt, dass Bauweisen mit Vorsatzschale über Nacht deutlicher abkühlen aber dafür auch unter Tags höhere Temperaturen erreichen.

F1: Bringt die Anwendung von Holzleichtbeton im Holzmassivbau eine Verbesserung?

Aus den Ergebnissen sieht man, dass der Unterschied von der Holzmassivbauweise mit Holzleichtbeton zu den herkömmlichen Massivholzbauweisen sehr gering ist. Eine Untersuchung in energyplus mit zwei weiteren Varianten von Bauweisen hat gezeigt, in welchem Bereich die Verbesserung von Holzleichtbeton einzuordnen ist. Wenn die Holzmassivbauweise ohne Vorsatzschale statt einem trockenem Fußbodenaufbau mit einem Zementestrich versehen wird, dann erhält man in der untersuchten Hitzeperiode fast die gleiche Temperaturkurve wie die Holzmassivbauweise mit Holzleichtbeton.

Einige wichtige Anmerkungen zur Speichermasse

Interessant ist der Unterschied zwischen den Ergebnissen aus ArchiPhysik und energyplus. Während in ArchiPhysik auch die Stahlbetonbauweise mit Vorsatzschale wesentlich höhere Maximaltemperaturen erzielt, zeigt diese Bauweise in energyplus geringe Maximaltemperaturen. Aufgrund der Simulationsmethode spielen in energyplus die Materialeigenschaften hinter den Vorsatzschalen eine wesentlich größere Rolle als in ArchiPhysik. Ob diese Erkenntnisse aus energyplus auch in der Realität vorhanden sind kann in dieser Arbeit nicht geklärt werden.

Bezüglich der Speichermasse ist noch zu sagen, dass mit der Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale eine Bauweise untersucht wurde deren Erscheinung und Konstruktionsform

sehr nahe beieinander liegen (vgl. Brutalismus als Stilrichtung). In der Simulation wurde kein fertiger Fußbodenbelag berücksichtigt. Das Material des fertigen Fußbodens hat wahrscheinlich einen Einfluss auf die Raumtemperaturen. Auch lose Teppiche, Bilder an der Wand oder Kästen vor Wänden ohne Vorsatzschale würden die vorhandene effektive Speichermasse reduzieren. Dies gilt allerdings für alle Bauweisen in denen Bauteilaufbauten ohne Vorsatzschalen angenommen wurden.

6 AUSBLICK

In dieser Arbeit wurden einzelne Räume einer Wohnung eines mehrgeschossigen Wohnbaus hinsichtlich der thermischen Gebäudeperformance im Sommer bei unterschiedlichen Varianten von Bauweisen und Nutzverhalten (Annahmen für Lüftungs- und Verschattungsszenarien) untersucht. Dafür wurden Wetterdaten von einer Wetterstation aus Wien (BPI 2011) aus dem Jahr 2011 herangezogen. Als Fortführung dieser Arbeit könnten beispielsweise folgende Eingabedaten der Simulation variiert werden:

Zu erwartende Änderungen in den Wetterdaten und Bauweisen der Zukunft: Wenn aufgrund des Klimawandels in Zukunft Hitzeperioden häufiger vorkommen und immer länger andauern muss dies bei der Planung von Gebäuden bereits heute berücksichtigt werden. Wie müssen Gebäude gebaut werden um nach den derzeitigen Klimaberechnungsmodellen für die Zukunft gerüstet zu sein? Um auf diese Frage Antworten zu finden, können vorausschauende Wetterdaten (vgl. Leinich 2008), (Misch-)Bauweisen und das Potential von innovativen Materialien (wie z.B. Phasenwechsellmaterialien) simuliert werden.

Referenzgebäude: Wie beeinflussen Geometrieingabedaten sowie die internen Lasten (Wärmegewinne von Personen und Geräten) (vgl. Tahmasebi 2015) aufgrund der Nutzung die Gebäudeperformance?

Effektiv wirksame Speichermasse: In den Bauteilaufbauten dieser Arbeit wurden fertige Fußbodenbeläge vernachlässigt. Diese können je nach Materialwahl die effektive Speichermasse verringern (Bsp.: Parkett-, Fliesen- oder Teppichboden). Auch die Einrichtung, wie beispielsweise Kästen oder Bilder vor Wänden können die effektive Speichermasse reduzieren. Es stellt sich die Frage ob die Resultate aus energyplus auch tatsächlich in der Realität erzielt werden. In weiterer Folge kann untersucht werden wie weit Möblierung und Bodenbeläge die effektive Speichermasse reduzieren und wie groß die Auswirkungen auf die Resultate sind.

Jedenfalls sollte bei diversen Untersuchungen die Gebäudeperformance immer jährlich (Sommer- und Winterperformance) betrachtet werden.

7 VERZEICHNIS

7.1 Quellen

- Alware GmbH, 2015, https://www.massiv-mein-haus.de/download/Massivhausstudie_alware_Beratung+Empfehlung.pdf (letzter Zugriff am 15.12.2015)
- ArchiPhysik, 2013, <http://www.archiphysik.at/berechnung-sommerliche-ueberwaermung-fuer-ein-buero/> (letzter Zugriff am 16.09.2015)
- ArchiPhysik, A-NULL Development GmbH, ArchiPhysik (Version 12.0.46) verfügbar unter <http://www.archiphysik.at/software/> (letzter Zugriff am 16.09.2015)
- ASI, 2007, ÖNORM EN ISO 13786:2007, Austrian Standards Institute
- ASI, 2011, ÖNORM B 8110-5:2011, Austrian Standards Institute
- ASI, 2012, ÖNORM B8110-3:2012, Austrian Standards Institute
- ASI, 2014, ÖNORM B8110-6:2014, Austrian Standards Institute
- DGfm 2014, Deutsche Gesellschaft für Mauerwerks- und Wohnungsbau e.V., Massiv Bauen, besser Leben 04/2014, Berlin, <https://www.massiv-mein-haus.de/>
- Energyplus, US - Department of Energy, Energy Plus (Version 8.1.0.009) verfügbar unter <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
- EnEV, n.d., Energieeinsparverordnung, Institut für Energie-Effiziente Architektur mit Internet-Medien (D), <http://www.enev-online.de/>, Stuttgart
- Excel 2010, Microsoft Excel 2010, <https://www.office.com/>
- Frank, T., 2009, *Sommerlicher Wärmeschutz von Dachräumen - Analyse der Einflussfaktoren auf das Raumklima*, EMPA Dübendorf, Schweiz, http://www.energiesparaktion.de/downloads/Kacheln/Waermespeicherung/Frank_wksb_2009_Sommerl_WS_dach.pdf, (letzter Zugriff am 01.10.2015)
- Kaufmann, J., 2012, Johannes Kaufmann, Interview mit Johann Saurer über Eurogate 5, Rigips Magazin 2/12, Dezember 2012
- Klonner, R., 2015, *Hitzewellen: 2015 eines der extremsten Jahre der Messgeschichte* <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/hitzewellen-2015-eines-der-extremsten-jahre-der-messgeschichte> (letzter Zugriff am 16. 09 2015), ZAMG
- Krippner, R., Niebler, D., Issig, H., 2008, *Holzbau der Zukunft. 17. Holzleichtbeton im Hochbau - Teilprojekt 17*, S.27, <http://permalink.obvsg.at/AC07464705>, ISBN 978-3-8167-7876-9: Stuttgart : Fraunhofer-IRB Verl., 2008.

- Krippner, R., 2004, *Untersuchungen zu Einsatzmöglichkeiten von Holzleichtbeton*, Disseratation: TU München, 2004
- Leinich V., 2008, *Der Einfluss mikroklimatischer Randbedingungen auf die Prognose der Energieperformance in der Architektur*, Technische Universität Wien, 2008
- Müller, A., Schusser A., Kehl D., 2011a, *Sommerliches Komfortklima im Holzbau - Im Holzbau braucht man nicht ins Schwitzen kommen*, Holzbau quadriga 3/2011, Biel
- Müller, A., Schusser A., Kehl D., 2011b, *Sommerliches Komfortklima im Holzbau - Ergebnisse aus der aktuellen Forschung*, Holzbau quadriga 6/2011, Biel
- Krippner, R., 2012, *Holzleichtbeton - Potentiale von Holz-Zement Mischungen*, pro:holz zuschnitt 45, <http://www.proholz.at/zuschnitt/45/holzleichtbeton>
(letzter Zugriff am 16. 09 2015).
- OpenStudio, 2014, OpenStudio SketchUp Plug-in (Version 1.5.0) verfügbar unter <https://www.openstudio.net/>
- SketchUp, 2014, Trimble Navigation Limited, SketchUp Make (Version 14.1.1282) verfügbar unter <https://www.sketchup.com/de>
- Tahmasebi F., Mahdavi A., 2015, *A Systematic Assessment of the Sensitivity of Building Performance Simulation Results with Regard to Occupancy-Related Input Assumptions*, 14 IBPSA Conference, Hyderabad, India, 2015
- Teibinger, M., 2011, *Sommerliche Überwärmung - Der Einfluss des Fensters*, ISBN 978-3-9503036-4-3, Holzforschung Austria, Tagungsband, Villach
- Teibinger, M., 2005, *Die Holz-Mischbauweise: Prinzipien und Detaillösungen*, http://www.forum-holzbau.ch/pdf/M_Teibinger_2005.pdf
(letzter Zugriff am 16. 09 2015).
- Vötter, S., 2012, Vermeidung von sommerlicher Überwärmung, Trockenbau Journal 2/2012
- Wiederkehr, R., 2008, *Der größte Nachteil von Holz sind die Vorurteile*, <http://www.curaviva.ch/files/YJ40HOP/08-06-Nachhaltiges-Bauen.pdf>
(letzter Zugriff am 16. 09 2015), CURAVIVA 6/2008.
- ZAMG, 2012, Orlik, A., Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, *Hitzetage werden immer häufiger*, <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/hitzetage-werden-immer-haeufiger> (letzter Zugriff am 16. 09 2015).
- ZAMG, 2015, Klonner, R., Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, *Hitzewellen: 2015 eines der extremsten Jahre der Messgeschichte*, <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/hitzewellen-2015-eines-der-extremsten-jahre-der-messgeschichte> (letzter Zugriff am 16. 09 2015).

7.2 Abbildungen

| | | |
|---------------|---|----|
| Abbildung 1: | Hitzewellen-Tage Wien Hohe Warte (1872-2015) Auswertung nach Kysely (bis 12.8.2015), ZAMG, 2015..... | 2 |
| Abbildung 2: | Gemittelte Werte der spezifischen Wärmekapazität und der Wärmeleitfähigkeit bei Raumtemperatur in Abhängigkeit der gemittelten Probendichte, Krippner, 2004..... | 8 |
| Abbildung 3: | Außenwandaufbauten mit Holzleichtbeton, Krippner, 2004..... | 9 |
| Abbildung 4: | Vergleich Normal- und Viellüfter bei gut genutzter Verschattung Müller, 2011..... | 11 |
| Abbildung 5: | Zusammenhang zwischen Wärmespeicherkapazität, Glasanteil und der Überschreitungshäufigkeit über 25° unter den Voraussetzungen von Normallüftern und gut genutzter Verschattung, Müller, 2011..... | 12 |
| Abbildung 6: | Zusammenhang zwischen Wärmespeicherkapazität, Glasanteil und der Überschreitungshäufigkeit über 25° unter den Voraussetzungen von Normallüftern und wenig genutzter Verschattung, Müller, 2011..... | 12 |
| Abbildung 7: | Einflussfaktoren und deren Auswirkung auf die Temperatur in Dachräumen, Frank,2009..... | 13 |
| Abbildung 8: | Vergleich zwischen einem kfw-55 und einem Holzhaus, DGfM 2014..... | 14 |
| Abbildung 9: | Eindringtiefe nach Önorm EN ISO 13786:2007, eigene Darstellung..... | 15 |
| Abbildung 10: | Untersuchte Bauweisen..... | 16 |
| Abbildung 11: | Entwurf des mehrgeschossigen Wohnungsgrundrisses..... | 17 |
| Abbildung 12: | Wohnungstypen..... | 18 |
| Abbildung 13: | Vereinfachter Wohnungsgrundriss für die Simulation..... | 19 |
| Abbildung 14: | Übersicht über Szenarien, Sommer- und Winterperiode..... | 21 |
| Abbildung 15: | Zeitpläne interner Wärmegewinne für die Sommerperiode..... | 24 |
| Abbildung 16: | Zeitplan interner Wärmegewinne für die Winterperiode..... | 24 |
| Abbildung 17: | Zeitplan der minimalen Luftwechselrate in der Sommerperiode..... | 24 |
| Abbildung 18: | Annahmen zur Fenstergeometrie..... | 27 |
| Abbildung 19: | Luftvolumenstrom und Luftwechselrate der Zone 3/4 für „Fensterlüftung Tag“ und „Fensterlüftung Nacht“..... | 28 |
| Abbildung 20: | Berechnung der Kelvinstunden mit den Daten aus energyplus..... | 28 |
| Abbildung 21: | Berechnung der Kelvinstunden mit den Daten aus ArchiPhysik..... | 28 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 22: Detaillierte Darstellung der Berechnung der Kelvinstunden mit den Daten aus ArchiPhysik | 29 |
| Abbildung 23 A-C: Häufigkeit an Überhitzung, Zone 3, Szenario 1-3, alle Orientierungen | 30 |
| Abbildung 23 D-F: Häufigkeit an Überhitzung, Zone 1-2, Szenario 1-3, alle Orientierungen | 88 |
| Abbildung 24 A-C: Kumulierte Häufigkeit, Zone 3, Szenario 1-3 | 32 |
| Abbildung 24 D-F: Kumulierte Häufigkeit, Zone 1-2, Szenario 1-3 | 90 |
| Abbildung 25 A Kelvinstunden der Szenarien getrennt nach Ausrichtungen, Zone 3 | 33 |
| Abbildung 25 B Kelvinstunden der Szenarien getrennt nach Ausrichtungen, Zone 1-2 | 91 |
| Abbildung 26 A-D: Häufigkeit an Überhitzung, Zone 3, N, O, S, W, alle Szenarien | 34 |
| Abbildung 26 E-H: Häufigkeit an Überhitzung, Zone 1-2, N, O, S, W, alle Szenarien | 92 |
| Abbildung 27 A-C: Summe an Überwärmung in Kelvinstunden aller Bauweisen, Zone 3, Szenario 1-3 | 35 |
| Abbildung 27 D-F: Summe an Überwärmung in Kelvinstunden aller Bauweisen, Zone 1-2, Szenario 1-3 | 93 |
| Abbildung 28: Maximale Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS, Zone 3, Zone 1-2 | 36 |
| Abbildung 29 A-C: Überwärmung in Kelvinstunden über 27/26/25°C bei Vergl. nach Speicherm., Zone 3 | 37 |
| Abbildung 29 D-F: Überwärmung in Kelvinstunden über 27/26/25°C bei Vergl. nach Speicherm., Zone 1-2 | 94 |
| Abbildung 30 A-D: Kumulierte Häufigkeit, Zone 3, Ausrichtung N,O,S,W | 39 |
| Abbildung 30 E-H: Kumulierte Häufigkeit, Zone 1-2, Ausrichtung N,O,S,W | 95 |
| Abbildung 31 A-C: Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 1-3 | 41 |
| Abbildung 31 D: Temperaturverlauf Zone 3, Szenario 1-3 links: Ausrichtung Süd, rechts: Ausrichtung Ost | 97 |
| Abbildung 31 E: Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung Nord, Szenarien 1-3 | 98 |
| Abbildung 31 F: Temperaturverlauf Zone 1-2, Szenario 1-3 links: Ausrichtung West, rechts: Ausrichtung Süd | 99 |
| Abbildung 31 G: Temperaturverlauf Zone 1-2, Szenario 1-3 links: Ausrichtung Nord, rechts: Ausrichtung Ost | 100 |
| Abbildung 32 A-C: Überwärmung in Kelvinstunden Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 1-3 | 43 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 32 D: Überwärmung in Kelvinstunden Zone 3, Szenario 1-3 links: Ausrichtung Süd, rechts: Ausrichtung Ost..... | 101 |
| Abbildung 32 E: Überwärmung in Kelvinstunden Zone 3, Szenario 1-3, Ausrichtung Nord..... | 102 |
| Abbildung 32 F: Überwärmung in Kelvinstunden Zone 1-2, Szenario 1-3 links: Ausrichtung West, rechts: Ausrichtung Süd..... | 103 |
| Abbildung 32 G: Überwärmung in Kelvinstunden Zone 1-2, Szenario 1-3 links: Ausrichtung Nord, rechts: Ausrichtung Ost..... | 104 |
| Abbildung 33 A-C: Boxplottdarstellung, Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 1-3..... | 44 |
| Abbildung 33 D: Boxplottdarstellungen Zone 3, Szenario 1-3 links: Ausrichtung Süd, rechts: Ausrichtung Ost..... | 105 |
| Abbildung 33 E: Boxplottdarstellungen Zone 3, Szenario 1-3, Ausrichtung Nord..... | 106 |
| Abbildung 33 F: Boxplottdarstellungen Zone 1-2, Szenario 1-3 links: Ausrichtung West, rechts: Ausrichtung Süd..... | 107 |
| Abbildung 33 G: Boxplottdarstellungen Zone 1-2, Szenario 1-3 links: Ausrichtung Nord, rechts: Ausrichtung Ost..... | 108 |
| Abbildung 34 A: Temperaturdifferenz der Maximaltemperatur im Fall von Tmax, Tmed, Tmin Zone 3..... | 45 |
| Abbildung 34 B: Temperaturdifferenz der Maximaltemperatur im Fall von Tmax, Tmed, Tmin Zone 1-2..... | 46 |
| Abbildung 35 A-C: Durchschnittliche Temperaturdifferenz aller Ausrichtungen zur Bauweise SBB_oVS, Zone 3, Szenario 1-3..... | 47 |
| Abbildung 35 D-F: Durchschnittliche Temperaturdifferenz aller Ausrichtungen zur Bauweise SBB_oVS, Zone 1-2, Szenario 1-3..... | 109 |
| Abbildung 36 A-D: Durchschnittliche Temperaturdifferenz aller Szenarien zur Bauweise SBB_oVS Zone 3, Ausrichtung N,O,S,W..... | 48 |
| Abbildung 37: Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 2..... | 50 |
| Abbildung 38: Untersuchte Zeiträume für die Ergebnisse in energyplus..... | 50 |
| Abbildung 39 A-C: Überhitzungshäufigkeit der Periode April – September Zone 3, Ausrichtungen gemittelt, Szenario 1-3..... | 51 |
| Abbildung 40 A-C: Kumulierte Häufigkeit der Periode April – September Zone 3, Szenario 1-3..... | 53 |
| Abbildung 41 A-C: Kumulierte Häufigkeit der Periode „Hitzewelle“, Zone 3, Szenario 1-3..... | 54 |
| Abbildung 42 A-D: Überhitzungshäufigkeit der Periode April – September Zone 3, Szenarien gemittelt, Ausrichtung N, O, S, W..... | 55 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 43 A-C: Summe an Überwärmung in Kelvinstunden aller Bauweisen, Zone 3, Szenario 1-3..... | 57 |
| Abbildung 44 A-D: Kumulierte Häufigkeit der Periode April – September Zone 3, Ausrichtung N, O, S, W..... | 58 |
| Abbildung 45 A-D: Kumulierte Häufigkeit der Periode „Hitzewelle“ Zone 3, Ausrichtung N, O, S, W..... | 59 |
| Abbildung 46 A-C: Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 1-3..... | 61 |
| Abbildung 46 D-F: Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung Süd, Szenario 1-3..... | 110 |
| Abbildung 46 G-I: Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung Nord, Szenario 1-3..... | 111 |
| Abbildung 46 J-L: Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 1-3..... | 112 |
| Abbildung 47 A-C: Kelvinstunden in der Periode April – September Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 1-3..... | 62 |
| Abbildung 47 D-F: Überwärmung in der Periode April – September Zone 3, Ausrichtung Nord, Szenario 1-3..... | 113 |
| Abbildung 47 G-I: Überwärmung in der Periode April – September Zone 3, Ausrichtung Ost, Szenario 1-3..... | 114 |
| Abbildung 47 J-L: Überwärmung in der Periode April – September Zone 3, Ausrichtung Süd, Szenario 1-3..... | 115 |
| Abbildung 48 A-C: Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS in der Hitzewelle Zone 3, Ausrichtung Nord, Szenario 1-3..... | 63 |
| Abbildung 48 D-F: Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS in der Hitzewelle Zone 3, Ausrichtung Ost, Szenario 1-3..... | 64 |
| Abbildung 48 G-I: Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS in der Hitzewelle Zone 3, Ausrichtung Süd, Szenario 1-3..... | 116 |
| Abbildung 48 J-L: Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS in der Hitzewelle Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 1-3..... | 117 |
| Abbildung 49 A-C: Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS, Zone 3, Szenario 1-3..... | 66 |
| Abbildung 50: Durchschnittlicher HWB aller Bauweisen..... | 69 |
| Abbildung 51: Vergleich des HWB zur Bauweise SBB_oVS mit 24,10kWh/m ² .a, Zone 3..... | 69 |
| Abbildung 52: Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 3 mit 2 anderen Bauweisen..... | 70 |
| Abbildung 53: Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS in der Hitzewelle mit 2 anderen Bauweisen, Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 3..... | 71 |
| Abbildung 54: Temperaturdifferenz zur Bauweise SBB_oVS mit 2 anderen Bauweisen, Zone 3, Ausrichtung West, Szenario 3..... | 71 |

7.3 Tabellen

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Anzahl an Hitzetagen (30 °C und mehr) im Vergleich, ZAMG, 2012 | 1 |
| Tabelle 2: Übersicht von Holz-Leichtbeton Rezepturen sortiert nach λ , ZAE Bayern, 2000 | 7 |
| Tabelle 3: Ergebnisse einer Studie der alware GmbH | 14 |
| Tabelle 4: ÖNORM B 8110-3:2012 Anzunehmende innere Lasten Wohnung, Gästezimmer, Hotels | 22 |
| Tabelle 5: Umrechnung interner Wärmegewinne von der Sommerperiode in die Winterperiode | 23 |
| Tabelle 6: Umrechnung inhomogener Schichten in virtuelle homogene Schichten/Materialien | 26 |

7.4 Formeln

| | |
|--|----|
| Formel 1: Formel für Luftvolumenstrom nach ÖNORM B 8110-3:2012 | 27 |
|--|----|

7.5 Sonstige Quellen

BPI, 2011, Jahreswetterdaten 2011, Department of Building Physics and Building Ecology,
Wien, <http://www.bpi.tuwien.ac.at/>

8 ANHANG

A. Materialien und Bauteilaufbauten

| Kategorie | Nr. | homogene Materialien - energyplus | | | | | inhomogene Schichten - ArchiPhysik | | | | | | | | | |
|---|-----|-----------------------------------|-----------|----------------------------|----------------|---|------------------------------------|----------------------------|----------------|---|------------------|-------------------|----------------------|----------------------------|----------------|---|
| | | Materialkürzel | Dicke [m] | Wärmeleitfähigkeit [W/m.K] | Dichte [kg/m³] | Spezifische Wärmespeicherkapazität [J/kg.K] | Material Holz [%] | Wärmeleitfähigkeit [W/m.K] | Dichte [kg/m³] | Spezifische Wärmespeicherkapazität [J/kg.K] | Balkenbreite [m] | Achsenabstand [m] | Material Dämmung [%] | Wärmeleitfähigkeit [W/m.K] | Dichte [kg/m³] | Spezifische Wärmespeicherkapazität [J/kg.K] |
| Konstruktiv tragende homogene Materialien | 1 | SBB_16cm | 0.16 | 2.30 | 2300 | 1080 | | | | | | | | | | |
| | 2 | SBB_20cm | 0.20 | 2.50 | 2500 | 1080 | | | | | | | | | | |
| | 3 | MH_9cm | 0.09 | 0.12 | 470 | 2100 | | | | | | | | | | |
| | 4 | MH_14,7cm | 0.15 | 0.12 | 470 | 2100 | | | | | | | | | | |
| Konstruktiv tragende inhomogene Schichten virtuelle Materialien | 5 | HRB_ZD_22cm | 0.22 | 0.05 | 233 | 1113 | 14.55 | 0.11 | 425 | 1600 | 0.12 | 0.825 | 85.45 | 0.045 | 200 | 1030 |
| | 6 | HRB_WD_Holz_10cm | 0.10 | 0.05 | 110 | 1121 | 16.00 | 0.11 | 425 | 1600 | 0.10 | 0.625 | 84.00 | 0.040 | 50 | 1030 |
| | 7 | HRB_WD_Holz_16cm | 0.16 | 0.05 | 110 | 1121 | 16.00 | 0.11 | 425 | 1600 | 0.10 | 0.625 | 84.00 | 0.040 | 50 | 1030 |
| Nicht tragende inhomogene Schichten virtuelle Materialien | 8 | Wnt_Konstr_WD_7,5cm | 0.08 | 0.04 | 13 | 1030 | | | | | | | | | | |
| | 9 | HMB_AW_WD_Holz_18cm | 0.18 | 0.05 | 86 | 1085 | 9.60 | 0.11 | 425 | 1600 | 0.06 | 0.625 | 90.40 | 0.039 | 50 | 1030 |
| | 10 | HMB_AW_WD_Holz_23cm | 0.23 | 0.05 | 86 | 1085 | 9.60 | 0.11 | 425 | 1600 | 0.06 | 0.625 | 90.40 | 0.039 | 50 | 1030 |
| | 11 | HRB_WD_Holz_6cm | 0.06 | 0.05 | 86 | 1085 | 9.60 | 0.11 | 425 | 1600 | 0.06 | 0.625 | 90.40 | 0.040 | 50 | 1030 |
| | 12 | SBB_AW_WD_18cm | 0.18 | 0.04 | 50 | 1030 | | | | | | | | | | |
| | 13 | SBB_AW_WD_25cm | 0.25 | 0.04 | 50 | 1030 | | | | | | | | | | |
| | 14 | WD_2cm | 0.02 | 0.04 | 400 | 1030 | | | | | | | | | | |
| | 15 | WD_5cm | 0.05 | 0.04 | 13 | 1030 | | | | | | | | | | |
| | 16 | GKB_12,5mm | 0.01 | 0.25 | 900 | 1050 | | | | | | | | | | |
| | 17 | HLB_6cm | 0.06 | 0.45 | 1280 | 1200 | | | | | | | | | | |
| Beplankung Verkleidungen Vorsatzschale | 18 | OSB_15mm | 0.02 | 0.13 | 640 | 1700 | | | | | | | | | | |
| | 19 | VS_WD_5cm | 0.05 | 0.04 | 13 | 1030 | | | | | | | | | | |
| | 20 | Ausgleichsschüttung_6cm | 0.06 | 0.70 | 1800 | 1000 | | | | | | | | | | |
| | 21 | Nassestrich_7cm | 0.07 | 1.40 | 2000 | 1080 | | | | | | | | | | |
| Materialien für Boden und Decke | 22 | TD_3cm | 0.03 | 0.04 | 180 | 1030 | | | | | | | | | | |
| | 23 | Trittschalldämmung_10mm | 0.01 | 0.04 | 180 | 1030 | | | | | | | | | | |
| | 24 | Trockenestrich_25mm | 0.03 | 0.35 | 1150 | 1050 | | | | | | | | | | |
| | 25 | Luft_10mm | 0.01 | 0.07 | 1 | 1000 | | | | | | | | | | |

Jene Materialien die grau hinterlegt sind werden ausschließlich in energyplus verwendet. Es handelt sich um virtuelle Materialien die aus inhomogenen Schichten berechnet wurden. Alle anderen Materialien werden auch in ArchiPhysik verwendet.

| Bauweisen | AW Außenwand | | | | | | WTW Wohnungstermwand | | | | | | IW_1 Innenwand freigeleg | | | | | | Boder / Decke | | | | | | | |
|------------------------------|--------------|---|--|--|--|---|----------------------|---|--|---|--|---|--------------------------|---|--|--|--|---|---|--|---|--|------------------------------|---|-------|-------|
| | Schnitt | Dicke [m] | Material / Schicht | Lambda [W.m ⁻¹ .K ⁻¹] | Dichte [kg.m ⁻³] | spez. Wärmespeicherkapazität c [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹] | Schnitt | Dicke [m] | Material / Schicht | Lambda [W.m ⁻¹ .K ⁻¹] | Dichte [kg.m ⁻³] | spez. Wärmespeicherkapazität c [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹] | Schnitt | Dicke [m] | Material / Schicht | Lambda [W.m ⁻¹ .K ⁻¹] | Dichte [kg.m ⁻³] | spez. Wärmespeicherkapazität c [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹] | Schnitt | Dicke [m] | Material / Schicht | Lambda [W.m ⁻¹ .K ⁻¹] | Dichte [kg.m ⁻³] | spez. Wärmespeicherkapazität c [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹] | | |
| HMB VS: Holzmassivbauweise | | 0,18 Holz 9,4% / WD 90,6% 0,09 Massivholz 0,05 Ständerkonstr./WD 0,0125 GKB 0,0125 GKB | 0,046 0,120 0,039 0,250 0,250 | 86 470 13 900 900 | 1065 2100 1030 1050 1050 | innen | | 0,0125 GKB 0,0125 GKB 0,05 Ständerkonstr./WD 0,09 Massivholz 0,05 Ständerkonstr./WD 0,0125 GKB | 0,250 0,250 0,040 0,130 0,040 0,250 | 900 900 13 470 13 900 | 1050 1050 1030 2100 1030 1050 | innen | | 0,0125 GKB 0,0125 GKB 0,05 Ständerkonstr./WD 0,09 Massivholz 0,05 Ständerkonstr./WD 0,0125 GKB | 0,250 0,250 0,040 0,130 0,040 0,250 | 900 900 13 470 13 900 | 1050 1050 1030 2100 1030 1050 | innen | 0,025 Trockenestrich 0,01 Trittschalldämmung 0,06 Ausgleichsschüttung 0,147 Massivholz 0,05 VS abgehängt 0,0125 GKB 0,0125 GKB | 0,35 0,035 0,13 0,13 0,04 0,25 0,25 | 1150 180 1800 470 13 900 900 | 1050 1030 1000 2100 1030 1050 | innen | 0,32 U-Wert [W.m ⁻² .K ⁻¹]; 0,274 | 0,274 | 0,414 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SBB VS: Stahlbetonbauweise | | 0,18 Holz 9,4% / WD 90,6% 0,16 Beton 0,05 Ständerkonstr./WD 0,0125 GKB 0,0125 GKB | 0,039 2,300 0,039 0,250 0,250 | 50 2300 13 900 900 | 1030 1080 1030 1050 1050 | außen | | 0,0125 GKB 0,0125 GKB 0,05 Ständerkonstr./WD 0,16 Beton 0,05 Ständerkonstr./WD 0,0125 GKB | 0,250 0,250 0,040 2,150 0,040 0,250 | 900 900 13 2300 13 900 | 1050 1050 1030 1080 1030 1050 | innen | | 0,0125 GKB 0,0125 GKB 0,05 Ständerkonstr./WD 0,16 Beton 0,05 Ständerkonstr./WD 0,0125 GKB | 0,250 0,250 0,040 2,150 0,040 0,250 | 900 900 13 2300 13 900 | 1050 1050 1030 1080 1030 1050 | innen | 0,07 Nassetrich 0,03 Trittschalldämmung 0,2 Stahlbetondecke 0,05 VS abgehängt 0,0125 GKB 0,0125 GKB | 1,400 0,040 2,150 0,040 0,250 0,250 | 2000 180 2500 13 900 900 | 1080 1030 1080 1030 1050 1050 | innen | 0,32 U-Wert [W.m ⁻² .K ⁻¹]; 0,274 | 0,274 | 0,414 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HFB VS: Holzrahmenbauweise | | 0,06 Holz 9,6% / WD 90,4% 0,16 Holz 17% / WD 83% 0,015 OSB 0,06 Holz 9,6% / WD 90,4% 0,0125 GKB 0,0125 GKB | 0,047 0,051 0,130 0,047 0,250 0,250 | 86 110 640 86 900 900 | 1085 1121 1700 1085 1050 1050 | außen hinterlüftet | | 0,0125 GKB 0,015 OSB 0,1 Holz 17% / WD 83% 0,015 OSB 0,02 WD 0,015 OSB 0,1 Holz 17% / WD 83% 0,015 OSB | 0,250 0,130 0,056 0,130 0,040 0,130 0,056 | 900 640 110 640 400 640 110 | 1050 1700 1121 1700 1700 1700 1121 | innen | | 0,0125 GKB 0,0125 GKB 0,015 OSB 0,1 Holz 17% / WD 83% 0,015 OSB 0,0125 GKB 0,0125 GKB | 0,250 0,250 0,130 0,056 0,250 0,250 | 900 900 640 1700 640 900 900 | 1050 1050 1121 1700 1700 1050 1050 | innen | 0,025 Trockenestrich 0,01 Trittschalldämmung 0,06 Ausgleichsschüttung 0,015 OSB 0,22 Holz WD 0,05 VS abgehängt 0,0125 GKB 0,0125 GKB | 0,350 0,035 0,130 0,130 0,054 0,040 0,250 0,250 | 1150 180 1800 1700 1133 1113 900 900 | 1050 1030 1000 1700 1133 1030 1050 1050 | innen | 0,41 U-Wert [W.m ⁻² .K ⁻¹]; 0,151 | 0,151 | 0,414 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HMB oVS: Holzmassivbauweise | | 0,23 Holz 9,4% / WD 90,6% 0,09 Massivholz 0,0125 GKB | 0,045 0,120 0,250 | 86 470 900 | 1085 2100 1050 | außen hinterlüftet | | 0,0125 GKB 0,0125 GKB 0,05 Ständerkonstr./WD 0,09 Massivholz 0,01 Luftschicht 0,05 WD 0,09 Massivholz | 0,250 0,250 0,040 0,130 0,150 0,040 0,130 | 900 900 13 470 1 13 470 | 1050 1050 2100 2100 1000 1030 2100 | innen | | 0,0125 GKB 0,0125 GKB 0,05 Ständerkonstr./WD 0,09 Massivholz 0,0125 GKB | 0,250 0,250 0,040 0,130 0,130 0,434 | 900 900 12,5 470 900 900 | 1050 1050 2100 2100 1030 1030 1050 | innen | 0,025 Trockenestrich 0,01 Trittschalldämmung 0,06 Ausgleichsschüttung 0,147 Massivholz 0,05 VS abgehängt 0,0125 GKB 0,0125 GKB | 0,350 0,035 0,130 0,130 0,040 0,250 0,250 | 1150 180 1800 470 12,5 900 900 | 1050 1030 1000 2100 1030 1050 1050 | innen | 0,24 U-Wert [W.m ⁻² .K ⁻¹]; 0,453 | 0,453 | 0,453 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SBB oVS: Stahlbetonbauweise | | 0,25 Holz 9,4% / WD 90,6% 0,16 Beton 0,41 | 0,041 2,300 0,162 | 50 2300 | 1030 1080 | außen | | 0,0125 GKB 0,0125 GKB 0,05 Ständerkonstr./WD 0,16 Beton 0,05 Ständerkonstr./WD 0,0125 GKB | 0,250 0,250 0,040 2,150 0,040 0,594 | 900 900 12,5 2300 2300 | 1050 1050 1030 1080 1080 | innen/außen | | 0,0125 GKB 0,0125 GKB 0,05 Ständerkonstr./WD 0,16 Beton 0,05 Ständerkonstr./WD 0,0125 GKB | 0,250 0,250 0,040 2,150 0,040 0,594 | 900 900 12,5 2300 2300 | 1050 1050 1030 1080 1080 | innen | 0,07 Nassetrich 0,03 Trittschalldämmung 0,2 Stahlbetondecke 0,05 VS abgehängt 0,0125 GKB 0,0125 GKB | 1,400 0,040 2,150 0,040 0,250 0,250 | 2000 180 2500 13 900 900 | 1080 1030 1080 1030 1050 1050 | innen | 0,24 U-Wert [W.m ⁻² .K ⁻¹]; 0,453 | 0,453 | 0,453 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HMB, HLB: Holzmassivbauweise | | 0,23 Holz 9,4% / WD 90,6% 0,09 Massivholz 0,06 Holzschicht 0,38 | 0,045 0,120 0,450 0,162 | 86 470 1280 | 1085 2100 1200 | außen hinterlüftet | | 0,0125 GKB 0,0125 GKB 0,05 Ständerkonstr./WD 0,09 Massivholz 0,01 Luftschicht 0,05 WD 0,09 Massivholz 0,06 Holzschicht | 0,250 0,250 0,040 0,130 0,150 0,040 0,130 0,450 | 900 900 13 470 1 13 470 1280 | 1050 1050 2100 2100 1000 1030 2100 1200 | innen | | 0,0125 GKB 0,0125 GKB 0,05 Ständerkonstr./WD 0,09 Massivholz 0,06 Holzschicht | 0,250 0,250 0,040 0,130 0,130 0,434 | 900 900 13 470 1280 | 1050 1050 2100 2100 1000 1030 2100 1200 | innen | 0,025 Trockenestrich 0,01 Trittschalldämmung 0,06 Ausgleichsschüttung 0,147 Massivholz 0,05 VS abgehängt 0,0125 GKB 0,0125 GKB | 0,350 0,035 0,130 0,130 0,040 0,250 0,250 | 1150 180 1800 470 12,5 900 900 | 1050 1030 1000 2100 1030 1050 1050 | innen | 0,30 U-Wert [W.m ⁻² .K ⁻¹]; 0,949 | 0,949 | 0,453 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

* Holzschichtelemente sind nicht an jeder Wand
* abgehängte Decken nur in den Nebenträumen (Zone B)

B. Einstellungen in ArchiPhysik und energypus

Bericht aus ArchiPhysik anhand der Zone 3/4 mit Ausrichtung Süd, Szenario 3, SBB_oVS

ArchiPHYSIK - www.archiphysik.com



Beurteilung der Sommertauglichkeit

Zone_4_Süd_SBB_oVS_Nutzer3

Zone_4

Diplomarbeit_3.0_Nutzer_3

Standort

Nutzung

1220 Wien-Donaustadt

Wohnung, Gästezimmer in Pensionen und Hotels

Verwendung eines Standard Raum-Nutzungsprofils aus ON B 8110-3

Plangrundlagen

00.00.0000

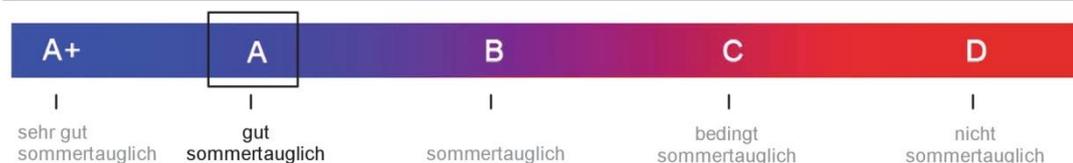
Annahmen zur Berechnung

Berechnungsgrundlage
Bauteile
Fenster
RLT

ÖN B 8110-3:2012-03
EN ISO 6946:2003-10
EN ISO 10077-1:2006-12
ON H 5057:2011-03

Hauptraum, detailliert

Berechnungsvoraussetzung ist, dass keine wie immer gearteten Strömungsbehinderungen wie beispielsweise Insektenschutzgitter oder Vorhänge vorhanden sind. Zur Erreichung der erforderlichen Tag- und Nachtlüftung sind entsprechende Voraussetzungen für eine erhöhte natürliche Belüftung, wie öffentbare Fenster, erforderlichenfalls schalldämmende Lüftungseinrichtungen u. dgl., anzustreben. Zur Sicherstellung eines ausreichenden Luftaustausches bzw. einer ausreichenden Querlüftung zwischen den betrachteten Räumen sind entsprechende planerische Maßnahmen zur Einhaltung der erforderlichen Lüftungsquerschnitte zu setzen. Die Ermittlung selbst bezieht sich auf diesen einen Raum.



Operative Temperatur

min. operative Temperatur im Nachtzeitraum
(22:00 Uhr - 6:00 Uhr)

| | |
|---------------|-----------------|
| | 24,87 °C |
| erforderlich: | 27,00 °C |
| | 23,02 °C |
| erforderlich: | 25,00 °C |

Gesamte speicherwirksame Masse

126.564,34 kg/m2

Immissionsfläche gesamt

0,09 m2

Fensterfläche

2,10 m2

Immissionsflächenbezogener stündlicher Luftvolumenstrom

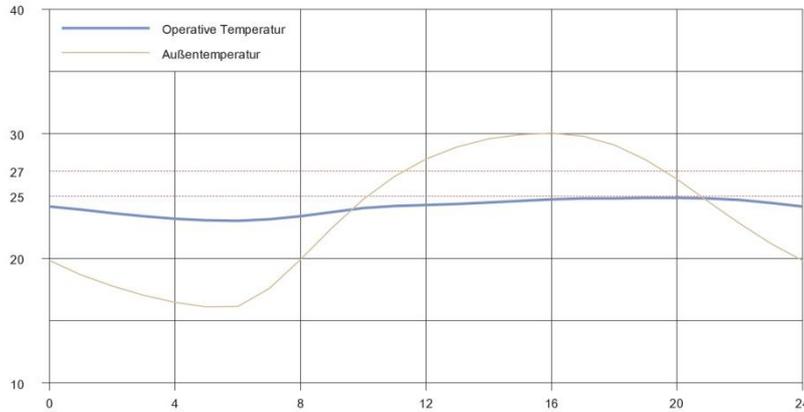
515,63 m3/h m2

Speichermasse der Einrichtung/Ausstattung

38,00 kg/m2

Report

Tagesgang T a und operative Temperatur



| h | T a °C | T op °C |
|----|-----------|------------|
| 0 | 19,81 | 24,18 |
| 1 | 18,68 | 23,90 |
| 2 | 17,77 | 23,64 |
| 3 | 17,03 | 23,40 |
| 4 | 16,47 | 23,19 |
| 5 | 16,12 | 23,06 |
| 6 | 16,16 | 23,02 |
| 7 | 17,57 | 23,15 |
| 8 | 19,91 | 23,37 |
| 9 | 22,44 | 23,72 |
| 10 | 24,73 | 24,03 |
| 11 | 26,58 | 24,19 |
| 12 | 27,98 | 24,29 |
| 13 | 28,97 | 24,37 |
| 14 | 29,60 | 24,48 |
| 15 | 29,95 | 24,62 |
| 16 | 30,04 | 24,73 |
| 17 | 29,80 | 24,81 |
| 18 | 29,10 | 24,84 |
| 19 | 27,92 | 24,87 |
| 20 | 26,36 | 24,85 |

Tagesmittelwert der Aussentemperatur

23,40 °C

Lüftung und Raumluftechnik

Raumluftechnik

Fensterlüftung_Nachtlüftung vorhanden

| | | |
|---|-------------|------------|
| Luftwechsel (Tag) | 0,40 | 1/h |
| Luftwechsel (Nacht) | 1,50 | 1/h |
| Luftwechsel bei Luftdichtigkeitsprüfung (n50) | 1,50 | 1/h |
| Wärmebereitstellungsgrad | 0 | % |

Tagesgang Luftvolumenstrom nicht Standard

Raumgeometrie und Oberflächen

| | | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|
| Bezugsfläche | Wohnnutzfläche | Netto-Raumvolumen | Fensteranteil |
| 12,38 m² | 12,38 m² | 30,93 m³ | 16,96 % |

| Typ | Btl-Nr. | Bezeichnung | A m ² | m w, BA kg/m ² | Speichermasse kg |
|-----|---------|----------------|---------------------|------------------------------|---------------------|
| AF | 00 | Fenster | 2,10 | 0,00 | 0,00 |
| Awh | 01 | SBB_AW_oVS | 7,27 | 299,65 | 2.178,49 |
| IW | 00 | Innentür | 1,80 | 11,46 | 20,63 |
| IW | 03 | SBB_IWt_oVS/VS | 8,25 | 297,26 | 2.452,44 |
| IW | 04 | Alle_IWht_VS | 7,58 | 22,97 | 174,14 |
| WDo | 05 | SBB_BD_oVS | 12,38 | 326,18 | 4.038,14 |
| WDo | 05 | SBB_BD_oVS | 12,38 | 147,60 | 1.827,37 |
| WW | 02 | SBB_WTW_oVS/VS | 8,25 | 27,77 | 229,10 |
| | | | | 1.132,92 | 10.920,35 |

Bauteile mit solarem Eintrag**Transp. Bauteile Süd, 0° (Z ON: 1,00)**

| Anzahl | Btl-Nr. | Bezeichnung | A AL m ² | f G | Höhe m | Breite m | Öff/Kippw. m | g-Wert | F SC | F c |
|--------|---------|-------------|------------------------|------|-----------|-------------|-----------------|--------|------|------|
| 1x | 00 | Fenster | 2,10 | 0,69 | 1,40 | 0,60 | O | 0,59 | 1,00 | 0,10 |

Verschattung und Sonnenschutz**Transp. Bauteile Süd, 0°**

| Btl-Nr. | Bezeichnung | Transmission/Reflexion | | | Sonnenschutz | | | Verschattung | | | |
|---------|-------------|------------------------|--------------|------------|--------------|----------|-------|--------------|------|------|------|
| | | $\tau_{e,B}$ | $\rho_{e,B}$ | ϵ | Lage | Lichtdl. | Farbe | v7h | Fh | Fo | Ff |
| 00 | Fenster | 0,05 | 0,50 | 2,50 | A | W | H | nein | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Legende zu den Tabellen der transp. Bauteile

| | | | |
|-----------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Öffnungstyp: | Sonnenschutz - Lage: | Sonnenschutz - Lichtdurchlass: | Sonnenschutz - Farbe: |
| O ... Offen | A ... Aussen | M ... Mittel | W ... Weiss |
| G ... Geschlossen | ZW ... Zwischen | W ... Wenig | S ... Schwarz |
| K ... Gekippt | I ... Innen | S ... Stark | H ... Hell |
| N ... Nicht öffnenbar | v7h ... vor 7:00 Uhr | E ... Eigene Angabe | D ... Dunkel |

Um in energyplus die Wohnküche in Zone 1 und 2 zu trennen wird eine virtuelle Wand ohne Masse eingefügt. Zwischen Zone 1 und 2 wird eine Luftwechselrate von $0,5 \text{ h}^{-1}$ angenommen.

Einstellungen der virtuellen Wand in energyplus.

| | |
|--|----------------|
| Class: Material:NoMass | |
| Name | Virtuelle Wand |
| Roughness | VerySmooth |
| Thermal Resistance [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$] | 100 |
| Thermal Absorptance | 0.01 |
| Solar Absorptance | 0.01 |
| Visible Absorptance | 0.01 |

Für die „Fensterlüftung Tag“ und „Fensterlüftung Nacht“ wurden in energyplus Grenztemperaturen festgelegt. Die minimale Innenraumtemperatur sollte 21°C haben und die Außenlufttemperatur soll mindestens 10°C betragen damit die Fensterlüftungen aktiv sind. Um die Lüftungsannahmen aus der ÖNORM 8110-3: 2012 in energyplus zu übernehmen waren für „Fensterlüftung Tag“ und „Fensterlüftung Nacht“ folgende Eingaben erforderlich:

Eingaben im „EnergyManagementSystem:Program“ in energyplus für „Fensterlüftung Tag“ und „Fensterlüftung Nacht“ für die Zone 1

```

z1_dv_Calc          z1_nv_Calc
if DayOfYear > 90 && DayOfYear <
274 && CurrentTime >= 6.0 &&
CurrentTime < 22
set a = @abs(Ti_1 - To)
set b = a^0.5
set z1_dv = b * 139.1 / 3600
else
set z1_dv = 0
endif
if DayOfYear > 90 && DayOfYear < 274 && CurrentTime < 6.0
set c = @abs(Ti_1 - To)
set d = c^0.5
set z1_nv = d * 139.1 / 3600
endif
if DayOfYear > 90 && DayOfYear < 274 && CurrentTime >= 22
set e = @abs(Ti_1 - To)
set f = e^0.5
set z1_nv = f * 139.1 / 3600
endif
if DayOfYear > 90 && DayOfYear < 274 && CurrentTime >= 6.0
&& CurrentTime < 22
set z1_nv = 0
endif
if DayOfYear <= 90
set z1_nv = 0
endif
if DayOfYear >= 274
set z1_nv = 0
endif

```

C. Ergebnisse

Die Abbildungen 23 D-F zeigen die Häufigkeit der Überhitzung der Zone 1-2. Dabei wurde ein durchschnittlicher Wert aus allen Orientierungen für die Szenarien 1 bis 3 berechnet.

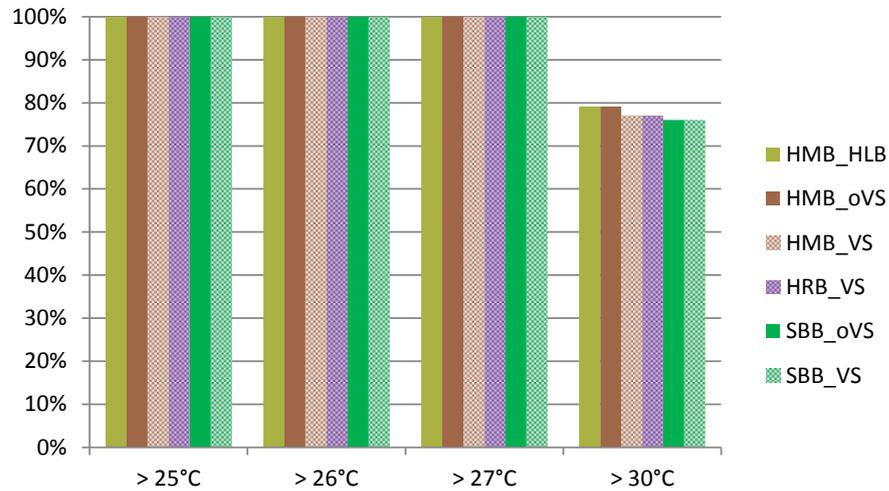


Abbildung 23 D Häufigkeit an Überhitzung, Zone 1-2, Szenario 1, alle Orientierungen

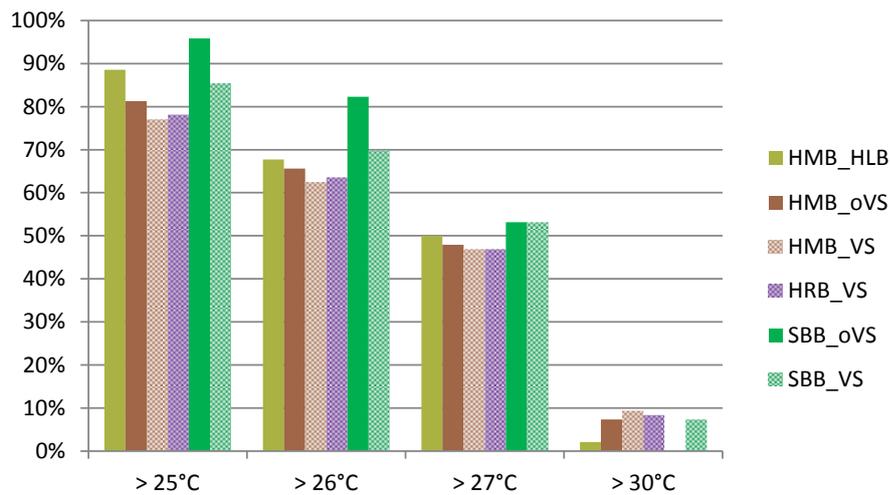


Abbildung 23 E Häufigkeit an Überhitzung, Zone 1-2, Szenario 2, alle Orientierungen

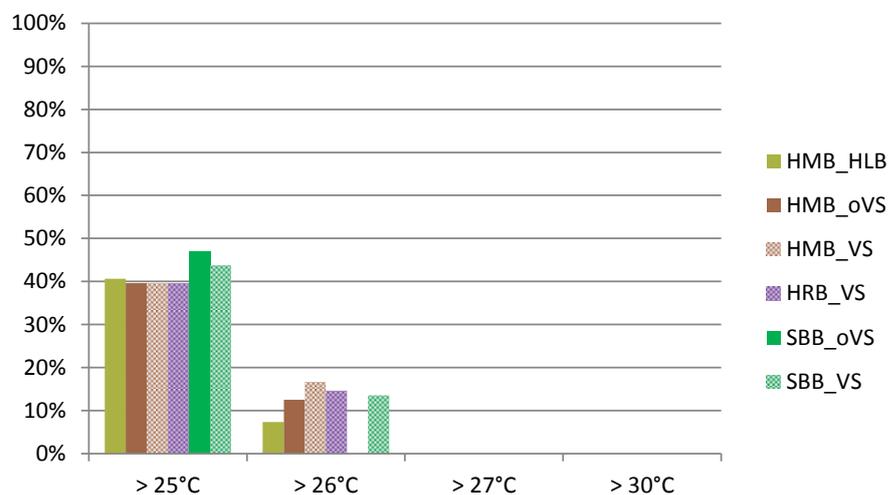
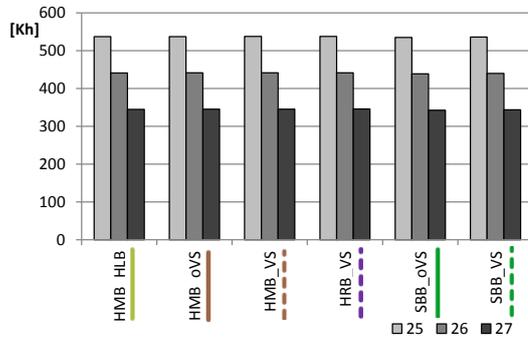
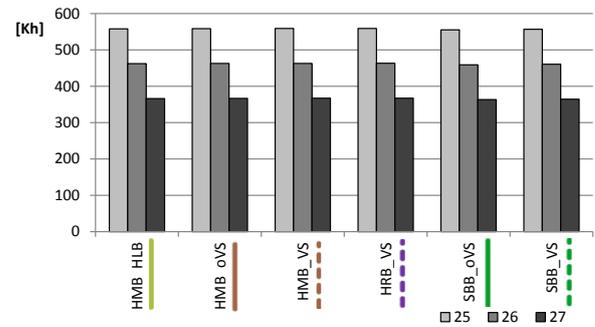


Abbildung 23 F Häufigkeit an Überhitzung, Zone 1-2, Szenario 3, alle Orientierungen

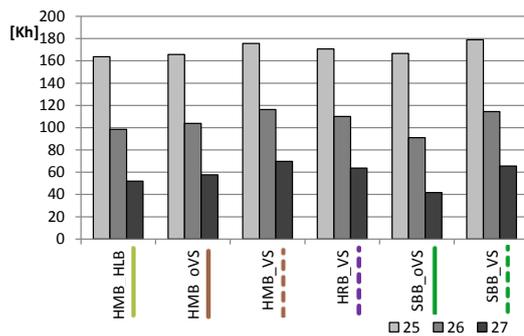
Auf dieser Seite ist eine Ergänzung zu den Abbildungen 23 A-F dargestellt. Die Abbildungen zeigen die Summe an Kelvinstunden aller Orientierungen getrennt nach Szenario und Bauweise. Diese Werte stehen in Zusammenhang mit den Prozentsätzen in den Abbildungen 23 A-F.



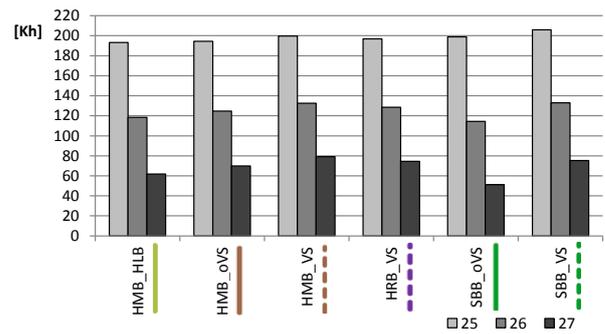
Zone 3, Szenario 1, ergänzt Abbildung 23 A



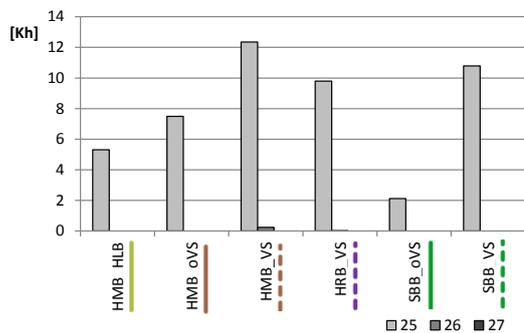
Zone 1-2, Szenario 1, ergänzt Abbildung 23 D



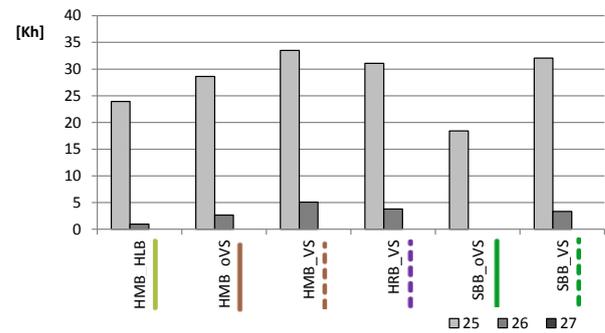
Zone 3, Szenario 2, ergänzt Abbildung 23 B



Zone 1-2, Szenario 2, ergänzt Abbildung 23 E



Zone 3, Szenario 3, ergänzt Abbildung 23 B



Zone 1-2, Szenario 3, ergänzt Abbildung 23 F

Die Abbildungen 24 D-F zeigen die kumulierten Häufigkeiten der Temperaturverläufe für jede Simulation. Dabei werden die Diagramme nach Szenarien getrennt und die Orientierungen farblich herausgehoben.

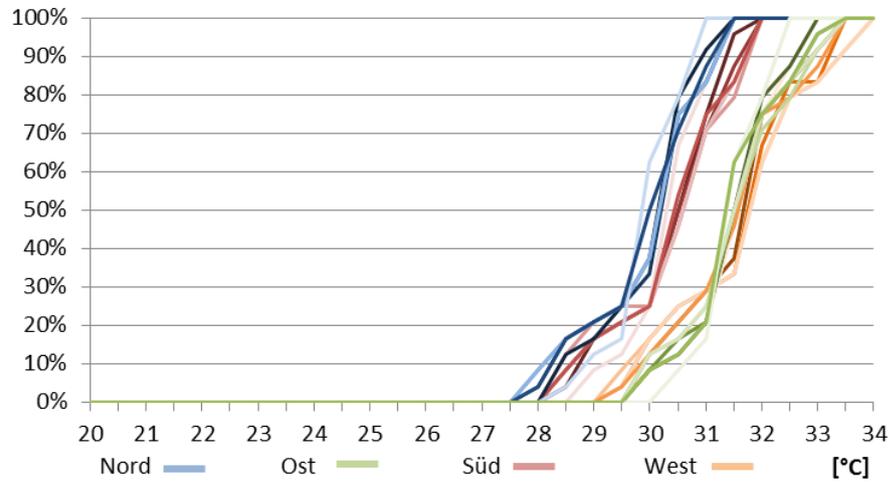


Abbildung 24 D Kumulierte Häufigkeit, Zone 1-2, Szenario 1

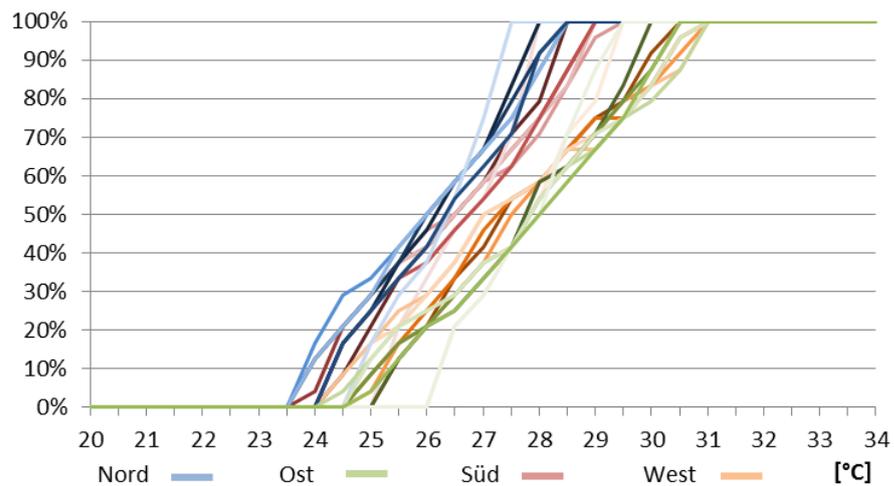


Abbildung 24 E Kumulierte Häufigkeit, Zone 1-2, Szenario 2

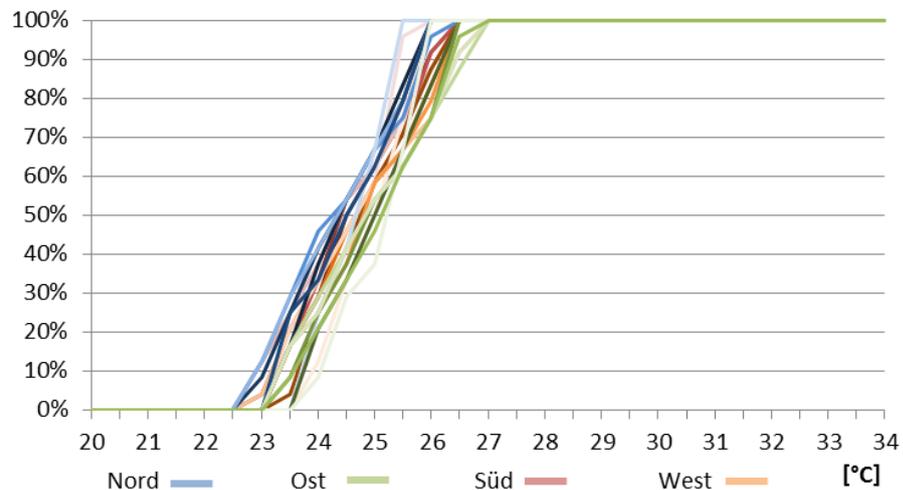


Abbildung 24 F Kumulierte Häufigkeit, Zone 1-2, Szenario 3

In Abbildung 25 A sind die Kelvinstunden größer 25, 26 und 27°C getrennt nach Szenarien und Ausrichtung dargestellt. Jede Bauweise stellt dabei einen Strich da.

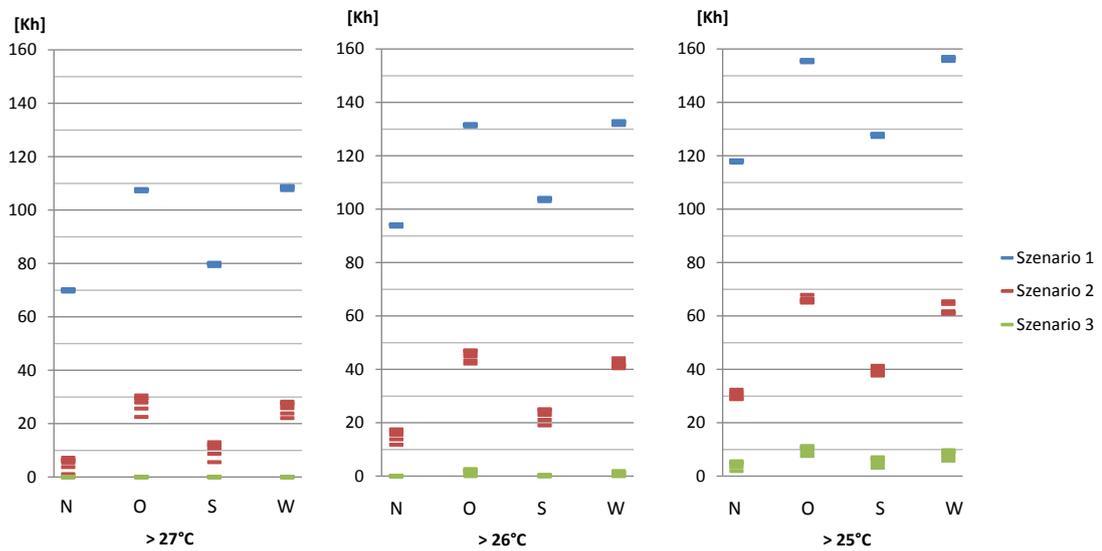


Abbildung 25 B Kelvinstunden der Szenarien getrennt nach Ausrichtungen, Zone 1-2

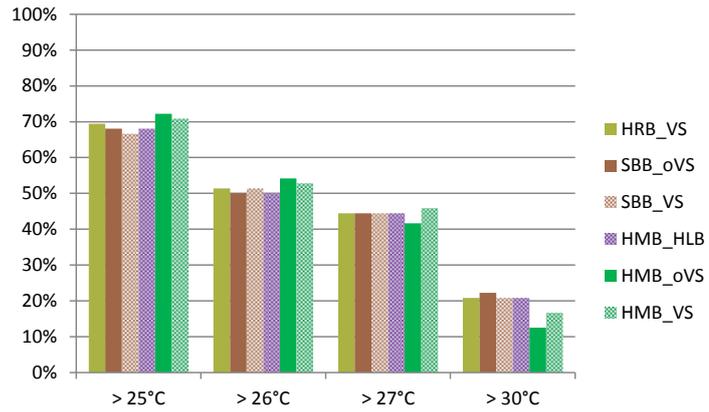


Abbildung 26 E Häufigkeit an Überhitzung, Zone 1-2, Nord, alle Szenarien

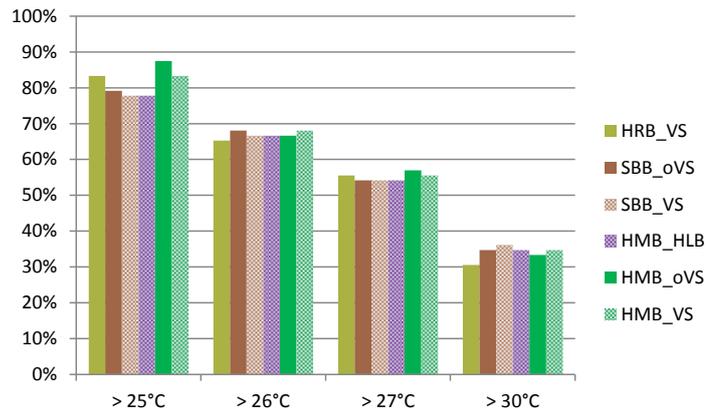


Abbildung 26 F Häufigkeit an Überhitzung, Zone 1-2, Ost, alle Szenarien

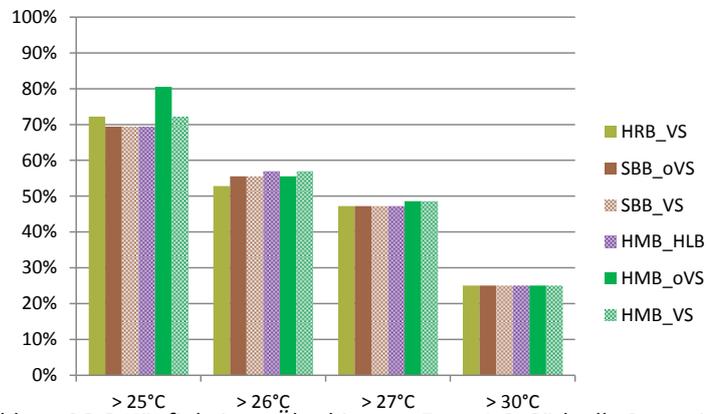


Abbildung 26 G Häufigkeit an Überhitzung, Zone 1-2, Süd, alle Szenarien

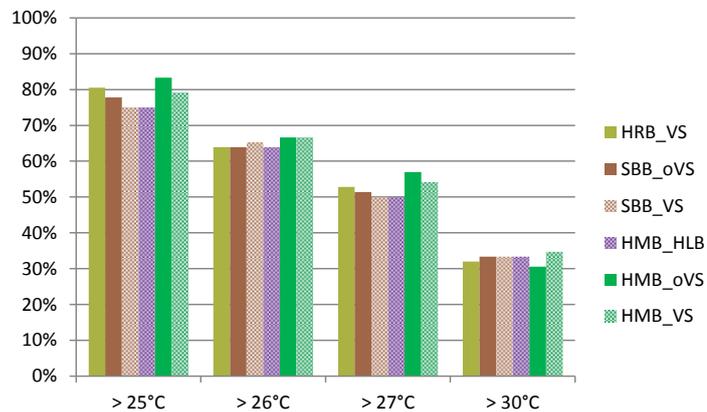


Abbildung 26 H Häufigkeit an Überhitzung, Zone 1-2, West, alle Szenarien

In den Abbildungen 27 A-C wurde die Überwärmung in Kelvinstunden aller Bauweisen summiert. Für Temperaturen über 25, 26 und 27 °C sind die Resultate getrennt nach Szenarien und Ausrichtung.

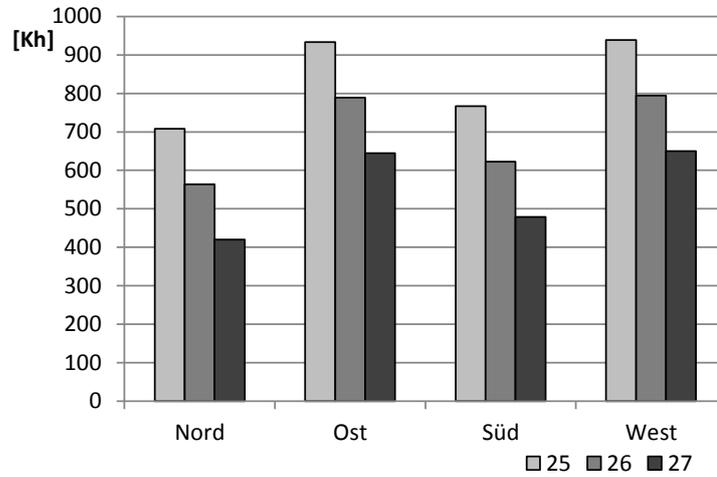


Abbildung 27 D Summe an Überwärmung in Kelvinstunden aller Bauweisen, Zone 1-2, Szenario 1

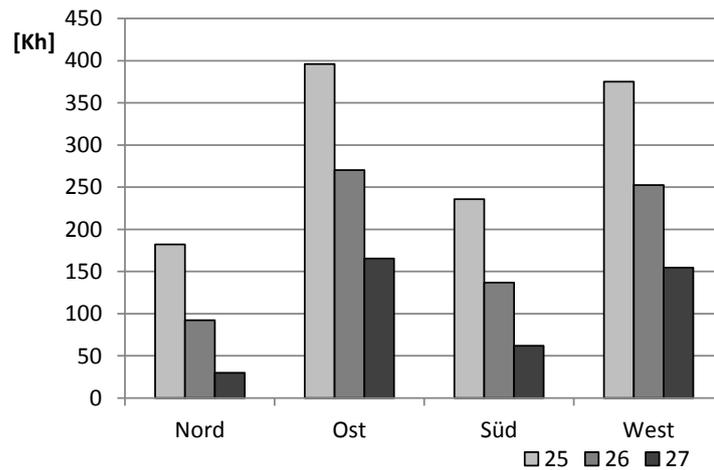


Abbildung 27 E Summe an Überwärmung in Kelvinstunden aller Bauweisen, Zone 1-2, Szenario 2

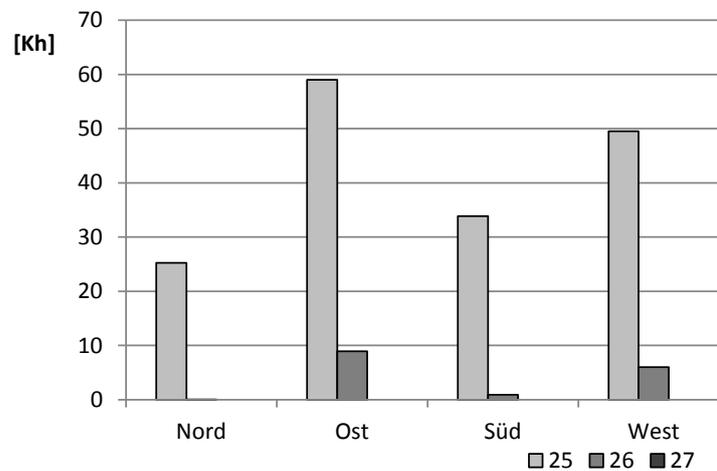


Abbildung 27 F Summe an Überwärmung in Kelvinstunden aller Bauweisen, Zone 1-2, Szenario 3

Abbildung 29 D-F zeigt die Überwärmung in Kelvinstunden über 25, 26 und 27 °C der Zone 1-2 bei gleichzeitigem Vergleich der vorhandenen Speichermasse nach ÖNORM B 8110-3:2012 (ASI 2012).

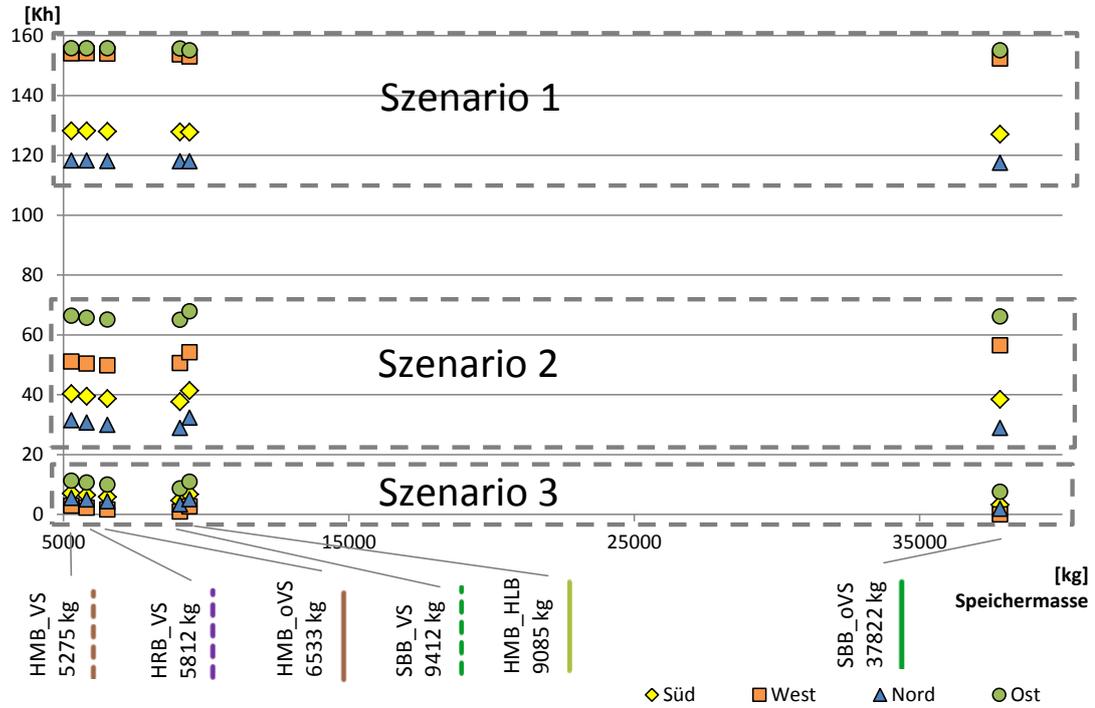


Abbildung 29 D Überwärmung in Kelvinstunden über 27°C bei Vergleich nach Speichermasse, Zone 1-2

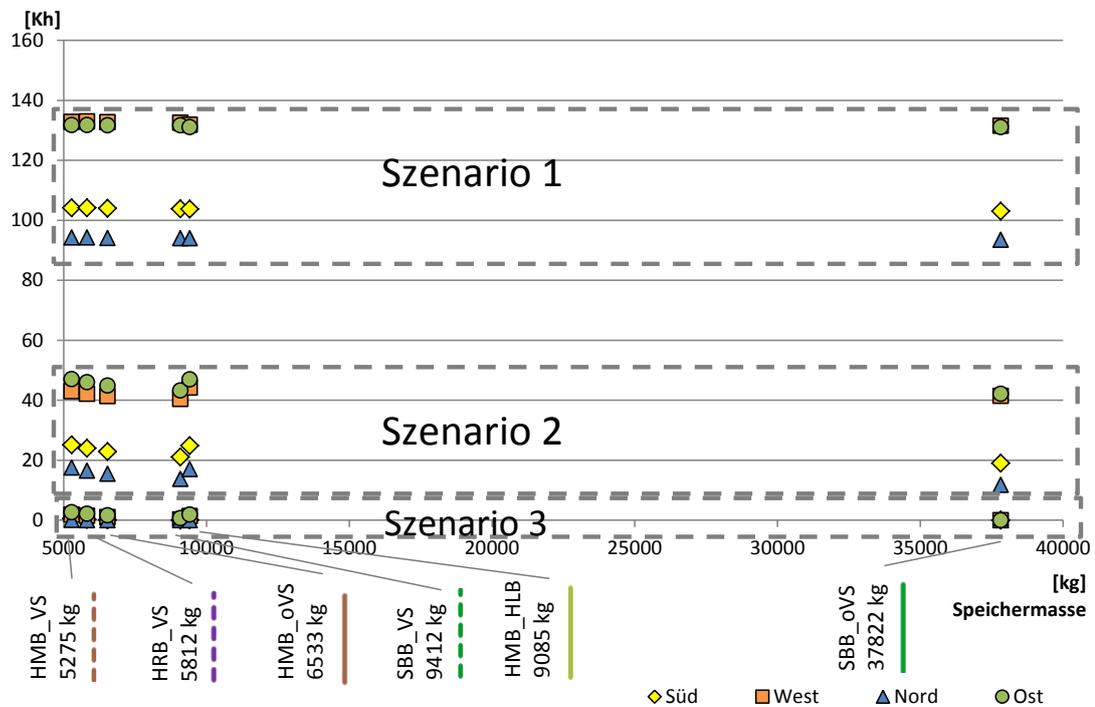


Abbildung 29 E Überwärmung in Kelvinstunden über 26°C bei Vergleich nach Speichermasse, Zone 1-2

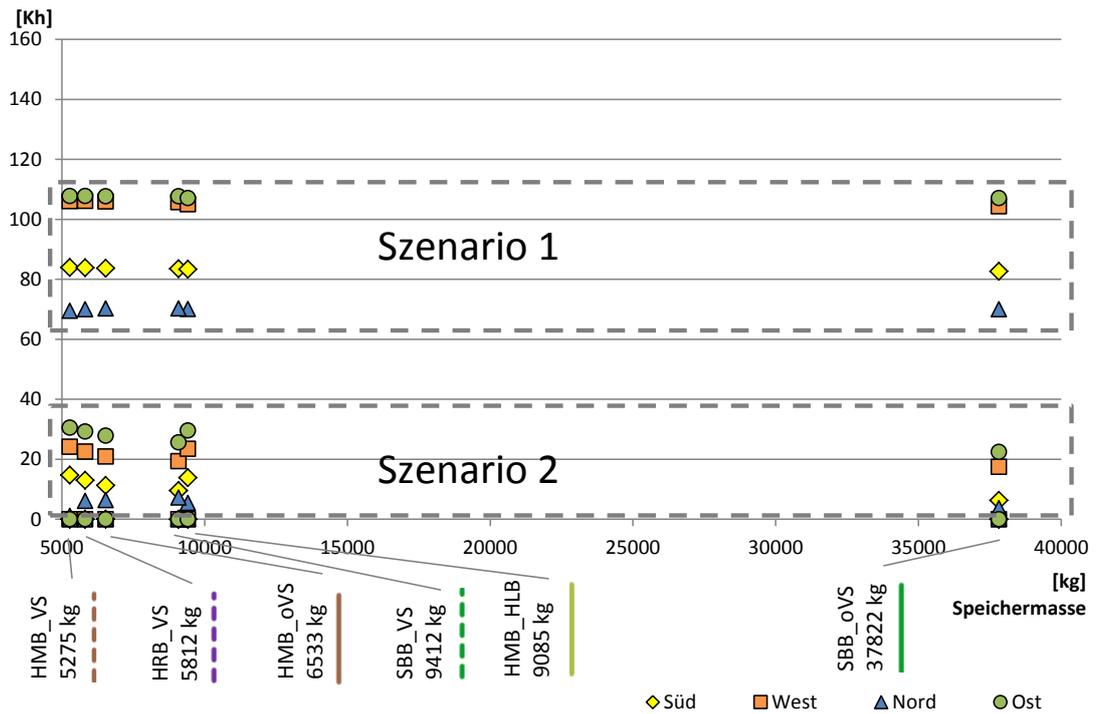


Abbildung 29 E Überwärmung in Kelvinstunden über 25°C bei Vergleich nach Speichermasse, Zone 1-2

Die Abbildungen 30 E-H zeigen die kumulierte Häufigkeit des Temperaturverlaufes jeder Bauweise der Zone 1-2 getrennt nach Ausrichtung.

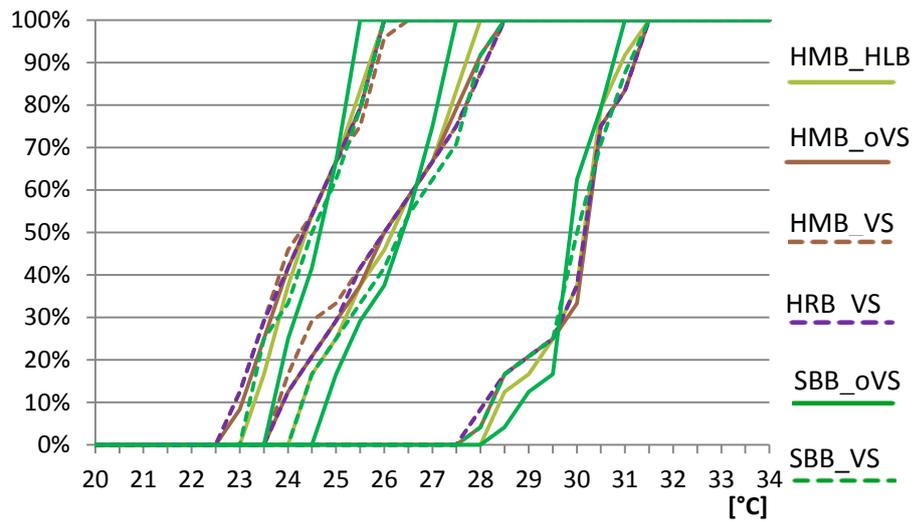


Abbildung 30 E Kumulierte Häufigkeit, Zone 1-2, Ausrichtung Nord

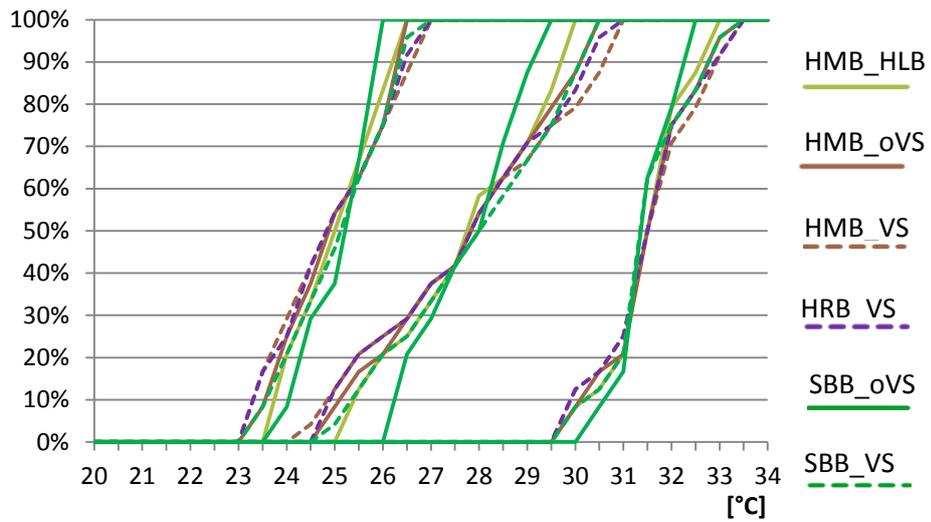


Abbildung 30 F Kumulierte Häufigkeit, Zone 1-2, Ausrichtung Ost

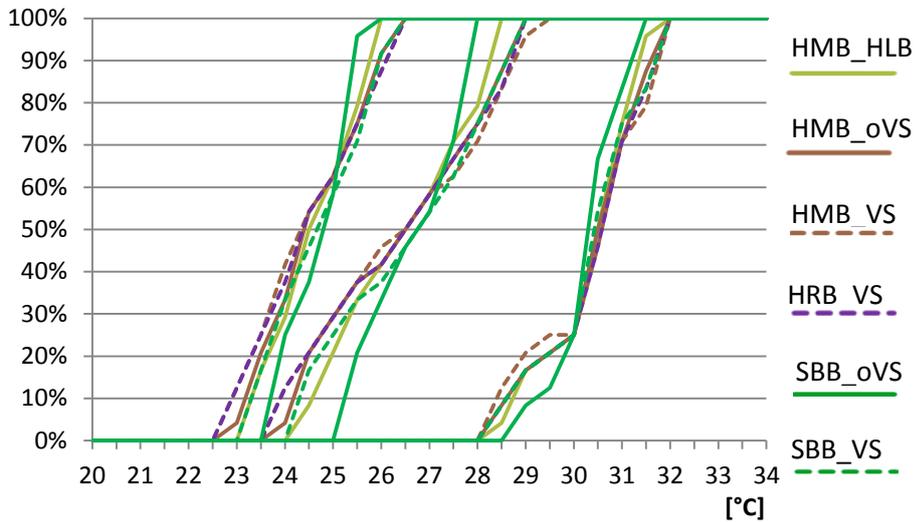


Abbildung 30 G Kumulierte Häufigkeit, Zone 1-2, Ausrichtung Süd

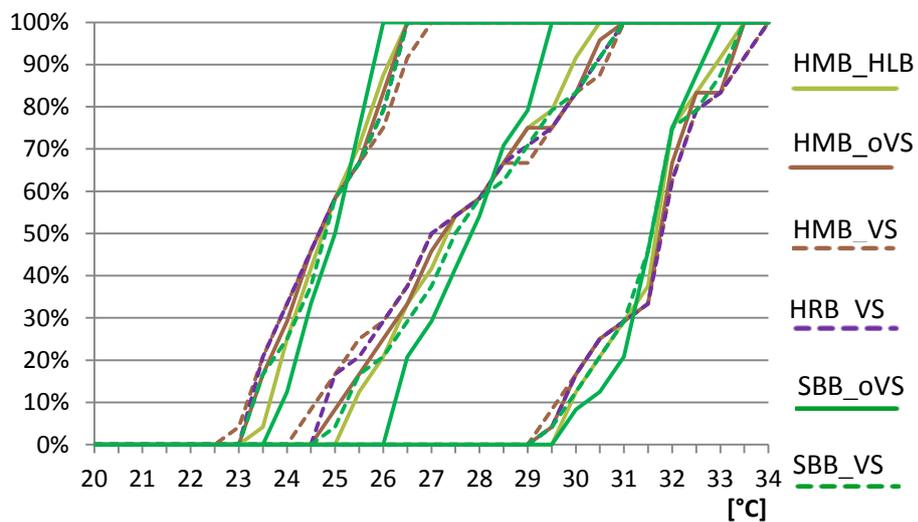


Abbildung 30 H Kumulierte Häufigkeit, Zone 1-2, Ausrichtung West

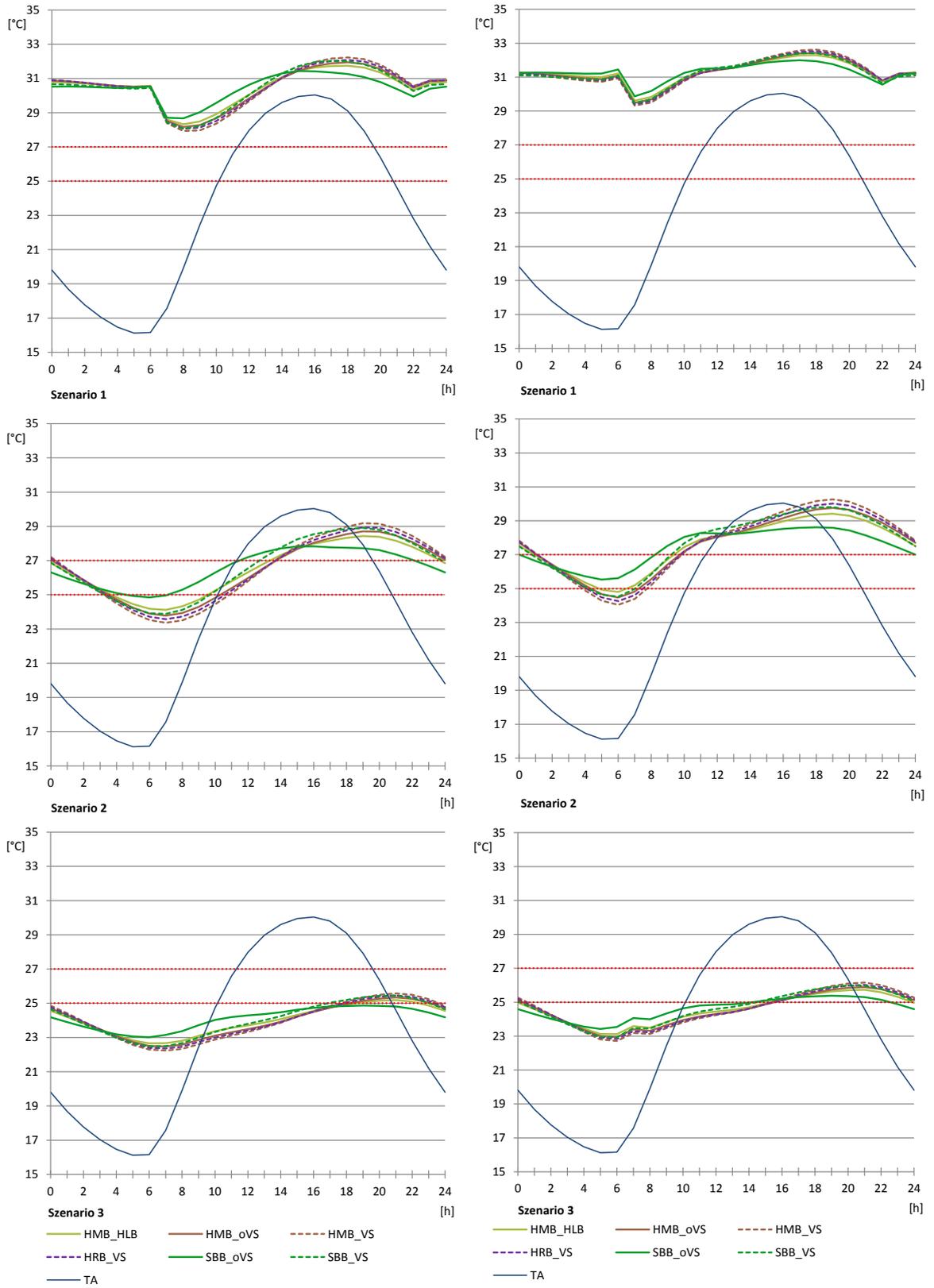


Abbildung 31 D Temperaturverlauf Zone 3, Szenario 1-3
links: Ausrichtung Süd rechts: Ausrichtung Ost

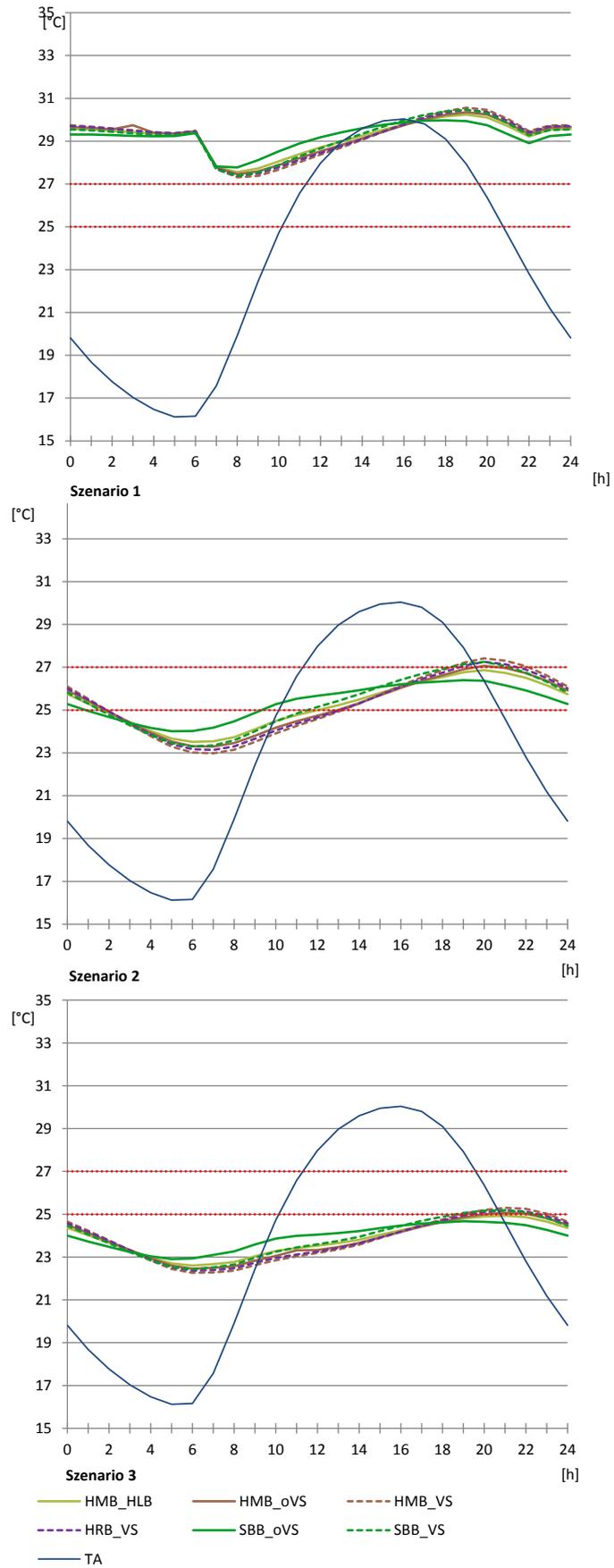


Abbildung 31 E Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung Nord, Szenarien 1-3

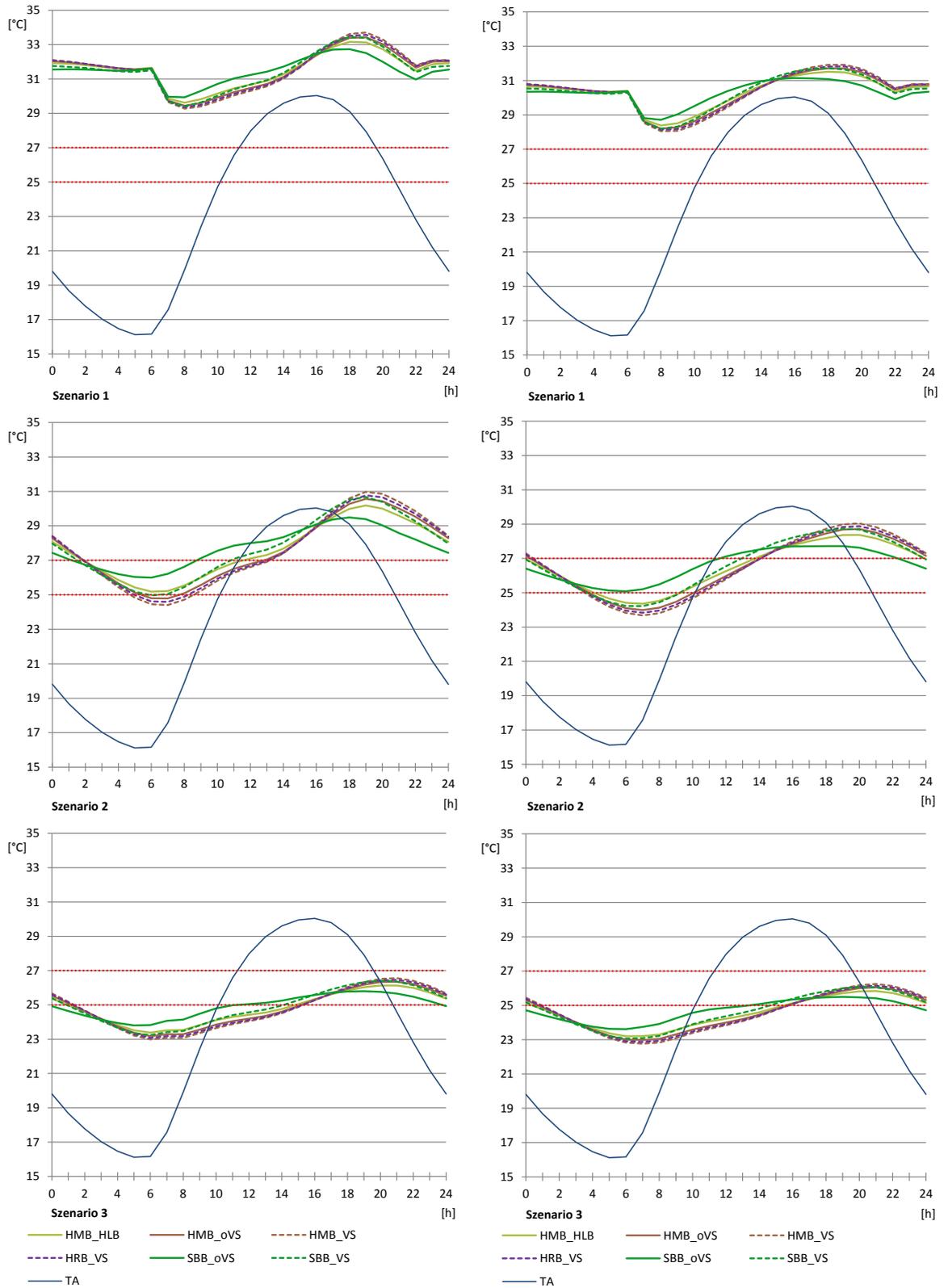


Abbildung 31 F Temperaturverlauf Zone 1-2, Szenario 1-3
links: Ausrichtung West rechts: Ausrichtung Süd

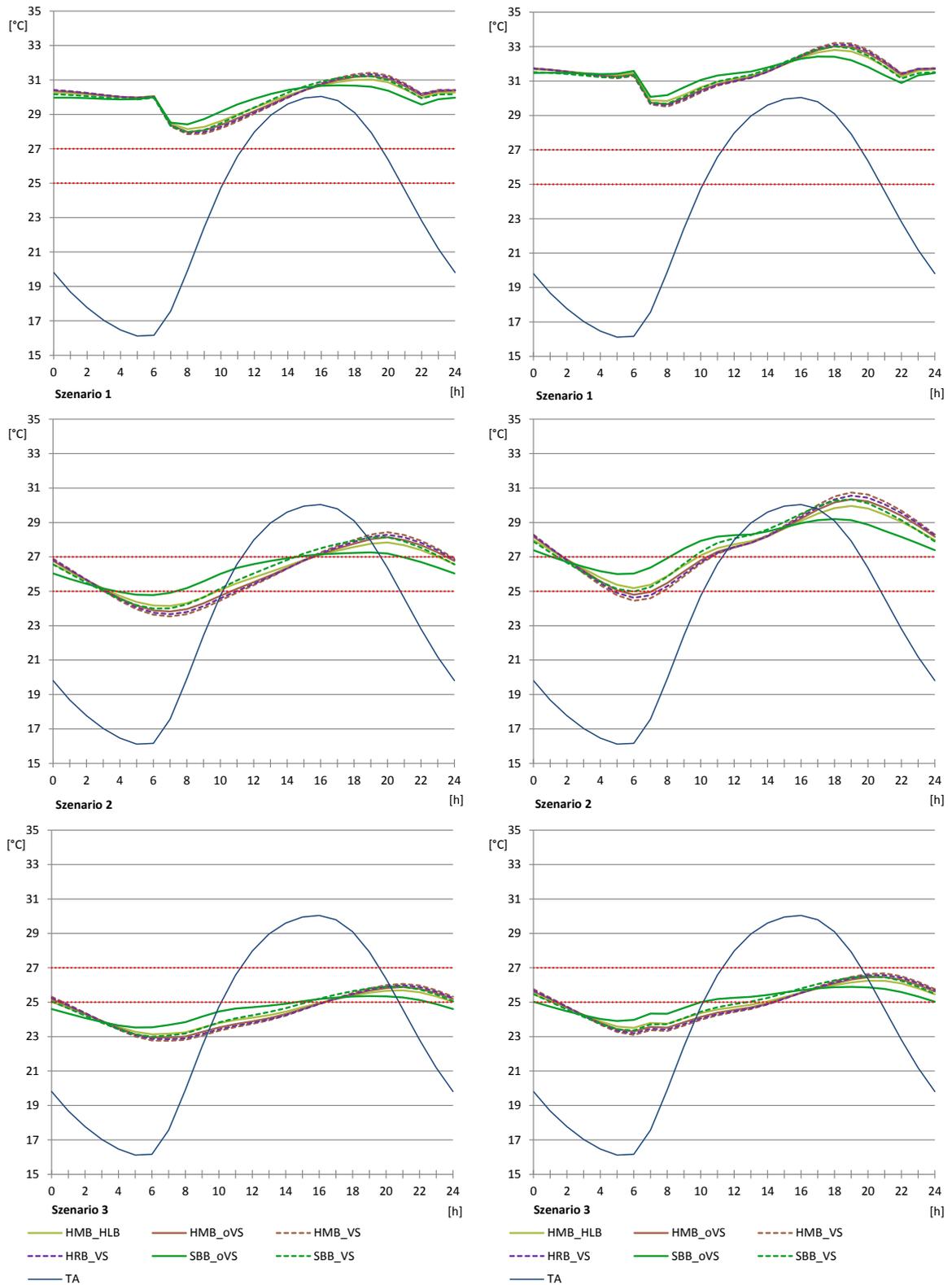


Abbildung 31 G Temperaturverlauf Zone 1-2, Szenario 1-3
links: Ausrichtung Nord rechts: Ausrichtung Ost

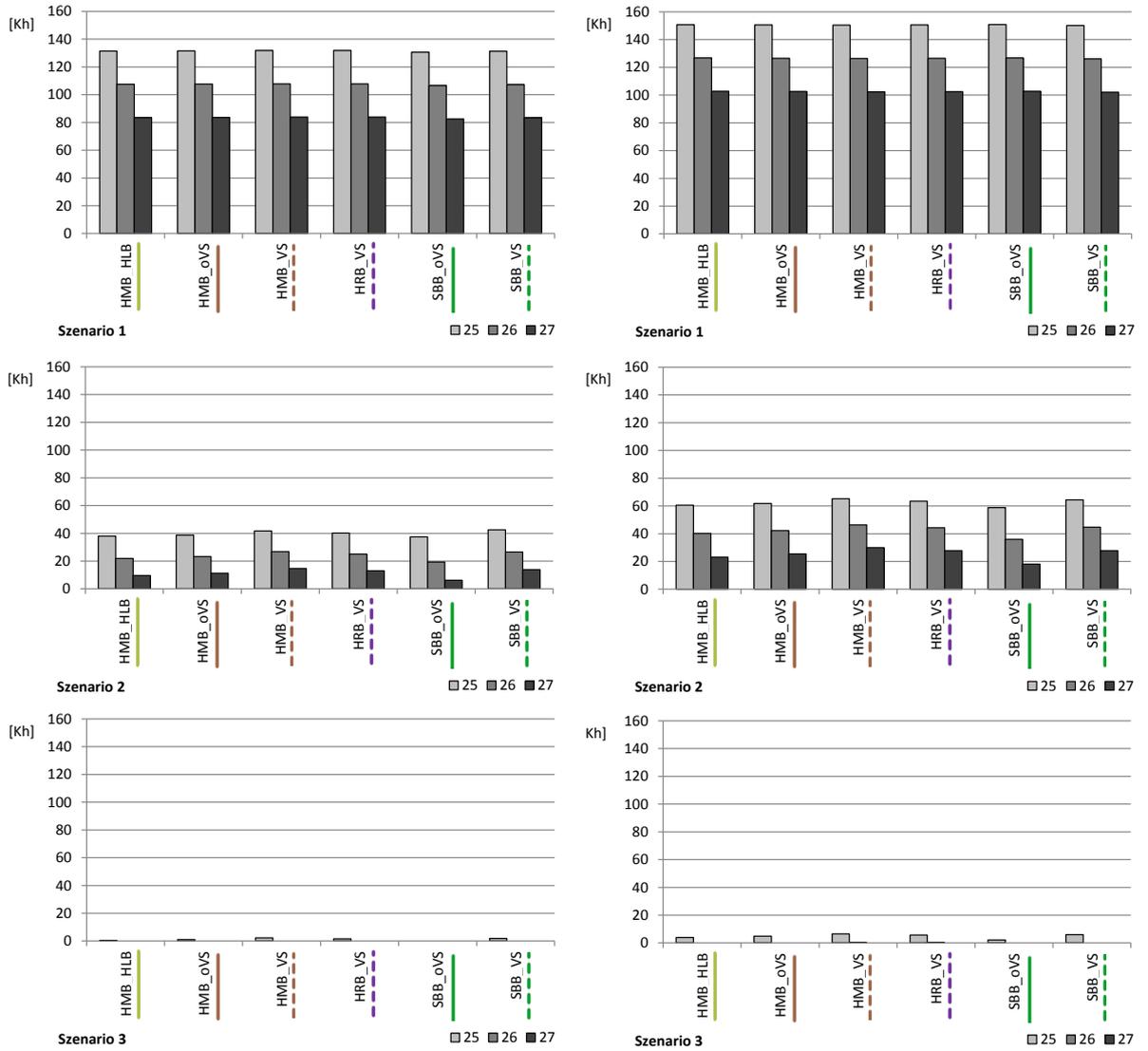


Abbildung 32 D Überwärmung Zone 3, Szenario 1-3
links: Ausrichtung Süd rechts: Ausrichtung Ost

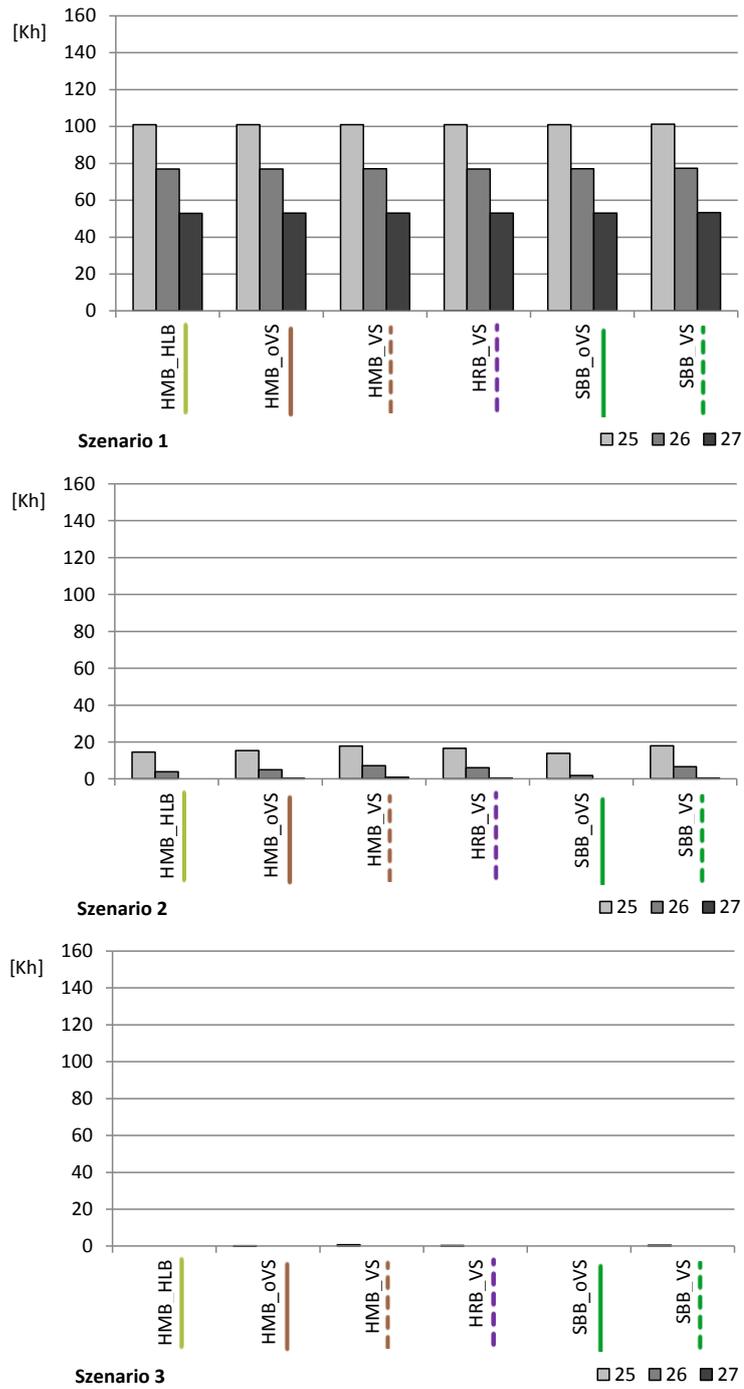


Abbildung 32 E Überwärmung Zone 3, Szenario 1-3, Ausrichtung Nord

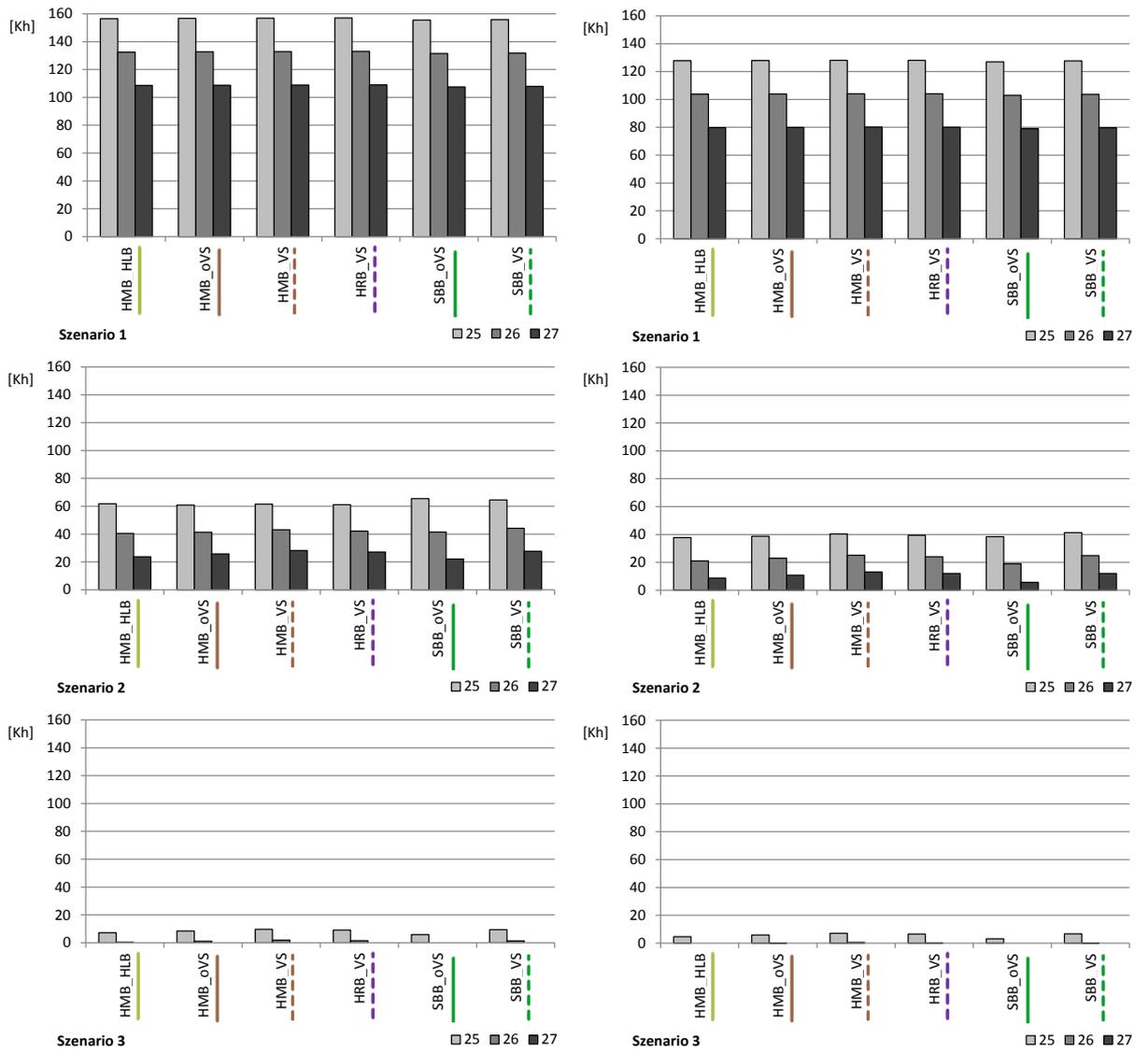


Abbildung 32 F Überwärmung Zone 1-2, Szenario 1-3
links: Ausrichtung West rechts: Ausrichtung Süd

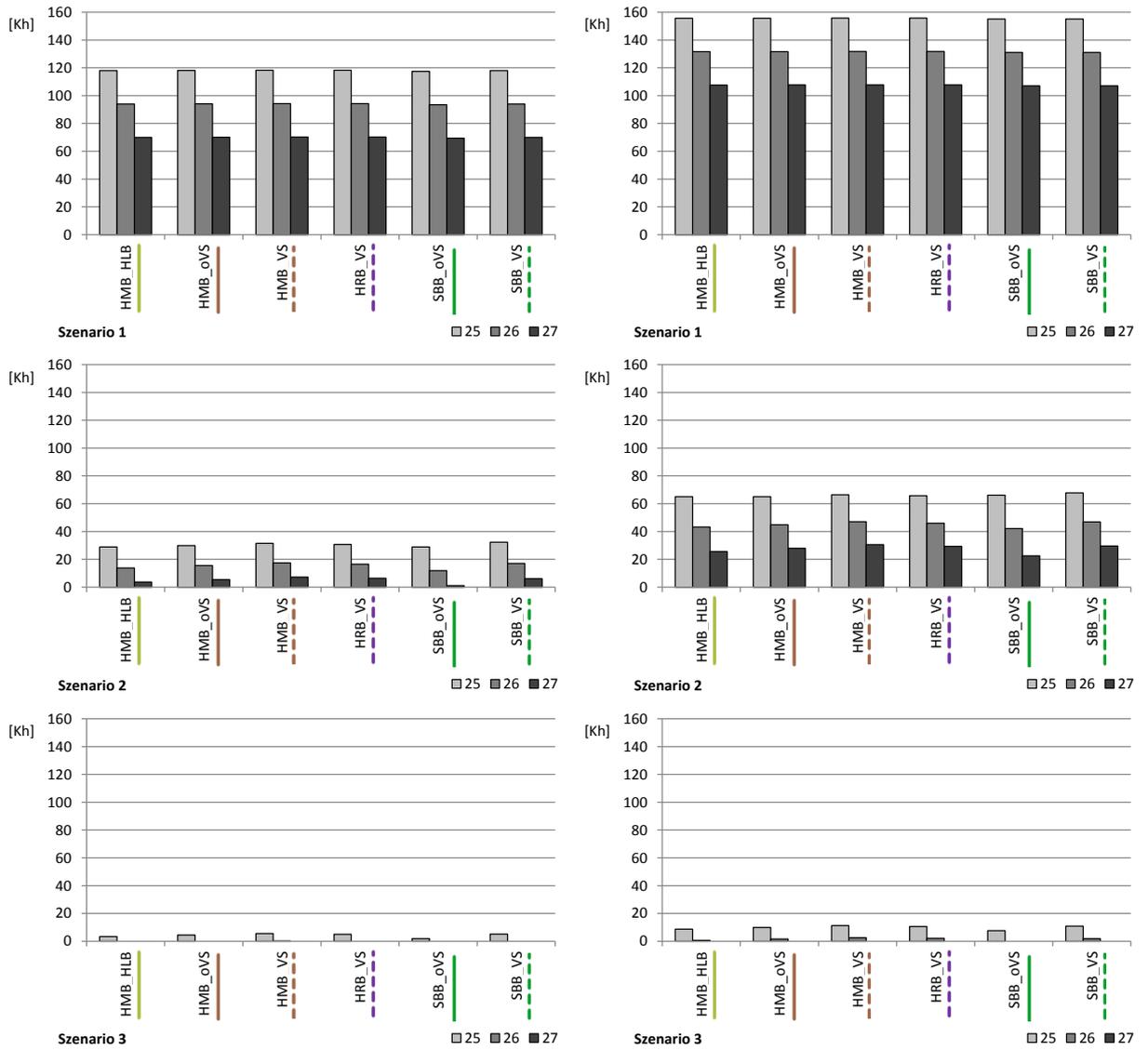


Abbildung 32 G Überwärmung Zone 1-2, Szenario 1-3
links: Ausrichtung Nord rechts: Ausrichtung Ost

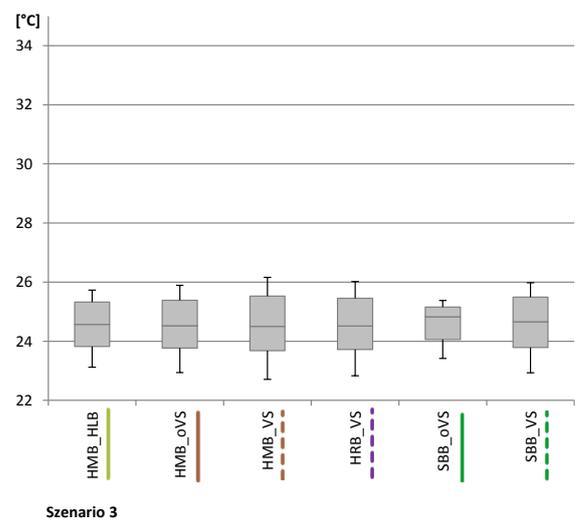
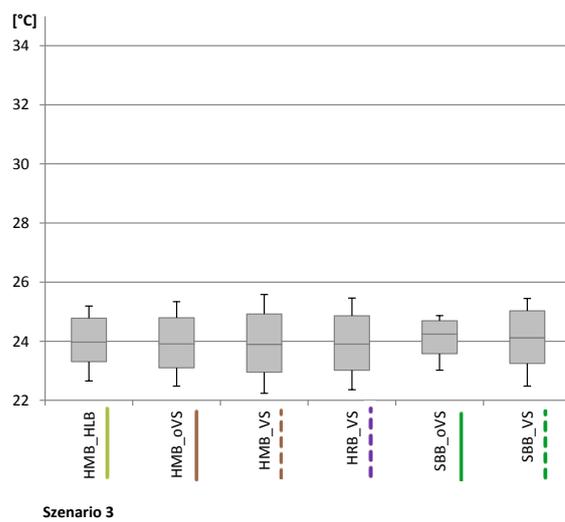
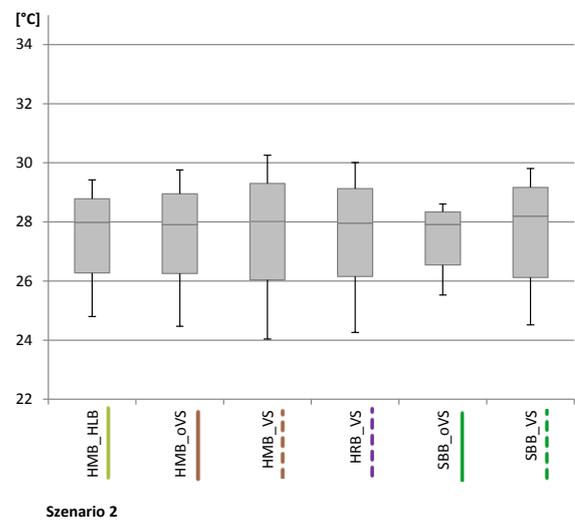
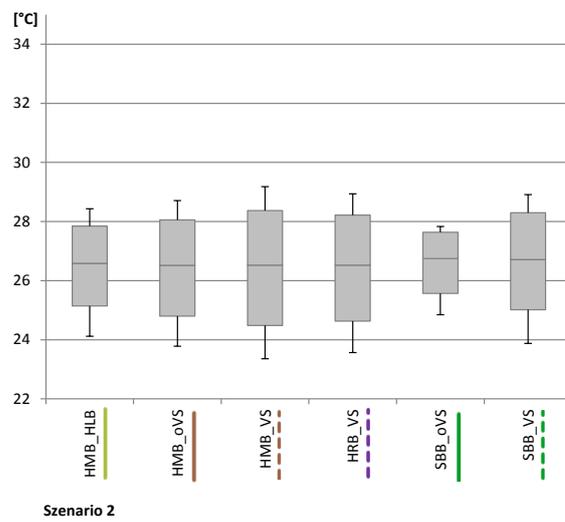
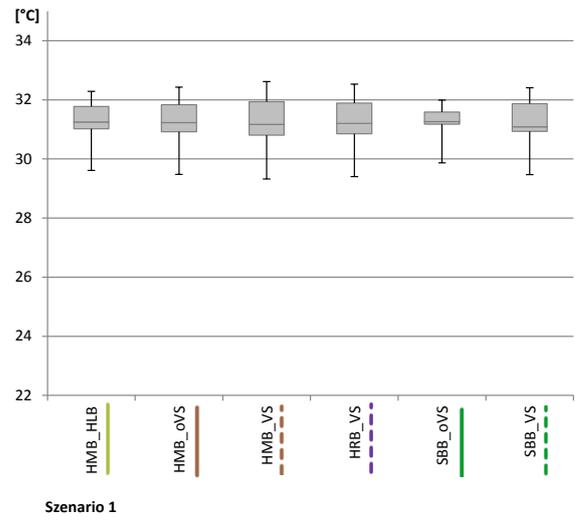
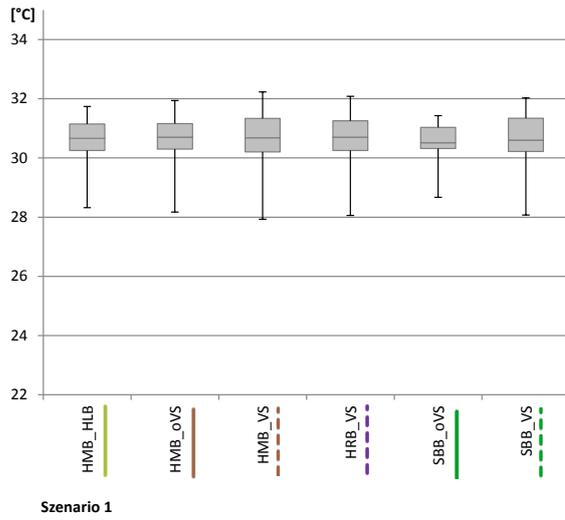
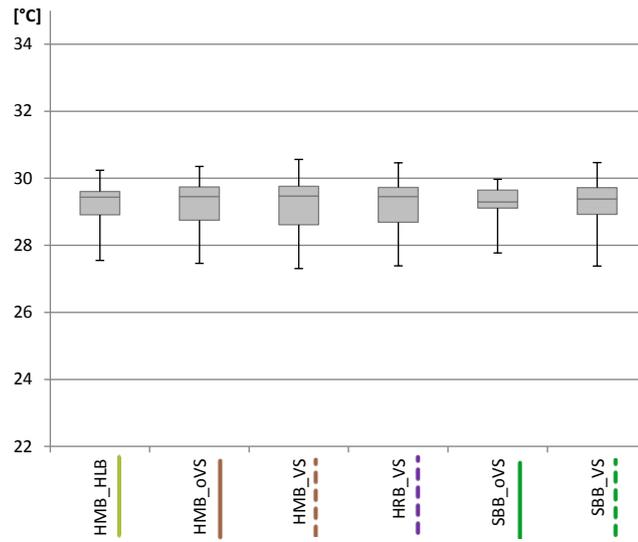
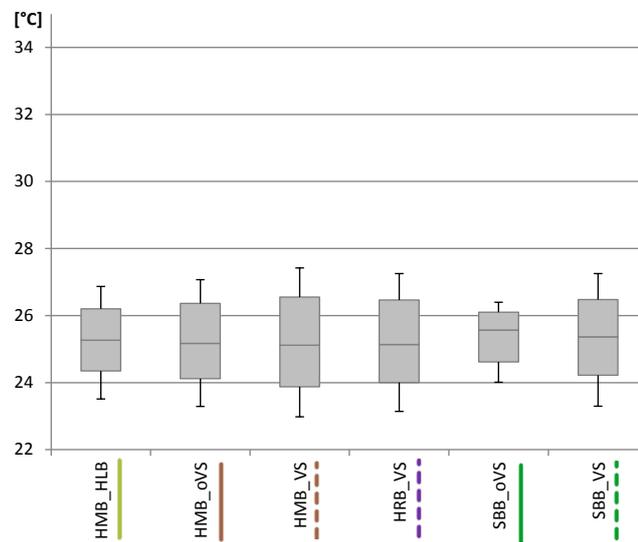


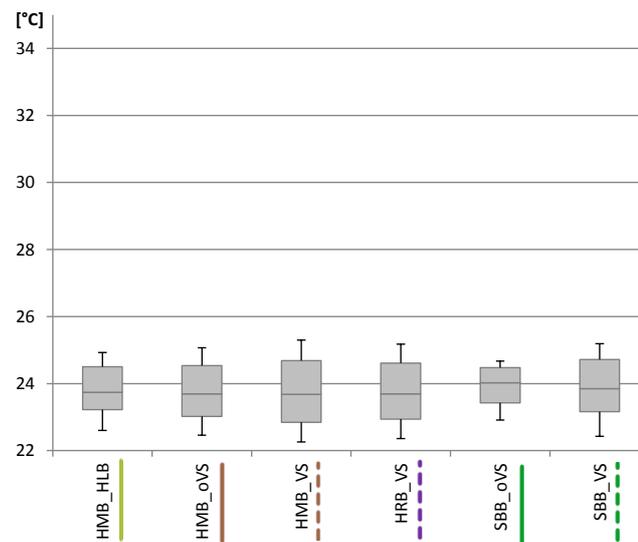
Abbildung 33 D Boxplottedarstellungen Zone 3, Szenario 1-3
links: Ausrichtung Süd rechts: Ausrichtung Ost



Szenario 1

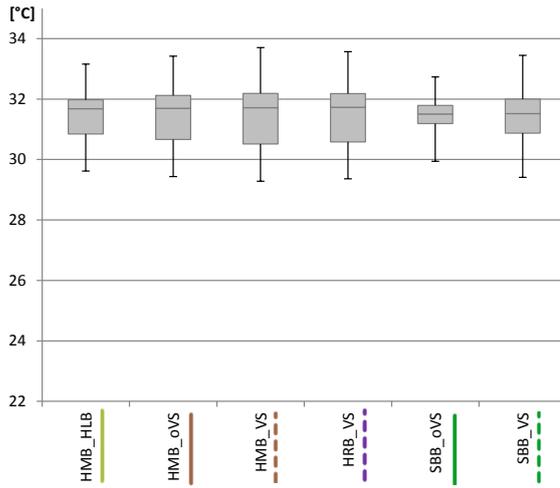


Szenario 2

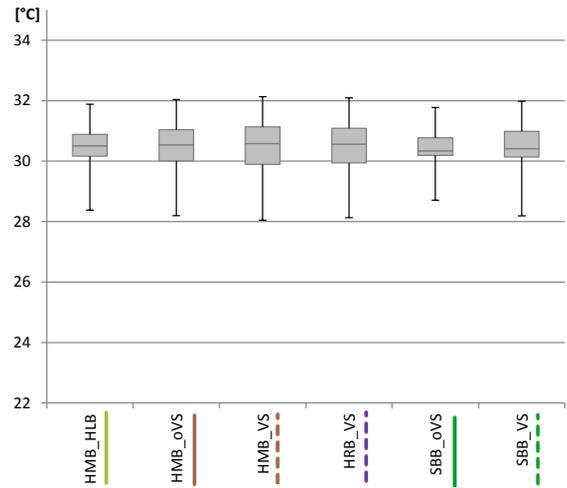


Szenario 3

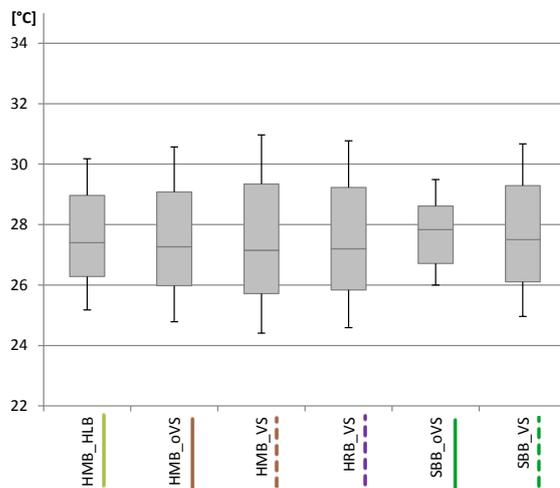
Abbildung 33 E Boxplottdarstellungen Zone 3, Szenario 1-3, Ausrichtung Nord



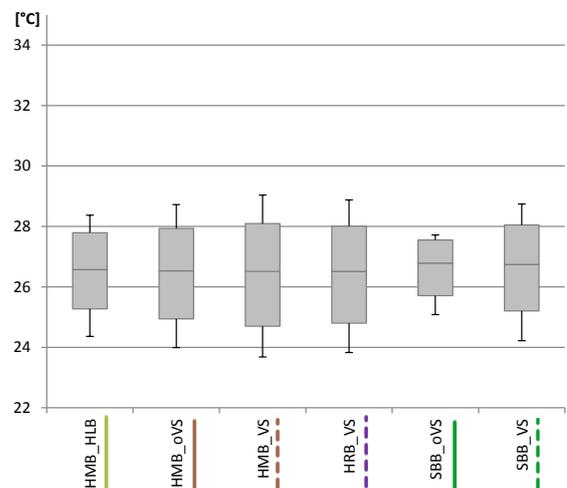
Szenario 1



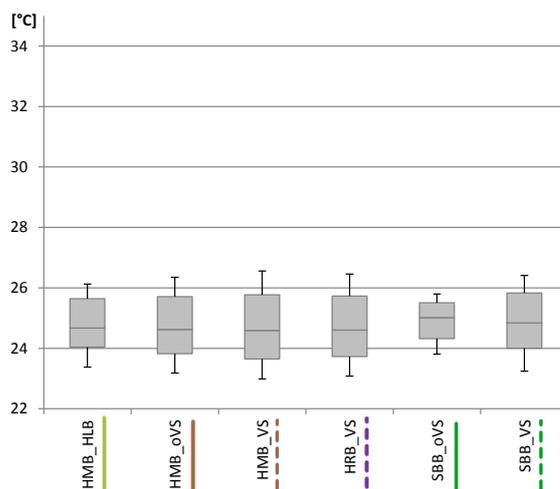
Szenario 1



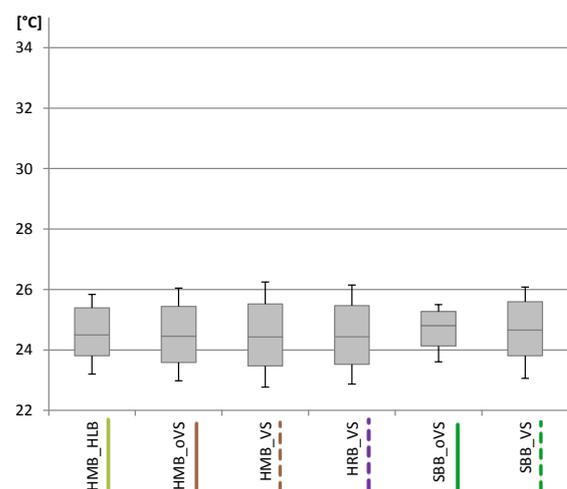
Szenario 2



Szenario 2



Szenario 3



Szenario 3

Abbildung 33 F Boxplottdarstellungen Zone 1-2, Szenario 1-3
links: Ausrichtung West rechts: Ausrichtung Süd

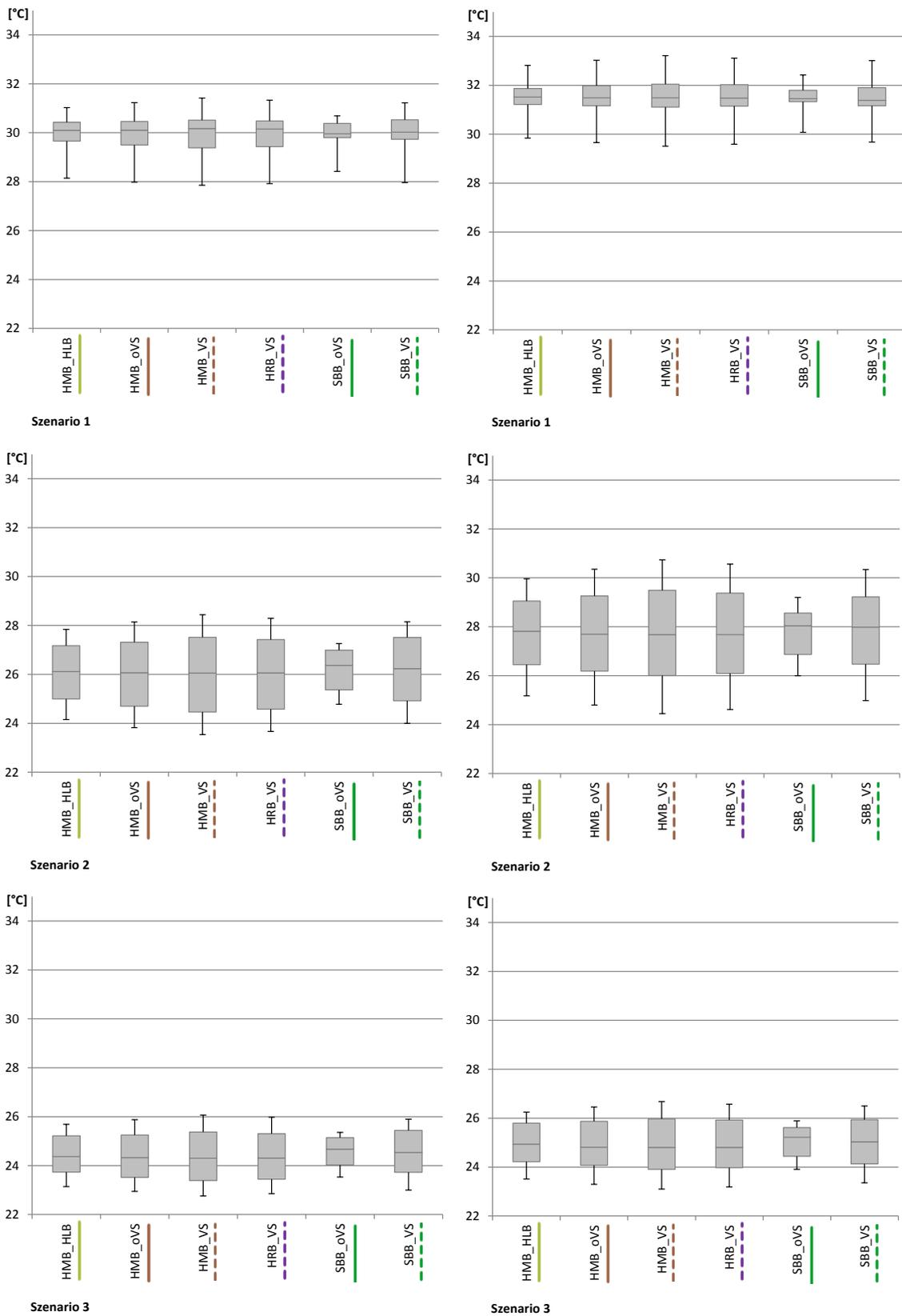


Abbildung 33 G Boxplottedarstellungen Zone 1-2, Szenario 1-3
links: Ausrichtung Nord rechts: Ausrichtung Ost

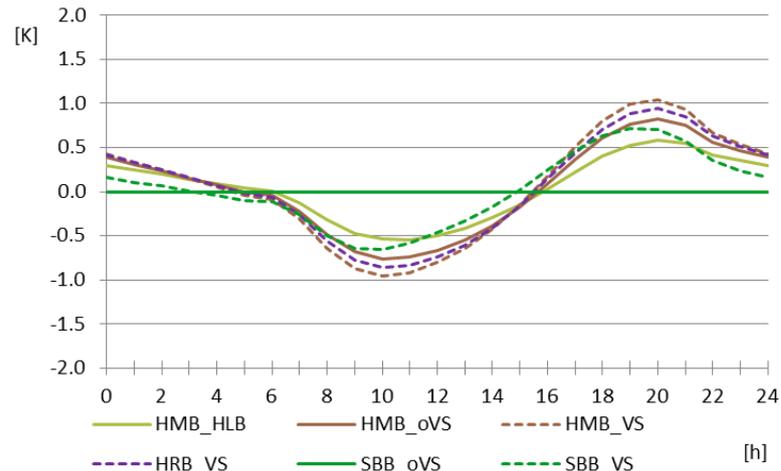


Abbildung 35 D Durchschnittliche Temperaturdifferenz aller Ausrichtungen zur Bauweise SBB_oVS, Zone 1-2, Szenario 1

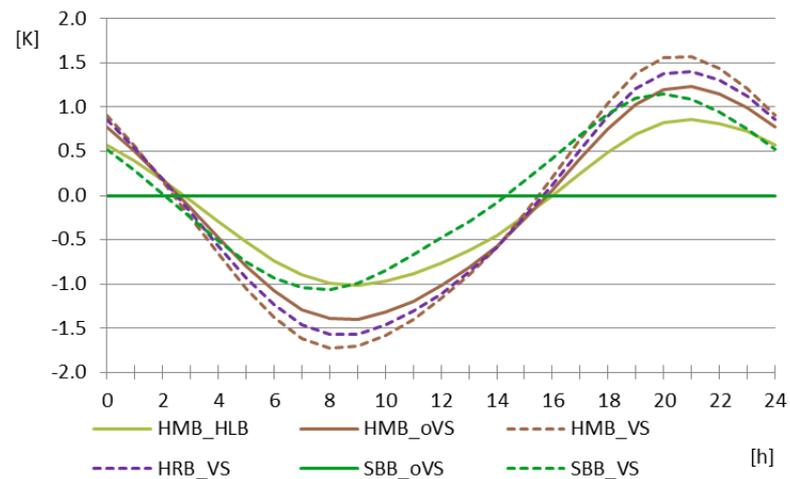


Abbildung 35 E Durchschnittliche Temperaturdifferenz aller Ausrichtungen zur Bauweise SBB_oVS, Zone 1-2, Szenario 2

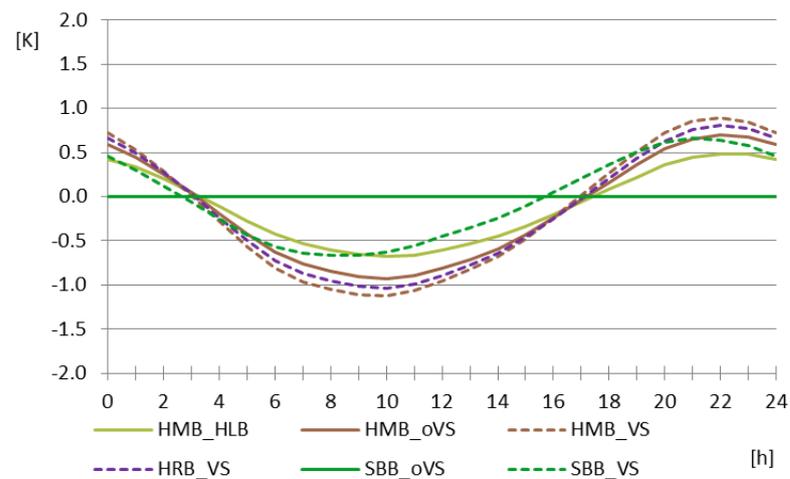


Abbildung 35 F Durchschnittliche Temperaturdifferenz aller Ausrichtungen zur Bauweise SBB_oVS, Zone 1-2, Szenario 3

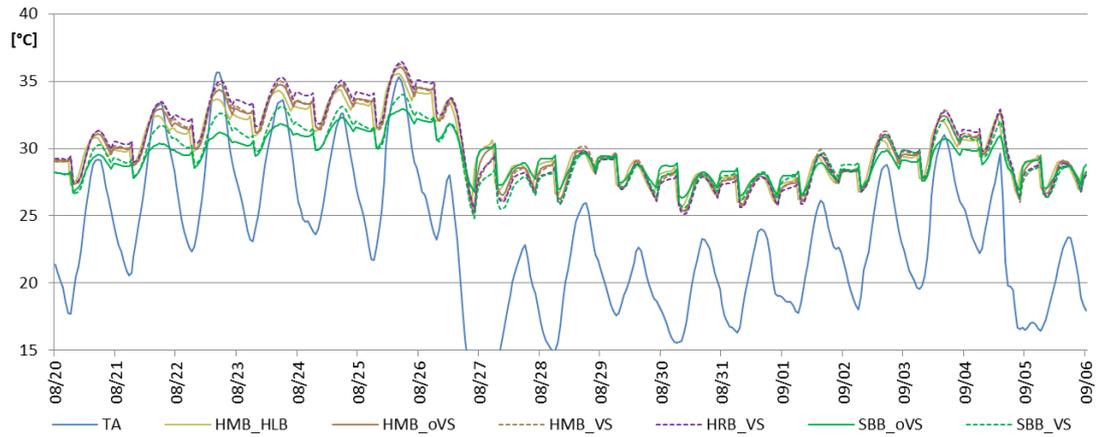


Abbildung 46 D Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung Süd, Szenario 1

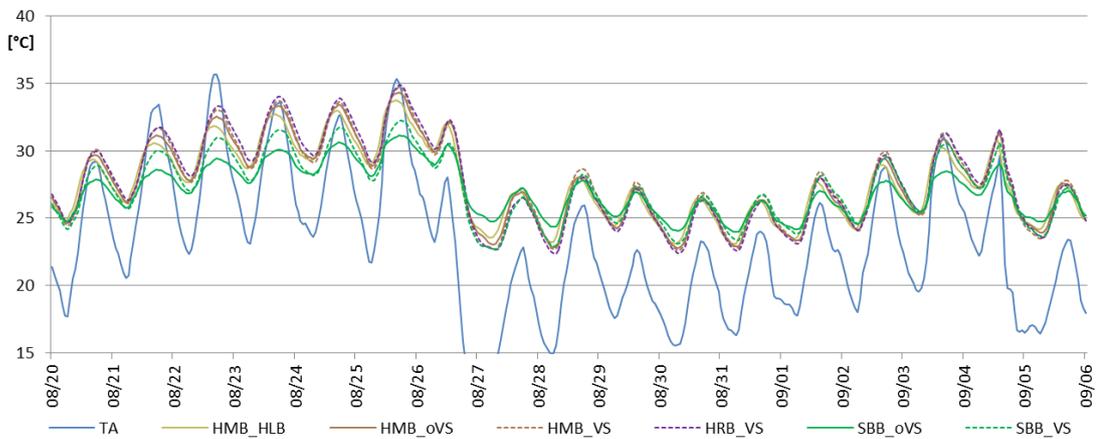


Abbildung 46 E Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung Süd, Szenario 2

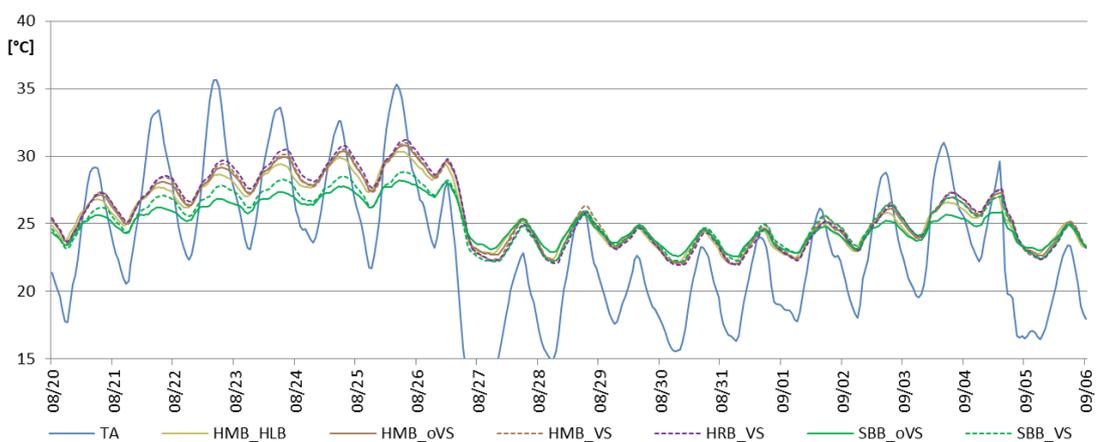


Abbildung 46 F Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung Süd, Szenario 3

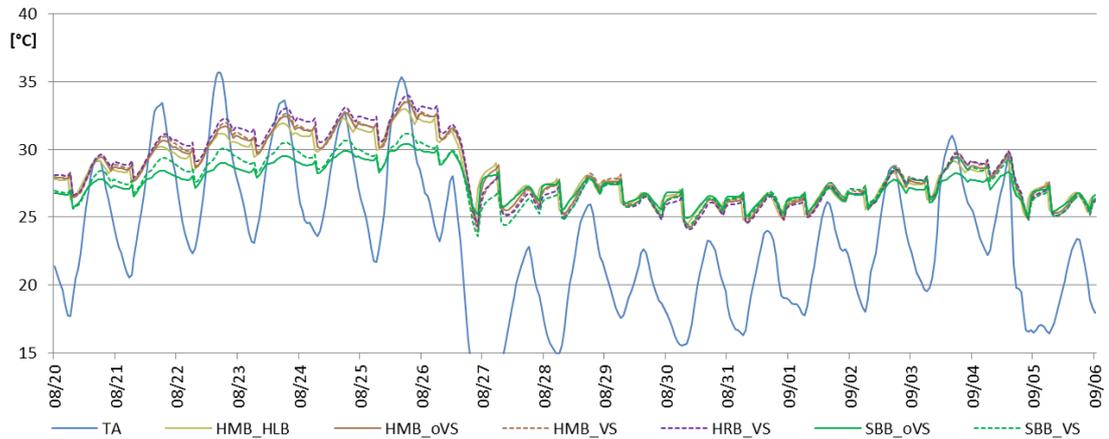


Abbildung 46 G Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung Nord, Szenario 1

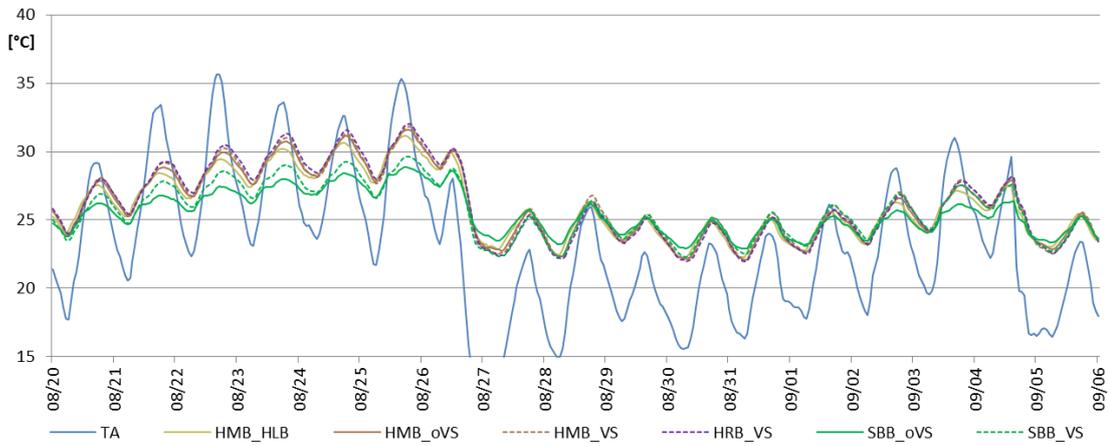


Abbildung 46 H Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung Nord, Szenario 2

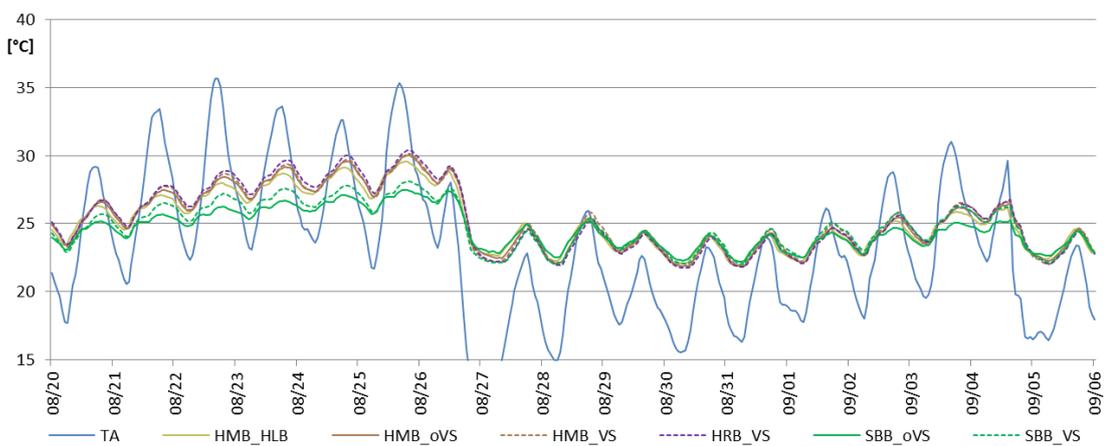


Abbildung 46 I Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung Nord, Szenario 3

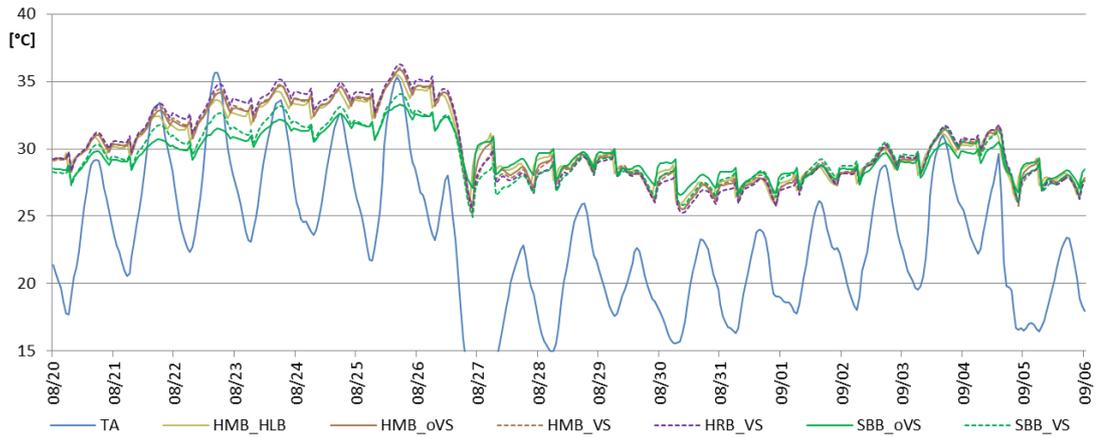


Abbildung 46 J Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung Ost, Szenario 1

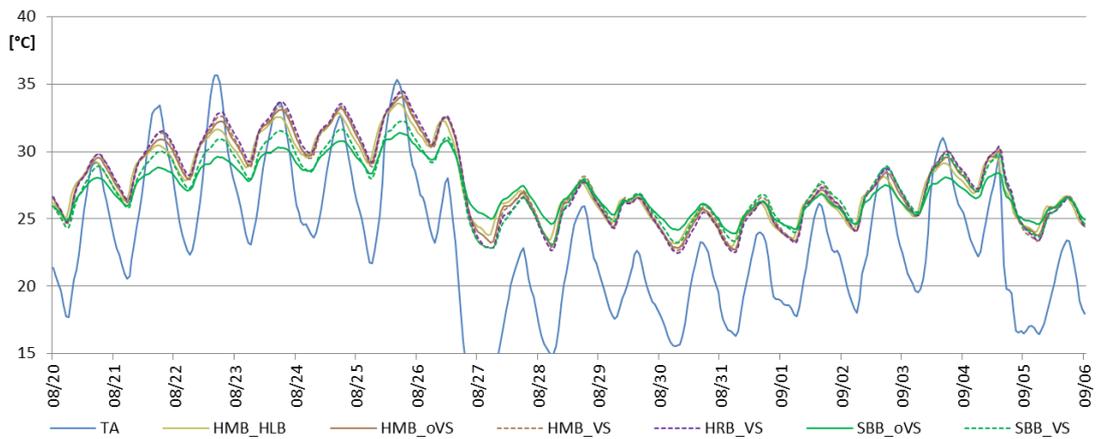


Abbildung 46 K Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung Ost, Szenario 2

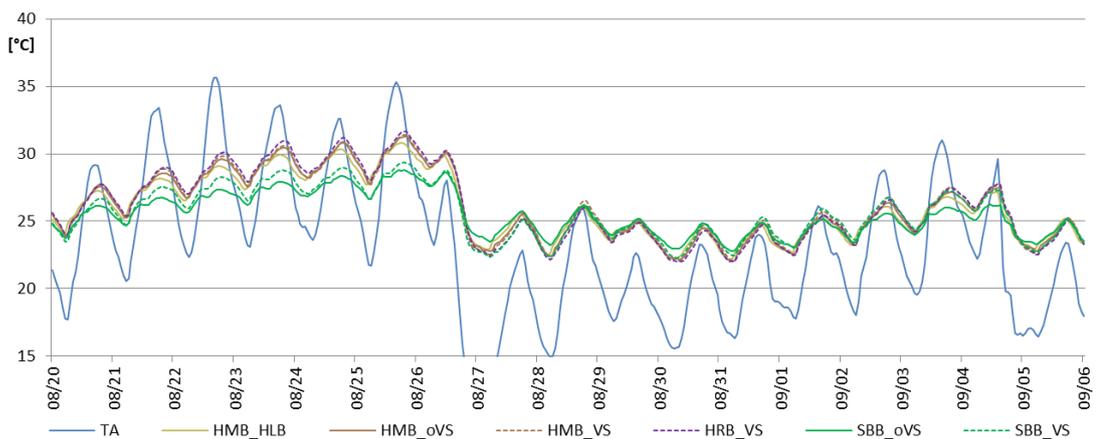


Abbildung 46 L Temperaturverlauf Zone 3, Ausrichtung Ost, Szenario 3

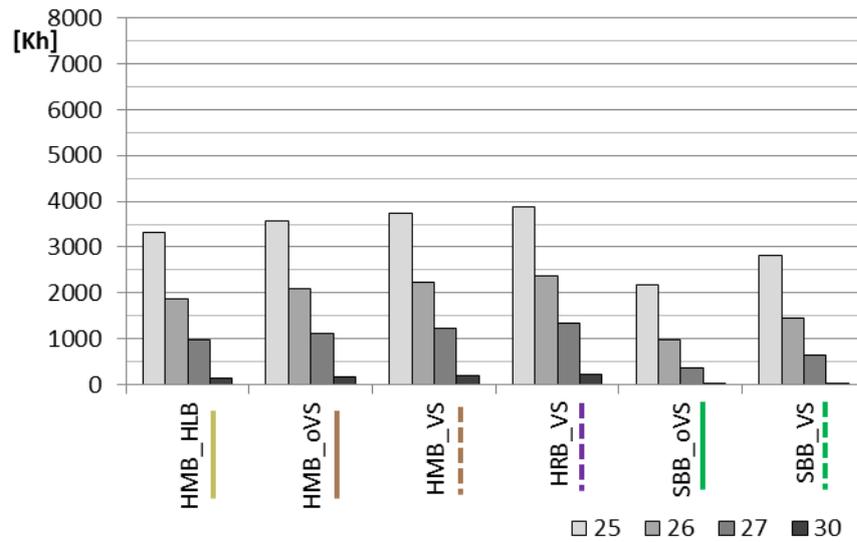


Abbildung 47 D Überwärmung in der Periode April – September, Zone 3, Ausrichtung Nord, Szenario 1

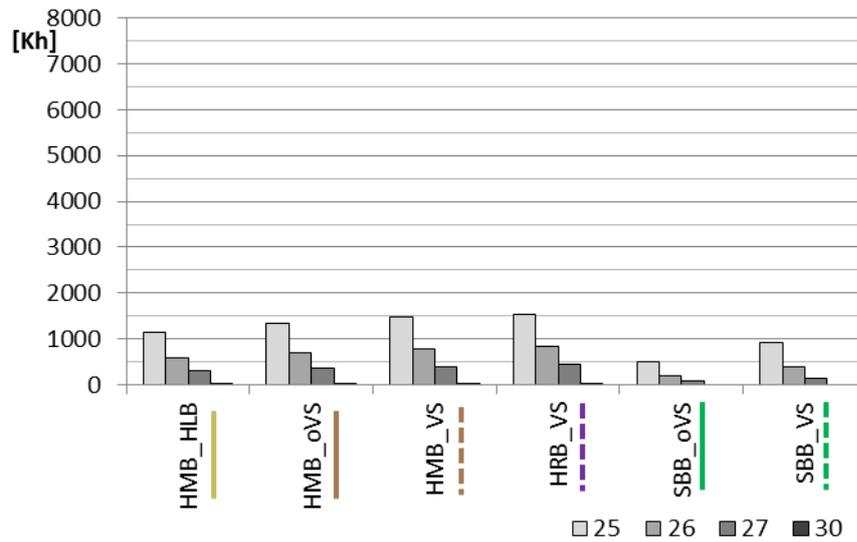


Abbildung 47 E Überwärmung in der Periode April – September, Zone 3, Ausrichtung Nord, Szenario 2

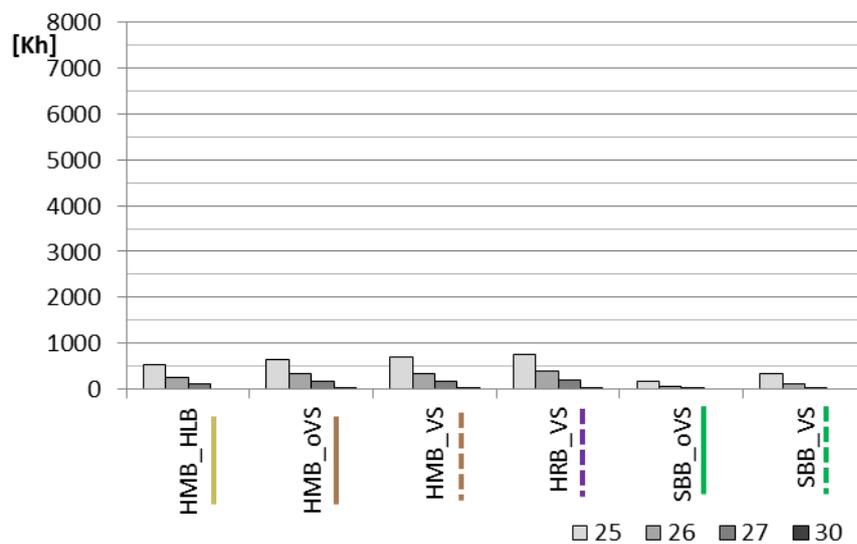


Abbildung 47 F Überwärmung in der Periode April – September, Zone 3, Ausrichtung Nord, Szenario 3

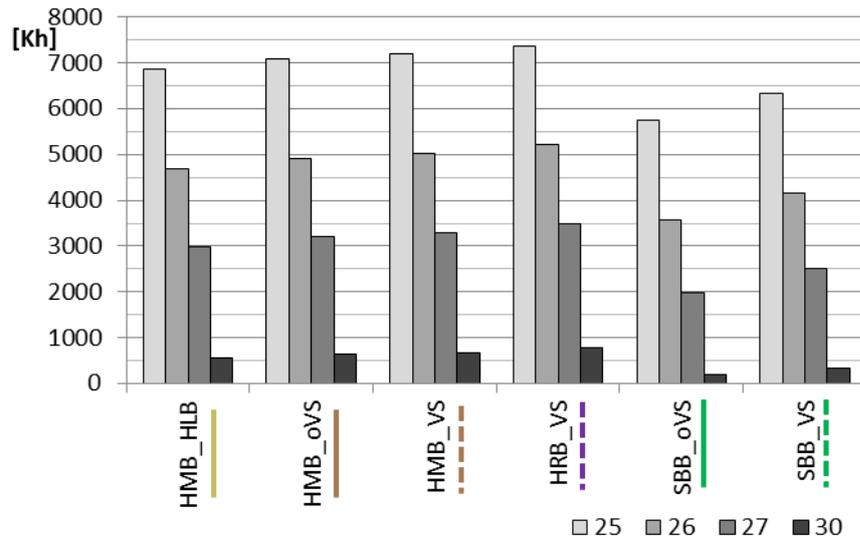


Abbildung 47 G Überwärmung in der Periode April – September, Zone 3, Ausrichtung Ost, Szenario 1

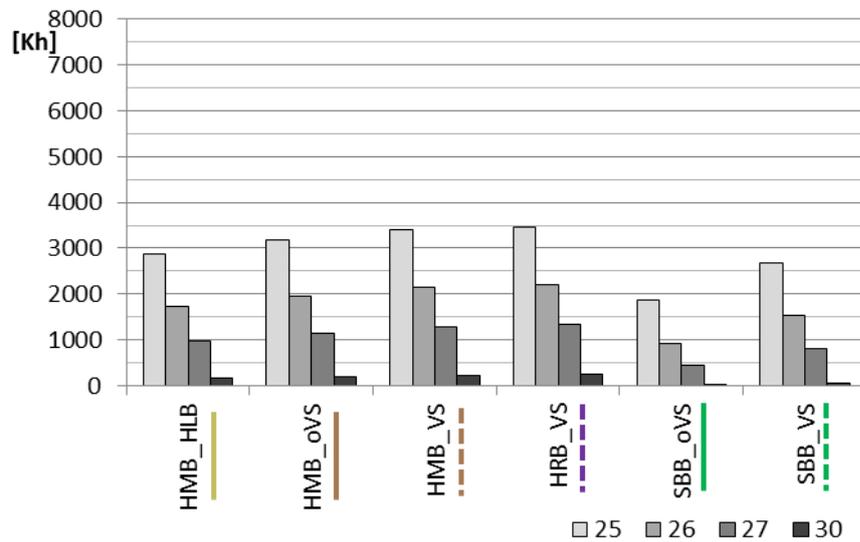


Abbildung 47 H Überwärmung in der Periode April – September, Zone 3, Ausrichtung Ost, Szenario 2

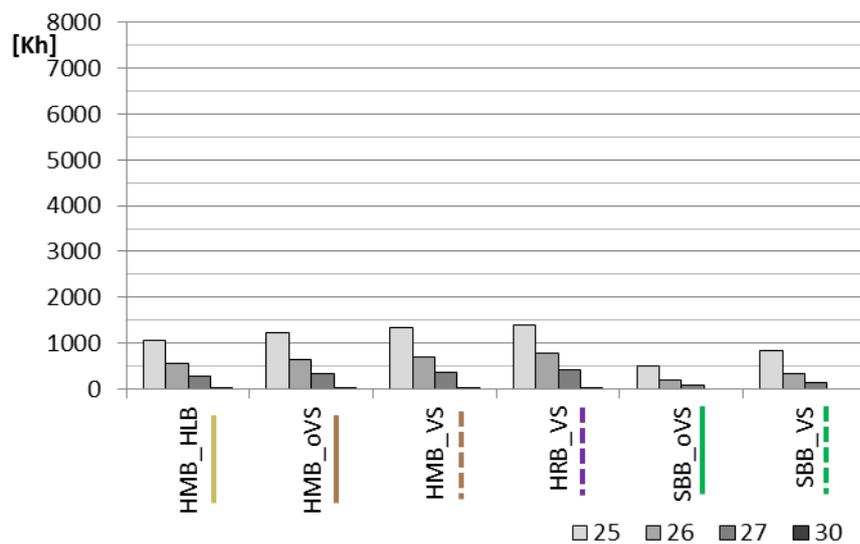


Abbildung 47 I Überwärmung in der Periode April – September, Zone 3, Ausrichtung Ost, Szenario 3

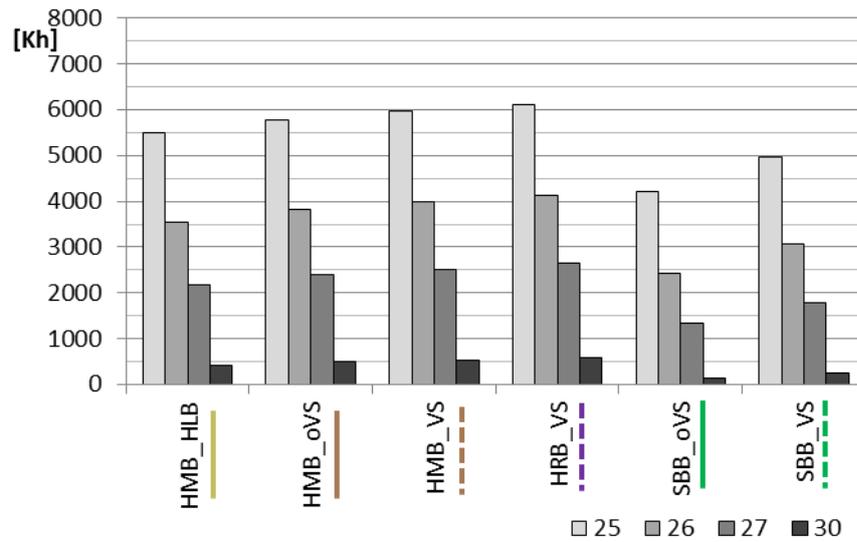


Abbildung 47 J Überwärmung in der Periode April – September, Zone 3, Ausrichtung Süd, Szenario 1

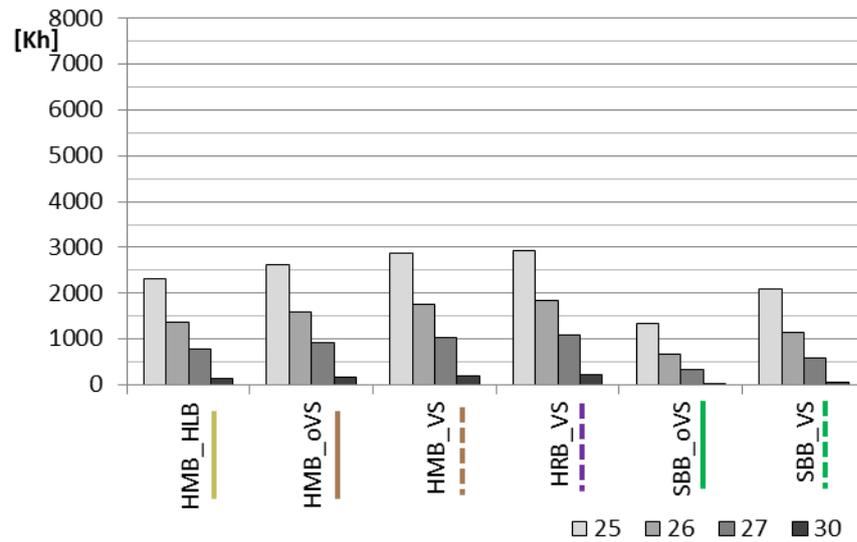


Abbildung 47 K Überwärmung in der Periode April – September, Zone 3, Ausrichtung Süd, Szenario 2

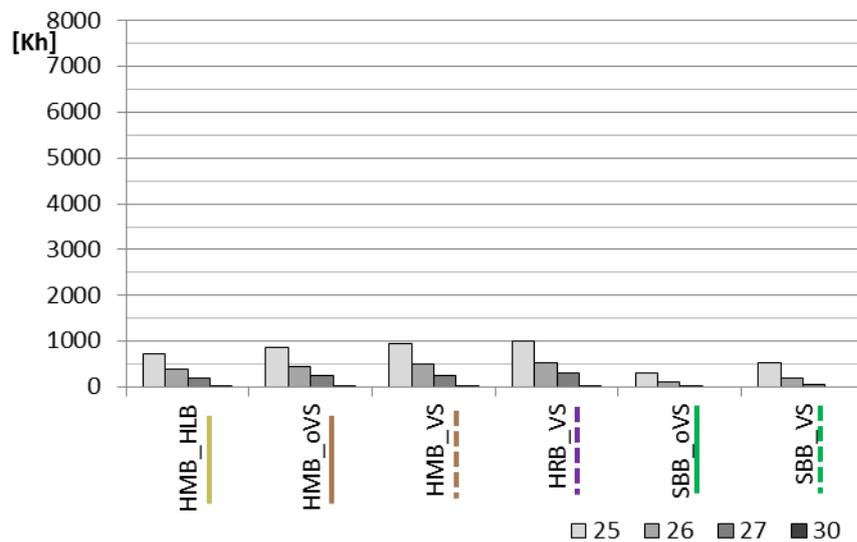
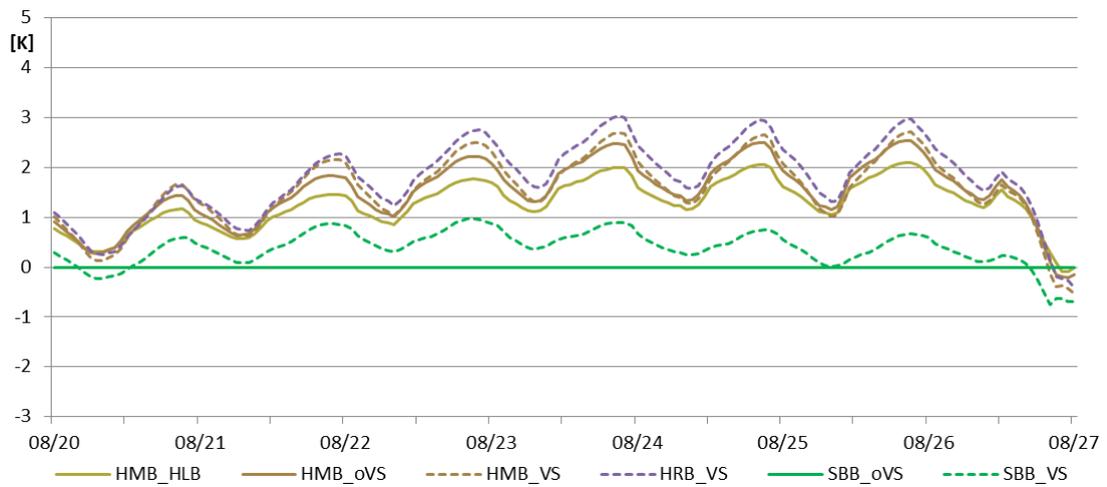
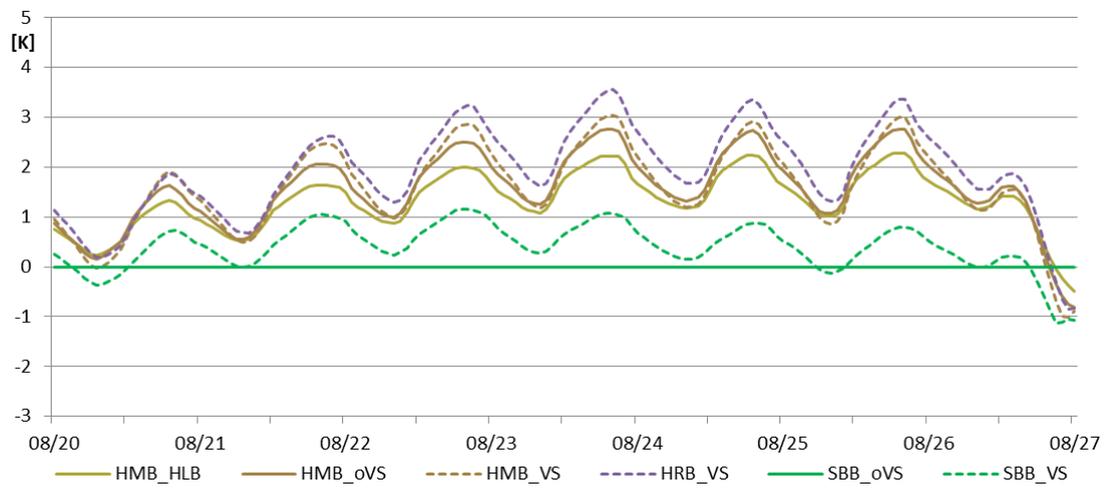
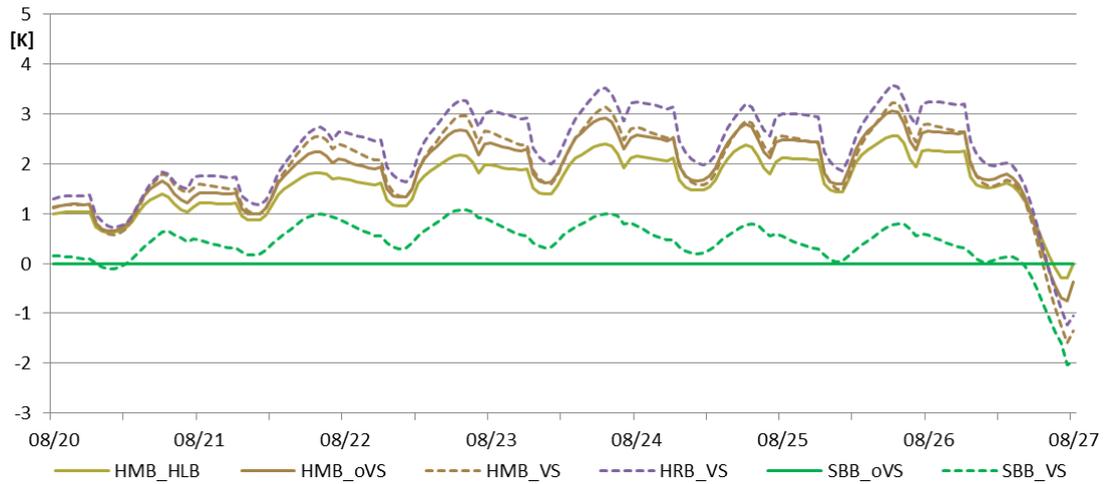
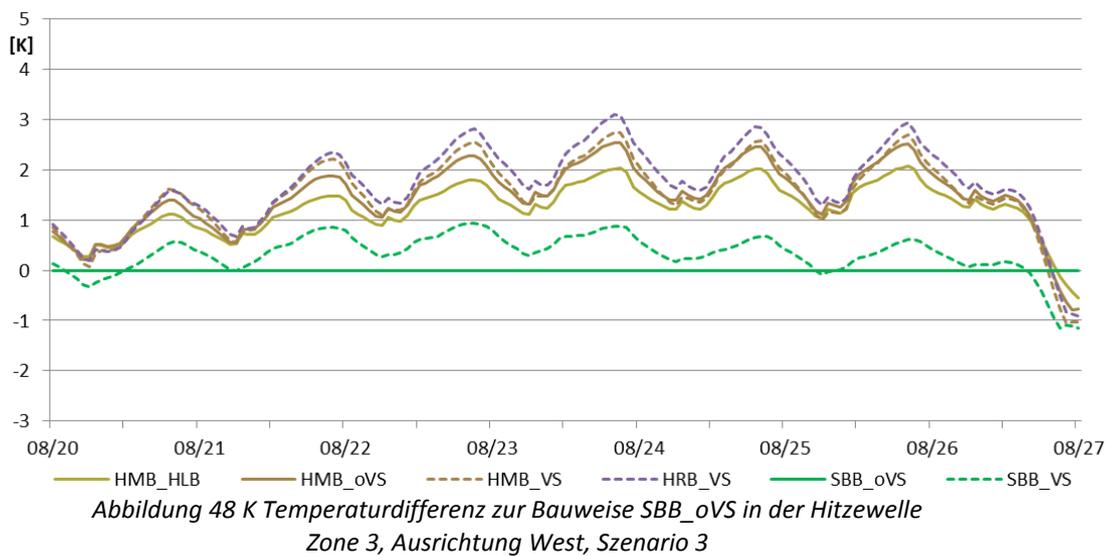
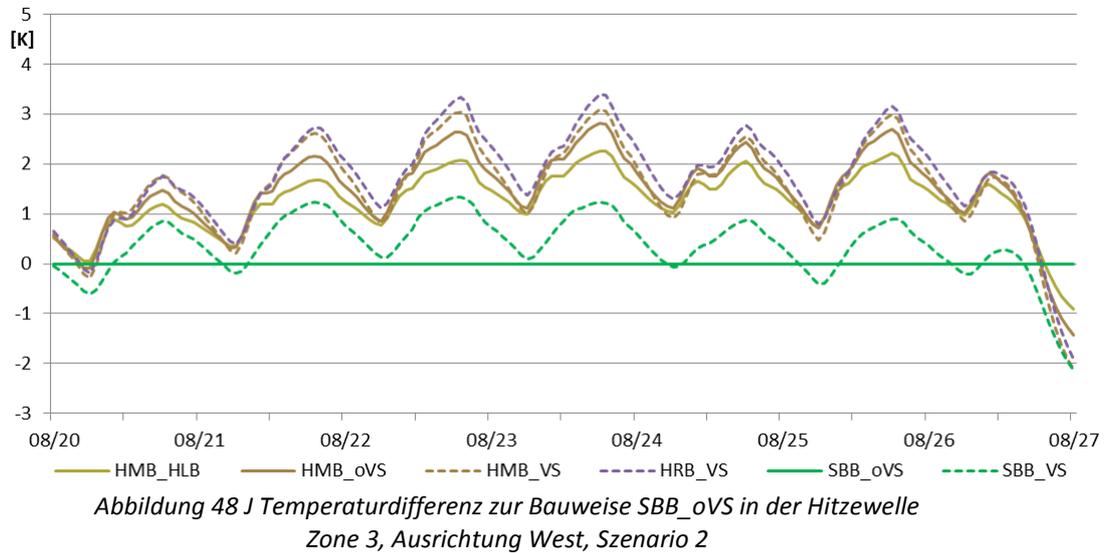
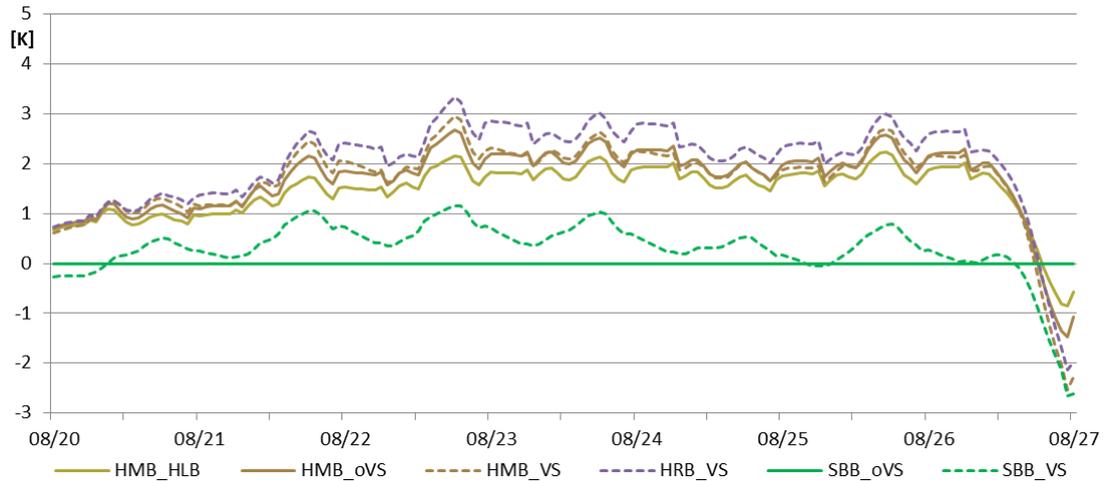


Abbildung 47 L Überwärmung in der Periode April – September, Zone 3, Ausrichtung Süd, Szenario 3





9 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Untersuchte Bauweisen:

| Abkürzung | Bauweise | Beschreibung |
|------------|---|--|
| HMB_VS | Holzmassivbauweise mit Vorsatzschale | |
| SBB_VS | Stahlbetonbauweise mit Vorsatzschale | |
| HRB_VS | Holzrahmenbauweise mit Vorsatzschale | |
| HMB_oVS | Holzmassivbauweise ohne Vorsatzschale | Vorsatzschalen vorhanden wenn für akustische Mindestanforderungen erforderlich |
| SBB_oVS | Stahlbetonbauweise ohne Vorsatzschale | Vorsatzschalen vorhanden wenn für akustische Mindestanforderungen erforderlich |
| HMB_HLB | Holzmassivbauweise mit Holzleichtbeton | Die Bauweise HMB_oVS ergänzt mit Holzleicht- betonelementen an ausgewählten Oberflächen |
| HMB_oVS_ZE | Holzmassivbauweise ohne Vorsatzschale mit Zementestrich | Wie HMB_oVS aber statt einem trockenen Fußbodenaufbau mit Zementestrich |
| SBB_VS_TF | Stahlbetonbauweise mit Vorsatzschale mit trockenem Fußbodenaufbau | Wie SBB_VS aber statt einem Zementestrich mit trockenem Fußbodenaufbau |

Szenarien (Annahmen von Varianten für Lüftung und Verschattung):

Für alle Szenarien gültig: Zeitplan der hygienischen Luftwechselrate

Fenster unter Tags geöffnet wenn $T_i > T_a$

| | |
|------------|--|
| Szenario 1 | keine Nachtlüftung keine Verschattung |
| Szenario 2 | Fenster nachts geöffnet keine Verschattung |
| Szenario 3 | Fenster nachts geöffnet Fenster mit außenliegendem Sonnenschutz |