



Ing. Gerhard Lintschinger, BSc

**Validierung von thermischen Gebäude-Simulations-Programmen
und Überprüfung der Tauglichkeit zur Berechnung von
Phase-change-materials**

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen - Bauingenieurwissenschaften

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Mag. Dr.iur. Dr.techn. Peter Kautsch

Institut für Hochbau

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

AFFIDAVIT

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.

Datum / Date

Unterschrift / Signature

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mir während meiner Diplomarbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Mag. Dr.iur. Dr.techn. Peter Kautsch.

Außerdem möchte ich mich bei meinem Arbeitgeber Herrn Dipl.Ing. Wolfgang Gollner für die Unterstützung sowie für die Bereitstellung von Arbeitsmittel im Rahmen meiner Masterarbeit bedanken.

Besonderer Dank gebührt meinen Eltern, die mir dieses Studium ermöglichten und mich die gesamte Ausbildungszeit hindurch unterstützten.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen Schwestern sowie meinen Freunden, die mich während meines Studiums begleitet haben.

Abschließend möchte ich mich noch bei den Mitgliedern vom Verkehrswesenzeichensaal der TU-Graz für viele unterstützende und beratende Gespräche bedanken.

Graz, 18.5.2014

(Unterschrift)

Kurzfassung

Im Zuge dieser Arbeit wurde ein thermisches Gebäude-Simulationsprogramm hinsichtlich der Rechengenauigkeit überprüft. Anhand eines Praxisbeispiels wurde die Berechnung von „Phase-change-materials“ (PCM) und eine Ermittlung des Energieeinsparungspotentials durchgeführt.

In den ersten beiden Kapiteln werden die Grundlagen der Wärmeleitung erörtert sowie das Wirkungsprinzip von „Phase-change-materials“ erklärt.

Das 4. und 5. Kapitel liefern Informationen über die Einsatzmöglichkeiten von thermischen Gebäudesimulationen und dessen Stand in der Technik und Wissenschaft. Zudem wird ein Überblick über die Funktionen der gängigsten Simulationsprogramme gegeben.

Bevor die Simulationen durchgeführt wurden, hat eine Überprüfung der Software auf Ihre Tauglichkeit zur Berechnung der Problemstellung stattgefunden, da nicht automatisch jedes Simulationsprogramm für die Ermittlung der gewünschten Ausgabewerte geeignet ist (Kapitel 6).

Die Validierung der ausgewählten Simulations-Software „DesignBuilder“ wurde anhand von drei ausgewählten Testbeispielen der VDI Richtlinie 6020 (Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation) durchgeführt. Die Berechnungen der Testbeispiele „ohne PCM-Einsatz“ und die Ergebnisvergleiche dienten der Verifizierung der getesteten Funktionen bei den angegebenen Randbedingungen. Programmierfehler im Simulationsprogramm, die eventuell bei anderen Randbedingungen auftreten, konnten damit nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Kapitel 7 setzt sich mit sämtlichen Berechnungsparametern auseinander. In weiterer Folge wurde die Modellierung der einzelnen Klimazonen und deren angrenzenden Umgebungen beschrieben.

Kapitel 8 beinhaltet die Berechnung und Auswertung der Ergebnisse durch Vergleiche mit geprüften Testbeispielen (Validierung). Durch dieses Überprüfungsverfahren wurde eine Aussage über die Eignung der Software hinsichtlich thermisch-energetischer Gebäudesimulation getroffen. Die Beurteilung erfolgte anhand einer Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den zulässigen Abweichungen der Referenzberechnungen.

Nachdem die Mindestanforderungen erfüllt wurden konnte die Software auch auf die Tauglichkeit zur Berechnung von PCM an einem Praxis-Beispiel getestet werden (Kapitel 9).

Im Kapitel 10 wird das Energieeinsparungspotential von PCM im Vergleich zu herkömmlichen Baustoffen dargestellt. Aufgrund der Mehrkosten von PCM gegenüber konventionellen Baustoffen wird eine Amortisationszeitberechnung durchgeführt, welche einen Aufschluss über die Wirtschaftlichkeit liefert.

Kapitel 11 beinhaltet eine Zusammenfassung der Masterarbeit und eine Aussage über die Funktionalität der verwendeten Software.

Validation of thermal building simulation programs and review of suitability for the calculation of phase-change-materials

Abstract

In the course of this work a thermal building simulation program has been verified in terms of its computational accuracy. Subsequently, the calculation of "phase -change materials" (PCM) was conducted according to a practical example and its energy saving potential was determination.

In the first two chapters the basics of heat transfer are discussed and the operating principles of "phase -change materials" are explained.

The 4th and 5th chapter provides information on the use of thermal building simulations and their state-of-the-art in technology and science. In addition, an overview on the features of the most common simulation programs will be given.

Before the simulations were carried out, a review of the suitability of the software for the calculation took place, since not all simulation programs are suitable for the determination of the desired output values (Chapter 6).

The validation of the selected simulation software "Design Builder" was carried out on three selected test examples based on the VDI directive 6020 (requirements for calculation methods for building and plant simulation). The calculation of the test samples "without use of PCM", and the comparison of the results were used for verification of the tested function at the specified boundary conditions. Programming errors in the simulation program, which may occur at other conditions, could not be excluded with certainty.

Chapter 7 describes the examination of all calculation parameters, and subsequently the modeling of the different climate zones and their surrounding environments.

Chapter 8 contains the calculation and evaluation of the results by comparison with the audited test examples (validation). Through this review process a statement about the suitability of the software with respect to thermal energy building simulation was made. The assessment was based on a comparison of the results with the permissible deviations of the reference calculations.

After the minimum requirements have been met, the software could also be tested for suitability for the calculation of PCM as a practical example (Chapter 9).

In Chapter 10, the energy saving potential of PCM is shown in comparison to conventional building materials. Due to the additional costs of PCM compared to conventional building materials a payback period calculation was carried out, which provides an indication of the economic viability.

Chapter 11 contains a summary of the master thesis and a statement about the functionality of the software used.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	GRUNDLAGEN DER WÄRMELEHRE	2
2.1	Arten der Wärmeübertragung	2
2.1.1	Wärmeleitung	3
2.1.2	Konvektion	3
2.1.3	Wärmestrahlung	3
2.2	Wärmeübertragung an Grenzflächen	5
2.3	Stationäre und instationäre Wärmebewegungen	5
2.4	Wärmespeicherung	6
2.4.1	Sensible Speicherung thermischer Energie	7
2.4.2	Latente Speicherung thermischer Energie	8
2.5	Arten und Einteilung von Wärmespeicher	10
2.6	Latentwärmespeicher	11
2.6.1	Organische PCM	12
2.6.2	Anorganische PCM	13
2.7	Latentwärmespeicher – Einsatz in der Praxis	14
3	ZIELSETZUNG	16
4	THERMISCHE GEBÄUDESIMULATION: STAND DER TECHNIK UND WISSENSCHAFT	18
5	VERGLEICH VON THERMISCHEN SIMULATIONSPROGRAMMEN	20
5.1	Simulationssoftware – Auseinandersetzung mit verschiedenen Programmen	20
5.2	Entscheidungshilfe - Einsatz von Simulationsprogrammen	23
5.2.1	Funktionen der Software	23
5.2.2	Abweichungen auf Basis des Rechenalgorithmus	24
5.2.3	Erzielbarer Nutzungskomfort – Testberechnungen	24
5.2.4	Weitere Beurteilungsparameter	25
6	ÜBERPRÜFUNG DER TAUGLICHKEIT ZUR BERECHNUNG VON „PHASE-CHANGE-MATERIALS“	27
6.1.1	Überprüfung auf PCM-Tauglichkeit (Literatur)	27
7	AUSWAHL VON SIMULATIONSPROGRAMMEN UND VALIDIERUNGSVERFAHREN	29
7.1	Kriterien für die Auswahl der Simulationssoftware	29
7.2	Kriterien für die Auswahl des Validierungsverfahrens	29
7.3	Geometrie-Modellierung mit DesignBuilder	30
7.4	Zeitunabhängige Parameter	31
7.4.1	Randbedingungen der Umgebung	31
7.4.2	Aufbau der raumumschließenden Bauteile	32
7.5	Zeitvariable Eingabedaten	33
7.5.1	Wetterdaten - Aufbau einer Klimadatei	33
7.5.2	Hinzufügen einer neuen Wetterdatei	33
7.5.3	Klimadaten Konvertierungstool	34
7.5.4	Wetterdaten für die Validierung nach VDI 6020	36
7.5.5	Jahresverlauf der Außenlufttemperatur	37
7.5.6	Sonnenschutzeinrichtungen	37
8	VALIDIERUNGSBERECHNUNGEN MIT DESIGNBUILDER	39

8.1 Beschreibung der Software	39
8.2 Aufgabenstellung	39
8.2.1 Raumreaktionen auf innere Belastungen und Sollwertänderungen	40
8.2.2 Simulationsalgorithmen.....	40
8.2.3 Ganzjahressimulation.....	43
8.3 Programmtechnische Berechnungsparameter	44
8.4 Validierung nach VDI 6020 (2001) mit DesignBuilder (Version 3.2.0.067).....	46
8.4.1 Berechnungsergebnis - Testbeispiel 1 (nach VDI 6020, 2001)	48
8.4.2 Berechnungsergebnis - Testbeispiel 3 (nach VDI 6020, 2001)	52
8.4.3 Berechnungsergebnis - Testbeispiel 6 (nach VDI 6020, 2001)	55
8.5 Vergleich der Simulationsergebnisse (Validierung)	56
9 SIMULATION EINES MUSTERRAUMES	57
9.1 Auswahl des Musterraumes	57
9.1.1 Konstruktionsbeschreibung:.....	58
9.1.2 Haustechnik (HVAC)	59
9.2 Variantenberechnung	60
9.2.1 Einfluss der Fassaden-Neigung auf die Raumtemperatur	61
9.2.2 Variation der Orientierung	63
9.2.3 Einfluss der Fenster-Verschattung	66
9.2.4 Einfluss der internen Wärmequellen.....	70
9.2.5 Einfluss der „Lüftung“	72
9.3 Simulation „Gesamter-Sommer“ ohne PCM	75
9.3.1 Simulation „Gesamter-Sommer“ ohne PCM.....	77
9.3.2 Variante „Gesamter-Sommer“ ohne PCM - mit Nachtlüftung	79
9.4 Simulation „Gesamter-Sommer“ mit PCM.....	81
9.4.1 Auswahl eines geeigneten PCM für die Simulation.....	81
9.4.2 Variante „Gesamter-Sommer“ mit PCM - mit Nachtlüftung.....	84
9.5 Vergleich: „Gesamter-Sommer“ ohne PCM – mit PCM.....	87
10 WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG	89
10.1 Energieeinsparung durch verringerten Kühlbedarf	89
10.2 Amortisationsberechnung	92
11 ZUSAMMENFASSUNG	93
12 LITERATURVERZEICHNIS	95
13 ANHANG A	97
13.1 TRY 05 Würzburg	97
13.2 Kategorien „Dynamische Auswahl“ inside adaptive convection algorithm	98
14 ANHANG B	101
14.1 Konstruktionsdetails	101
14.2 Einfluss der Fassadeneigung auf die Raumtemperatur.....	102
14.3 Variation der Orientierung	108
14.4 Einfluss der Verschattung	114
14.5 Einfluss „interne Wärmequellen“	122
14.6 Einfluss der „Lüftung“	128
14.7 Simulation – „Gesamter-Sommer“ ohne PCM, ohne NL.....	134
14.8 Simulation – „Gesamter-Sommer“ ohne PCM, mit NL.....	141
14.9 Simulation „Gesamter-Sommer“ mit PCM – mit Nachtlüftung.....	148

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Arten der Wärmeübertragung	2
Abb. 2-2:	Bestandteile der Wärmestrahlung	4
Abb. 2-3:	Schematische Darstellung der Wärmeflussaufnahme von Materialien	7
Abb. 2-4:	Massenbezogene spezifische Wärmekapazität	8
Abb. 2-5:	Phasenumwandlung am Beispiel Wasser	9
Abb. 2-6:	Wärmefluss am Beispiel Wasser	10
Abb. 2-7:	Arten und Einteilung von Wärmespeicher	11
Abb. 4-1:	Gebäudezertifizierungslabel am Beispiel LEED []	18
Abb. 5-1:	Schematischer Aufbau eines Simulationsmodells	20
Abb. 5-2:	Ergebnis der Beispielberechnung nach VDI 6020 []	25
Abb. 5-3:	Schematisch elektrisches Schaltbild mit dem Beuken-Modell []	26
Abb. 6-1:	Tauglichkeit für das Simulieren von PCM []	27
Abb. 6-2:	PCM Tauglichkeit – Recherche	28
Abb. 7-1:	Geometrie der „Typräume“ [18]	31
Abb. 7-2:	Auszug aus „TRY 05 Würzburg“ Wetterdatensatz. []	36
Abb. 7-3:	Außenlufttemperaturverlauf des Testreferenzjahres „TRY 05 Würzburg“	37
Abb. 7-4:	Lage der Sonnenschutzanlage [21]	38
Abb. 8-1:	Auswahl des Simulations-Algorithmus	42
Abb. 8-2:	Variation der Simulations-Algorithmen	43
Abb. 8-3:	VDI 6020, Anhang B, Bild B1a Beispiel 1 am 1.Tag[18]	48
Abb. 8-4:	VDI 6020, Anhang B, Bild B1b Beispiel 1 am 10.Tag [18]	49
Abb. 8-5:	VDI 6020, Anhang B, Bild B1c Beispiel 1 am 60.Tag[18]	50
Abb. 8-6:	VDI 6020, Anhang B, Bild B1d, Einschwingvorgang nach dem Beuken-Modell über 60 Tage [18]	51
Abb. 8-7:	VDI 6020, Anhang B, Bild B3a Beispiel 3 am 1.Tag[18]	52
Abb. 8-8:	VDI 6020, Anhang B, Bild B3b Beispiel 3 am 10.Tag[18]	53
Abb. 8-9:	VDI 6020, Anhang B, Bild B3c Beispiel 3 am 60.Tag[18]	54
Abb. 8-10:	VDI 6020, Anhang B, Bild B6a Beispiel 6 am 10.Tag[18]	55
Abb. 9-1:	Skizze, Bautechnikzentrum TU-Graz, Raum 040	57
Abb. 9-2:	Konstruktionsdetails, Bautechnikzentrum TU-Graz, Raum 040	58
Abb. 9-3:	Detail-Fenster, Bautechnikzentrum TU-Graz, Raum 040	59
Abb. 9-4:	Modell, unterschiedliche Fassadenneigungen	61
Abb. 9-5:	Solare Gewinne / Lufttemperatur, unterschiedliche Fassadenneigung	62
Abb. 9-6:	Modell, unterschiedliche Orientierungen	63
Abb. 9-7:	Solare Gewinne – Sommer/Winter, unterschiedliche Orientierung	64
Abb. 9-8:	Lufttemperatur – Sommer, unterschiedliche Orientierung	65

Abb. 9-9:	Modell, Block 1 mit und ohne Verschattung.....	66
Abb. 9-10:	DB-Eingabemaske „Sonnenschutz-Kennwerte“	67
Abb. 9-11:	Fc-Faktor Berechnung nach ÖNORM EN 13363-1 (2011)	68
Abb. 9-12:	Solarer Gewinn / Lufttemperatur – Sommer, mit und ohne Verschattung	69
Abb. 9-13:	Modell, Block 1 interne Wärmequellen.....	70
Abb. 9-14:	Gewinn / Lufttemperatur – Sommer, interne Wärmequellen	71
Abb. 9-15:	Modell, Block 1, Infiltration - Lüftung	72
Abb. 9-16:	Modell, Block 1, Infiltration – detaillierte Berechnung	73
Abb. 9-17:	Verluste-Gewinn / Lufttemperatur – Sommer, Infiltration - Lüftung	74
Abb. 9-18:	Musterraum (Block 3), Simulation - „Gesamter-Sommer“ ohne PCM.....	75
Abb. 9-19:	Block3, Wärmetransport – „Gesamter Sommer“ ohne PCM.....	77
Abb. 9-20:	Block 3, Lufttemperatur – „Gesamter-Sommer“ ohne PCM	78
Abb. 9-21:	Musterraum (Block 3), Sommer-Simulation, ohne PCM - mit Nachtlüftung.....	79
Abb. 9-22:	Block 3, Simulation „Gesamter-Sommer“ ohne PCM, mit Nachtlüftung	80
Abb. 9-23:	Musterraum (Block 3), Variantenstudie – „geeignetes PCM“.....	82
Abb. 9-24:	Material-Bibliothek „Designbuilder“	83
Abb. 9-25:	Musterraum (Block 3), Sommer-Simulation, mit PCM - mit Nachtlüftung	84
Abb. 9-26:	Block 3, Simulation „Gesamter-Sommer“ mit PCM, mit Nachtlüftung.....	85
Abb. 9-27:	Block 3, Simulation mit PCM - mit Nachtlüftung, größter PCM-Effekt	86
Abb. 9-28:	Musterraum (Block 3), Vergleich – „ohne /mit PCM“	87
Abb. 9-29:	Musterraum, Überschreitungen der Behaglichkeitsgrenze „ohne / mit PCM“	88
Abb. 10-1:	PCM-Investitionskostenermittlung, K7-Blatt	91
Abb. 10-2:	Amortisationsberechnung: Klimaanlage im Vergleich zur PCM-Variante	92

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Technische Daten KNAUF Comfortboard [10]	15
Tab. 5-1:	Simulationssoftware-Entscheidungsmatrix	23
Tab. 7-1:	„Typräume“ nach VDI 6020, Tabelle A1 [18]	32
Tab. 7-2:	„Eingabedaten zu den Beispielen 1 bis 7“ nach VDI 6020, Tabelle A3 [18]	32
Tab. 7-3:	Konvertierungs-Tool von TRY-Datensatz zu DesignBuilder-Klimadaten	35
Tab. 8-1:	„Eingabedaten zu den Beispielen 1 bis 7“ nach VDI 6020, Tabelle A3 [18]	44
Tab. 8-2:	Variation der Berechnungsoptionen „Rechenschritte pro Stunde“ und „innerer Wärmeübergangswiderstand“	45
Tab. 8-3:	„variable Parameter zu den Beispielen 1 bis 7“ nach VDI 6020, Tabelle A3 [18].....	47
Tab. 9-1:	DesignBuilder Simulation „Gesamter-Sommer“ Input	76

1 Einleitung

Bei der Planung von energieeffizienten Gebäuden benötigt man sowohl für die Optimierung von Neubauten als auch in der Sanierung geeignete Planungswerkzeuge. Vor allem wird die Sanierung laut aktuellen Prognosen stark zunehmen.

Zuverlässige Vorausberechnungen des energetischen Gebäudebedarfs sind mit herkömmlichen Planungsmethoden nicht mehr möglich, umso wichtiger erscheint daher der Einsatz von hygrothermischen Simulationsverfahren bei der Entwicklung von effizienten Gebäudekonzepten.

Diese hygrothermischen Berechnungen liefern wesentlich genauere Aussagen über den Feuchte- und Wärmetransport in Baukonstruktionen als dies mit den bisher üblichen Verfahren der Fall ist.

Die aktive Steuerung der Raumklimaverhältnisse in einem Bauwerk wird durch Be- und Entfeuchtung sowie Heizen oder Kühlen einer Klimazone erzielt und soll das Behaglichkeitsgefühl der BenutzerInnen gewährleisten.

Der steigende Anspruch an den Nutzungskomfort bei gleichzeitig ansteigenden Energiekosten verlangt nach einem besonderen Engagement in der Optimierung von Gebäude- und Haustechnikanlagen, welches durch den Einsatz von ständig weiterentwickelten Simulationsprogrammen ermöglicht wird.

Beim Vergleich der Berechnungen mit experimentellen Untersuchungen des Wärme- und Feuchteverhaltens von Bauteilen ist zu berücksichtigen, dass die Rechenergebnisse nicht nur vom zugrunde liegenden mathematischen Modell, sondern auch von den Stoffkennwerten und den Klimadaten maßgeblich abhängen. Mit welcher Genauigkeit das Berechnungsergebnis den tatsächlich vorherrschenden Verhältnissen in der Realität nahe kommt, hängt stets von der Sorgfalt der Eingabe als auch der Fehlerlosigkeit der Simulationssoftware ab.

Mit zunehmender Komplexität der Berechnungsmodelle sind alternative Methoden für den Vergleich von thermischen Gebäude-Simulationsprogrammen notwendig.

Besonders bei der Berechnung und Auslegung von Latent-Wärmespeichermaterialien (PCM: phase change materials) zur optimierten Beeinflussung des Aufheiz- und Abkühlverhaltens von Konstruktionen sind zusätzliche thermische Vorgänge zu berücksichtigen. Nur anhand zuverlässiger Berechnungsergebnisse können wirtschaftliche Entscheidungen über deren Notwendigkeit getroffen werden.

Für die AnwenderInnen einer Berechnungssoftware erweist sich die Kontrolle der Rechengenauigkeit meist als schwierig. Mit Hilfe einer Validierung der Software können die Daten zumindest auf Plausibilität hin überprüft werden.

Eine Überprüfung der Berechnungsmöglichkeiten von PCM ist normativ derzeit noch nicht geregelt, die Richtigkeit der Ergebnisse kann jedoch durch Vergleichsberechnungen mit Programmen unterschiedlicher Softwarehersteller kontrolliert werden.

2 Grundlagen der Wärmelehre

Die Wärmelehre beschäftigt sich auf dem Gebiet der Bauphysik mit dem Transport von Wärmeenergie durch Bauteile. Der Transport erfolgt durch Wärmeübertragung der thermischen Energie infolge eines Temperaturunterschiedes.

Bei der Wärmeübertragung zwischen zwei Körpern gilt das thermometrische Grundgesetz. Dieses Gesetz besagt, dass zwei sich berührende Körper nach einer bestimmten Zeit dieselbe Temperatur aufweisen und sich daher im Wärmegleichgewicht befinden.

Bei der Energieübertragung von einem Medium auf ein anderes erhöht sich seine Temperatur (unter Beibehaltung des Aggregatzustandes) proportional zur zugeführten Energie. Der Proportionalitätsfaktor wird als Wärmekapazität des erwärmten Materials bezeichnet. Dabei gibt man an wie viel thermische Energie ein Körper bezogen auf die Temperaturänderung speichern kann.

Erhöht sich die Temperatur des Mediums bei Energiezufuhr, so wird diese als fühlbare „sensible“ Wärmeübertragung bezeichnet.

Ändert sich bei dieser Energieübertragung der Aggregatzustand, bezeichnet man dies als „latente“ Wärmeaufnahme.

2.1 Arten der Wärmeübertragung

Es gibt drei verschiedene Arten von Wärmeübertragung: (siehe Abb. 2-1)

- Wärmeleitung
- Konvektion
- Wärmestrahlung

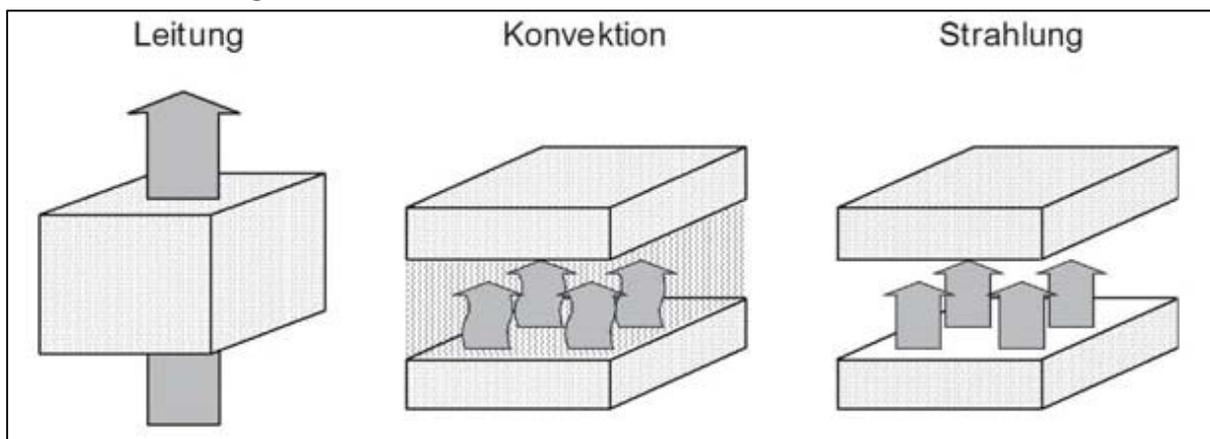


Abb. 2-1: Arten der Wärmeübertragung

2.1.1 Wärmeleitung

Unter Wärmeleitung versteht man den Wärmefluss in einem Feststoff oder einem ruhenden Fluid infolge eines Temperaturunterschiedes.

Wärme fließt dabei (gemäß der Aussage des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik) immer nur in Richtung geringerer Temperatur.

Die Wärmeleitung (heat conduction) ist ein Mechanismus zum Transport thermischer Energie von einem Ort zu einem anderen und ist niemals mit dem Transport von Teilchen verknüpft. Aufgrund des Energieerhaltungssatzes geht dabei keine Wärmeenergie verloren.

Die Wärmeleitfähigkeit Lambda (λ), die auch als Wärmeleitzahl bezeichnet wird, ist die Maßeinheit für die Wärmeleitung in einem Stoff bei einem definierten Umgebungsklima.

2.1.2 Konvektion:

Der Wärmetransport kommt durch Strömung eines heißen Mediums, das bei Berührung mit einem kälteren Medium Wärmeenergie abgibt, bzw. durch ein Mischen von Medien mit unterschiedlichen Temperaturen zustande. Ein Durchmischen ist jedoch nur bei flüssigen oder gasförmigen Medien möglich.

Bei Festkörpern hängt die Höhe des Wärmeflusses von der Strömungsgeschwindigkeit, der Temperatur des strömenden Mediums, der Oberflächentemperatur sowie der Oberflächenrauigkeit ab.

Zu unterscheiden ist weiters zwischen „freier Konvektion“ (free convection) und „erzwungener Konvektion“ (forced convection). Bei der freien Konvektion wird durch Temperatur- und damit verbundener Dichteunterschiede eine Strömung erzeugt. Erzwungene Konvektion entsteht durch einen äußeren Druckunterschied im Fluid.

2.1.3 Wärmestrahlung

Bei der Strahlung (radiation) wird thermische Energie in Form von elektromagnetischen Wellen transportiert. Solche Wellen können sich auch im Vakuum fortpflanzen und werden von jedem Körper ausgesandt, der eine Temperatur > 0 Grad Kelvin aufweist.

Der aus bauphysikalischer Sicht interessante Strahlungswärmetransport gliedert sich in

- Kurzwellige Strahlung (Solarstrahlung) und
- Langwellige Strahlung (Wärmestrahlung).

Die kurzwellige Strahlung (Wellenlängenbereiche zwischen 290 nm und 3500 nm), umfasst die UV-Strahlung, sichtbares Licht und Strahlung im nahen Infrarotbereich.

Langwellige Wärmestrahlung oder thermische Strahlung wird in Form von elektromagnetischer Strahlung von Materialoberflächen auf Grund ihrer Temperatur ausgesendet. Der Wellenlängenbereich liegt zwischen 3 μm und 800 μm .

Die auftreffende Sonnenstrahlung wird in Abhängigkeit der Oberflächenbeschaffenheit zerteilt. Dabei werden Teile der Oberfläche reflektiert, absorbiert oder durch den Bauteil durchgelassen (siehe Abb. 2-2).

Bestandteile der Wärmestrahlung:

- R Reflexion

Unter Reflexion versteht man das Zurückwerfen von Wellen an einer Grenzfläche, an der sich der Wellenwiderstand oder der Brechungsindex des Mediums ändert. Der Ausfallswinkel ist dabei genau so groß wie der Einfallswinkel.

- A Absorption

Der Begriff Absorption bezeichnet das Aufsaugen oder etwas In-sich-Aufnehmen.

Die verschiedenen Frequenzbereiche des Lichts werden in Abhängigkeit der Oberflächenfarbe unterschiedlich stark absorbiert.

- T Transmission

Die Transmission ist eine Größe für die Durchlässigkeit eines Mediums für Wellen. (z.B. Licht als elektromagnetische Welle). Trifft eine Welle auf ein Medium so wird sie je nach den Stoffeigenschaften des Hindernisses zum Teil an der Grenzfläche reflektiert und beim Durchqueren ganz oder teilweise absorbiert. Der verbleibende Rest wird durch das Medium transmittiert und tritt an der gegenüberliegenden Seite wieder aus.

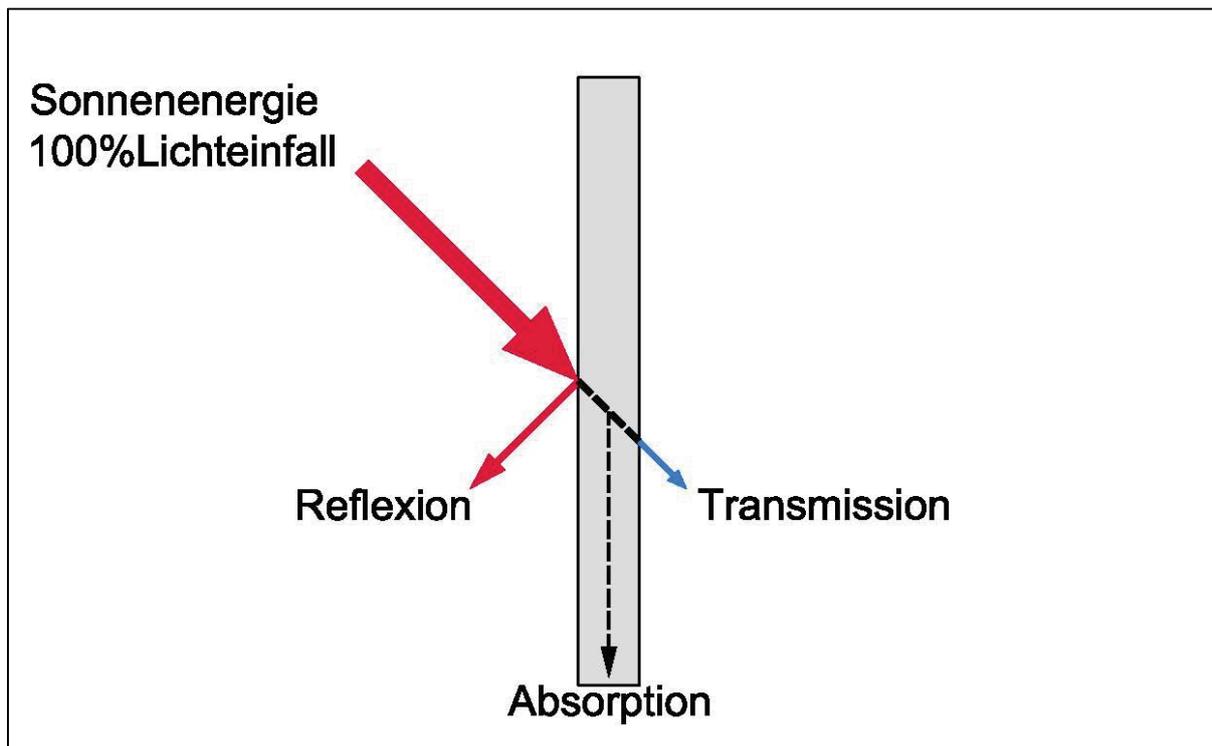


Abb. 2-2: Bestandteile der Wärmestrahlung

2.2 Wärmeübertragung an Grenzflächen

Als Wärmeübertragung bezeichnet man den Transport thermischer Energie infolge eines Temperaturunterschiedes. Die Wärmeübertragung an einer Grenzfläche wird charakterisiert durch den Wärmeübergangskoeffizienten.

Der Wärmeübergangskoeffizient beschreibt dabei die Fähigkeit eines Fluids, Energie von der Oberfläche eines Stoffes aufzunehmen bzw. abzugeben.

Der Gesamtwärmeübergangskoeffizient setzt sich aus den Bestandteilen des konvektiven und strahlenden Wärmeübergangskoeffizienten zusammen.

$$h_{ges} = h_k + h_s \left[\frac{W}{m^2K} \right] \quad (\text{Formel 1})$$

h_{ges}... Gesamt-Wärmeübergangskoeffizient [W/m²K]

h_k... konvektiver Wärmeübergangskoeffizient [W/m²K]

h_s... strahlender Wärmeübergangskoeffizient [W/m²K]

Als Kehrwert des Wärmeübergangskoeffizienten bezeichnet man den Wärmeübergangswiderstand, wobei der Index s (surface) sich hierbei auf den Übergang an der Bauteiloberfläche bezieht.

$$R_s = \frac{1}{h_{ges}} \left[\frac{m^2K}{W} \right] \quad (\text{Formel 2})$$

R_s... Oberflächen-Wärmeübergangswiderstand [m²K/W]

Der Wärmeübergangswiderstand, der an beiden Oberflächen des Bauteils zum Tragen kommt, wird an der Bauteilinnenseite durch den zusätzlichen Index „i“ und an der Außenoberfläche mit dem Index „e“ erweitert.

$$R_{ges} = R_{si} + R_{se} \left[\frac{m^2K}{W} \right] \quad (\text{Formel 3})$$

R_{ges}... Gesamtwärmeübergangswiderstand [m²K/W]

R_{si}... Wärmeübergangswiderstand der Innenoberflächen [m²K/W]

R_{se}... Wärmeübergangswiderstand der Außenoberflächen [m²K/W]

Dieser Gesamtwärmeübergangswiderstand kann in Abhängigkeit der Lage und Orientierung des Bauteils, der Oberflächenbeschaffenheit, der Umgebungs- und Oberflächentemperatur sowie der Strömungsgeschwindigkeit errechnet werden.

Für Normative Berechnungen werden die Bemessungswerte nach EN ISO 6946 (2008) verwendet.

2.3 Stationäre und instationäre Wärmebewegungen

Stationäre Temperaturverhältnisse in Bauteilen bestehen nur dann, wenn keine temporäre Zwischenspeicherung von Wärme oder temporäre Auskühlung angenommen

wird. Dies ist zwar im Labor einstellbar, kommt unter natürlichen Bedingungen jedoch so gut wie nie vor.

Bei instationären Verhältnissen in Bauteilen wird entweder Wärme gespeichert oder abgegeben. [1]

Thermische Prozesse verhalten sich zeitabhängig, können jedoch auf einen stationären Sonderfall reduziert werden, wenn es sich um bauphysikalische Nachweisberechnungen handelt (z.B. Monatsbilanzverfahren).

Die Problematik bei solchen Ermittlungen besteht darin, dass die Berechnungsergebnisse nur bedingt mit der Realität übereinstimmen, da es sich um Berechnungsmethoden mit vereinfachten Außenklimadaten und einem normierten NutzerInnenverhalten handelt.

Das instationäre Verhalten thermischer Prozesse muss jedenfalls berücksichtigt werden, wenn es sich um zeitliche Verläufe von Temperaturerwärmung bzw. -abkühlung handelt (z.B. Simulation eines Mehrzonenklimamodelles).

2.4 Wärmespeicherung

Durch Speicherung von Wärme wird die Temperatur eines Mediums erhöht. Diese gespeicherte Wärme ist fühlbar und wird als „sensibel“ bezeichnet.

Eine weitere Form der Energiespeicherung bietet die versteckte (latente) Wärmespeicherung. Latent stammt aus dem Lateinischen und bedeutet „verborgen bzw. nicht offenkundig“

Als „latente Wärmekapazität“ bezeichnet man die aufgenommene bzw. abgegebene Wärmemenge beim Phasenübergang eines Stoffes (Wechsel des Aggregatzustandes).

Der unterschiedliche Temperaturanstieg von sensibler und latenter Wärmespeicherung wird in Abb. 2-3 dargestellt.

Bei der klassischen Wärmespeicherung bleibt der Aggregatzustand des Materials während des linearen Temperaturanstiegs unverändert.

PCM-Materialien nehmen beim Phasenübergang weiter Energie auf während die Temperatur konstant bleibt.

[1] Vgl. FISCHER, H.-M; STOHRER, M; HOMANN, M; FREYMUTH, H; RICHTER, E; HÄUPL, P: „Lehrbuch der Bauphysik“, Wiesbaden, Vieweg+Teubner, 2008

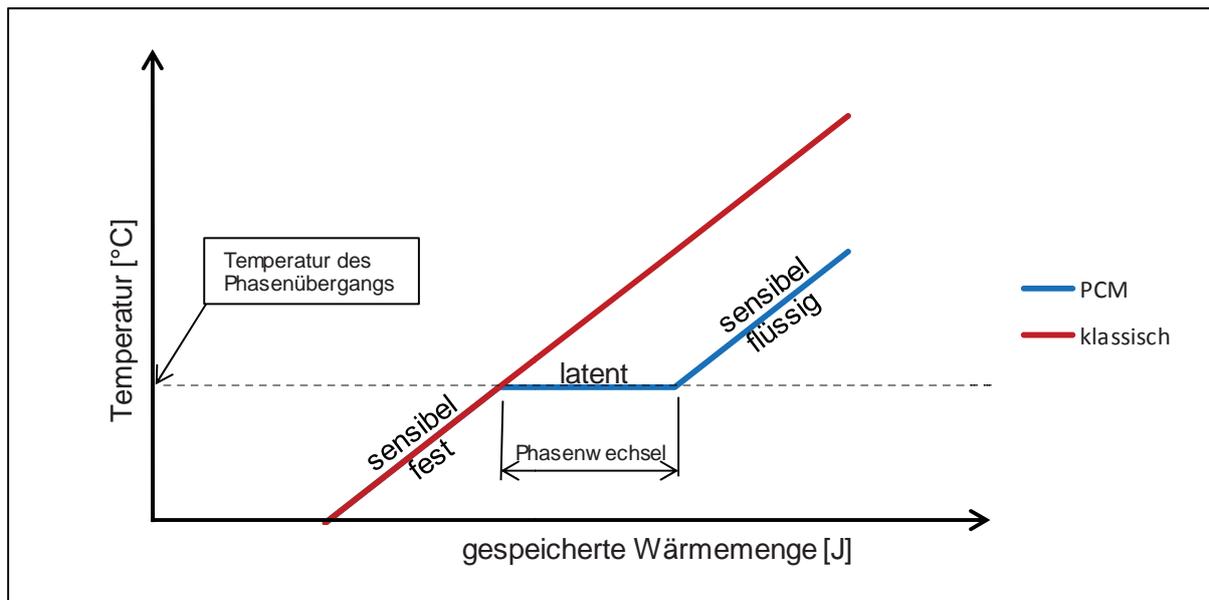


Abb. 2-3: Schematische Darstellung der Wärmeaufnahme von Materialien

2.4.1 Sensible Speicherung thermischer Energie

Als sensible Speicherung thermischer Energie bezeichnet man die speicherbare Energie in einem bestimmten Temperaturintervall ohne jegliche Phasenänderung des Mediums.

Die Wärmeaufnahmefähigkeit des Materials hängt von der Masse, der Temperaturdifferenz zur Umgebung und der spezifischen Wärmekapazität ab.

Bei der spezifischen Wärmekapazität „c“ handelt es sich um eine physikalische Größe. Diese beschreibt die zugeführte Wärmemenge „Q“ die benötigt wird um ein Kilogramm eines bestimmten Stoffes um ein Kelvin zu erwärmen. [2]

Die spezifische Wärmekapazität eines Feststoffes lässt sich wie folgt berechnen:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t} \left[\frac{J}{kgK} \right] \quad (\text{Formel 4})$$

c... spezifische Wärmekapazität [J/kgK]

Q... Wärmemenge [Joule]

m... Masse [kg]

Δt ... Temperaturdifferenz [K]

[2] Vgl. WILLEMS, W.: „Formeln und Tabellen Bauphysik, 2. aktual. und erweiterte Auflage“, Wiesbaden, Vieweg+Teubner, 2010

Anhand Abb. 2-4 soll die unterschiedlich hohe spezifische Wärmekapazität von Baumaterialien dargestellt werden.

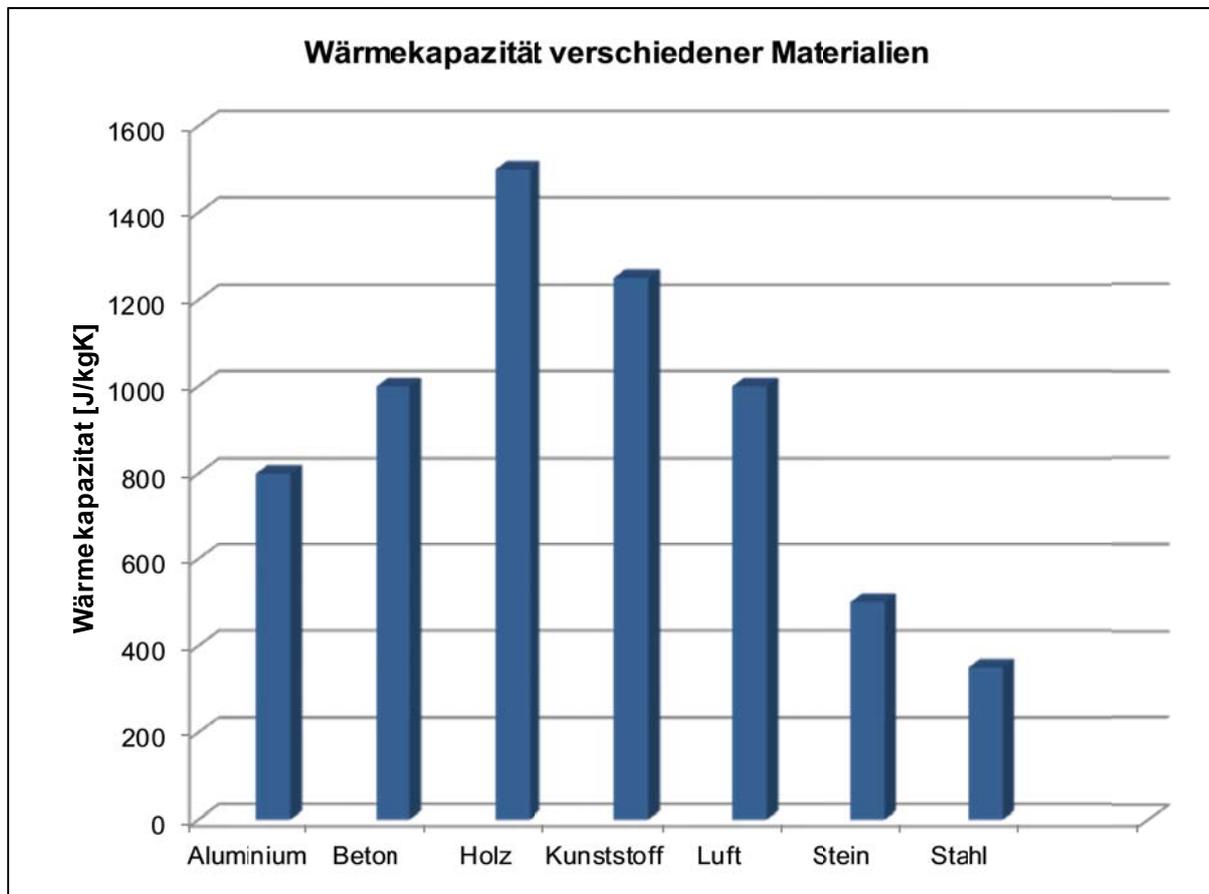


Abb. 2-4: Massenbezogene spezifische Wärmekapazität

2.4.2 Latente Speicherung thermischer Energie

Latentwärmespeicher funktionieren durch die Ausnutzung thermodynamischer Zustandsänderungen eines Speichermediums. Der Phasenübergang fest-flüssig bzw. flüssig-fest (Schmelzen/Erstarren) ist dabei das am häufigsten genutzte Prinzip.

Beim Aufladen kommerzieller Latentwärmespeicher werden meist spezielle Salze oder Paraffine als Speichermedium geschmolzen, die dabei sehr viel Wärmeenergie (Schmelzwärme) aufnehmen. Beim Erstarren des Speichermediums wird die latent gespeicherte Wärmemenge wieder abgegeben.

Bei jedem Phasenübergang wird eine bestimmte Wärmemenge zugeführt oder freigesetzt. Die Wärme ist nach dem Übertritt nicht im Stoff enthalten, sondern führt zu einer Änderung des Energiepotentials. Der Wechsel zwischen den verschiedenen Aggregatzuständen unterliegt bestimmten Übergangsbedingungen, die bei Reinstoffen aus Druck und Temperatur bestehen.

Die Wirkungsweise von Latentwärmespeicher lässt sich gut am Beispiel eines Eiswürfels erklären (siehe Abb. 2-5).

Im Wasser nimmt der Eiswürfel Wärme aus seiner Umgebung auf und kühlt den flüssigen Glaseinhalt. Umgekehrt gibt der Eiswürfel beim Erstarren im Eisfach diese Wärme wieder an die Umgebung ab. Während der Umwandlungsprozesse von fest-flüssig und flüssig-fest bleibt die Temperatur des Eiswürfels konstant bei 0°C .

Das Erstarren bzw. Gefrieren von Wasser beim Phasenübergang vom flüssigen Wasser zum festen Eis bei 0°C , setzt ungefähr so viel Wärme frei wie zum Erwärmen derselben Menge Wasser von 0°C auf 80°C benötigt wird. [3]



Abb. 2-5: Phasenumwandlung am Beispiel Wasser

Die gespeicherte Wärmemenge von Wasser, in Abhängigkeit des Aggregatzustandes, wird in Abb. 2-6 dargestellt.

- ✓ spezifische Wärmekapazität ca. $4,19 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
- ✓ Schmelzenthalpie $333 \text{ kJ}/\text{kg}$
- ✓ Verdampfungsenthalpie $2260 \text{ kJ}/\text{kg}$ [3]

Enthalpie ist ein Maß für die Energie eines thermodynamischen Systems in Abhängigkeit von Druck und Volumen. Die spezifische Phasenumwandlungsenthalpie ist im Vergleich zur spezifischen Wärmekapazität relativ hoch.

[3] Vgl. KRAFT, S.; KUHNERT, N.; UHLIG, G.: „Archplus Material“, Aachen, 12/2004

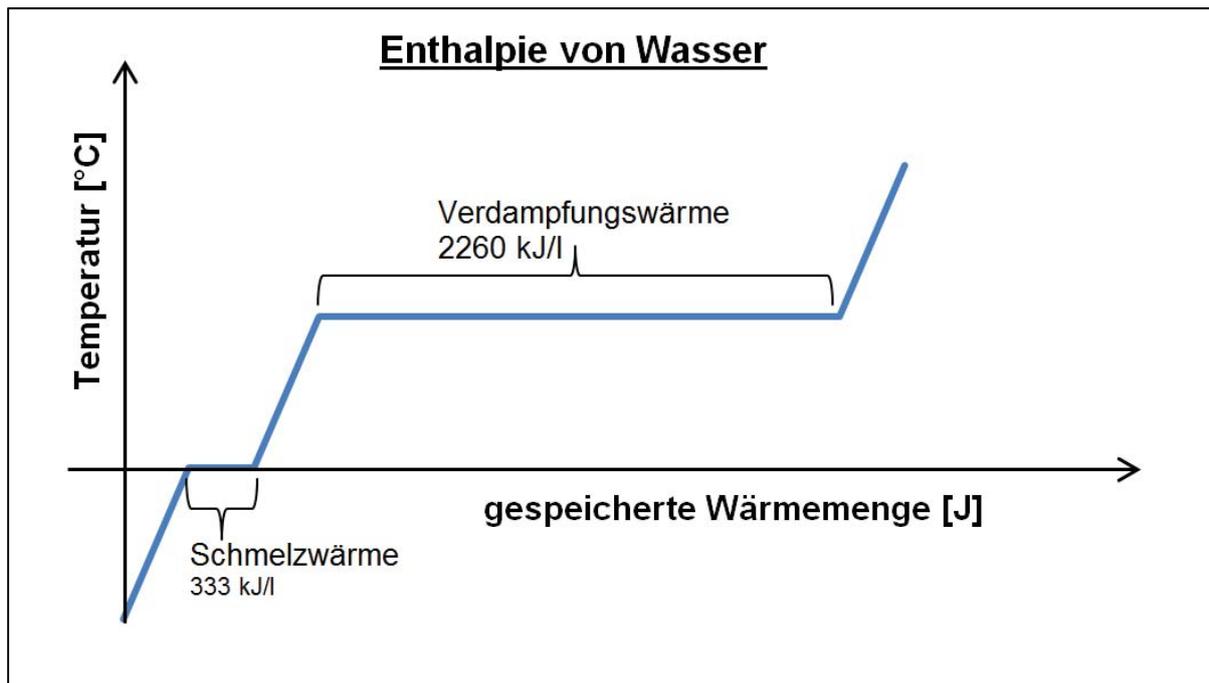


Abb. 2-6: Wärmezufuhr am Beispiel Wasser

2.5 Arten und Einteilung von Wärmespeicher

Materialien, die ihre Eigenschaften durch Energieaufnahme oder Abgabe verändern, jedoch durch diesen Vorgang nicht verbraucht werden, bezeichnet man als thermische Wärmespeicher. Im Gegensatz zu den chemischen Wärmespeichern, wie Öl oder Holz, die bei der Verbrennung verbraucht werden.

Generell dienen Wärmespeicher zur zeitlich versetzten Nutzung, wenn Wärmeeinfall und Wärmebedarf nicht zur gleichen Zeit stattfinden. [4]

Sowohl für die Speicherung von Wärme als auch für den Wärmetransport wird ein Medium benötigt, z.B. bei der Raumheizung das Wasser im Heizkreislauf.

Wärmespeicher werden in zwei Hauptgruppen unterteilt:

- Thermische Wärmespeicher
- Chemische Wärmespeicher

[4] Vgl. HOFMANN, A.: „Latentwärmespeicher für trassenlose Wärmeerzeugung“, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Berichte aus Energie und Umweltforschung, Wien, 2008

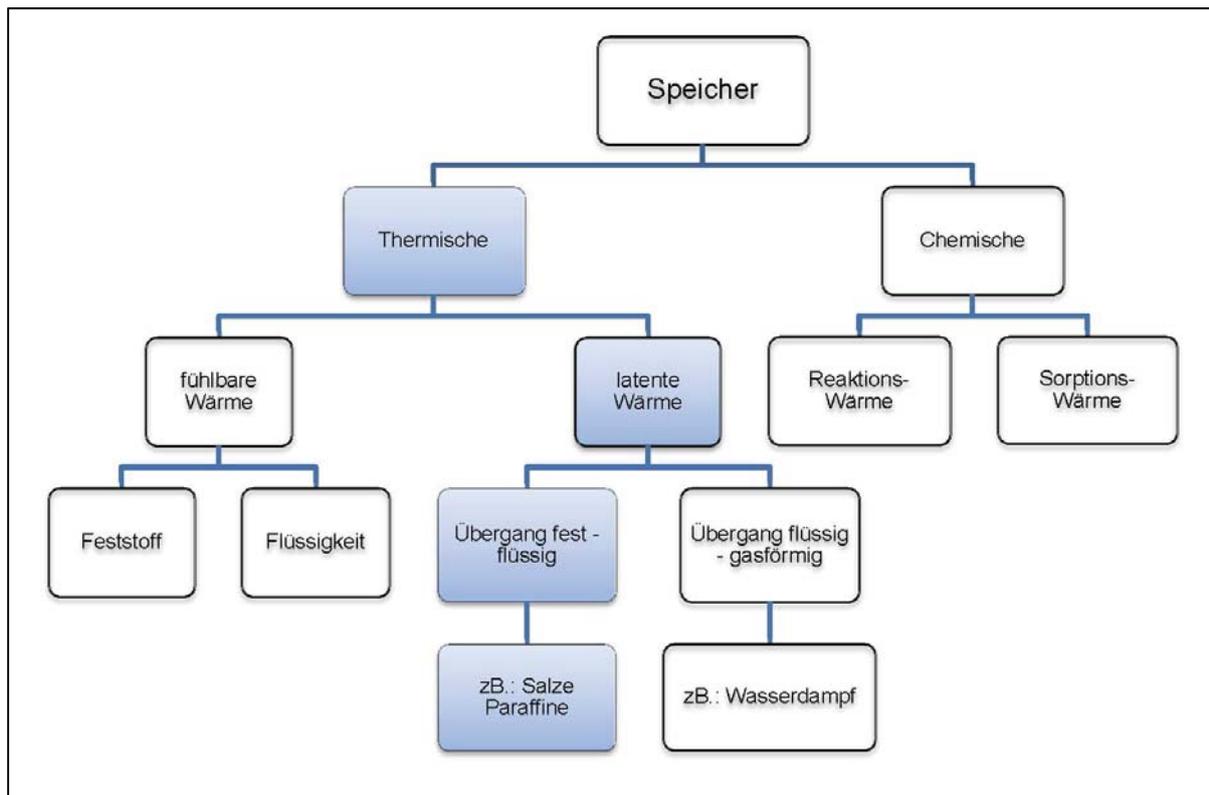


Abb. 2-7: Arten und Einteilung von Wärmespeicher

Zu den thermischen Speichern zählen Wasserspeicher oder Wasser-Kiesspeicher die als Pufferspeicher in Gebäudeheizanlagen dienen. Bei Latent-Wärmespeicher wird die Schmelz- oder Verdampfungswärme eines Mediums genutzt wobei die Wärmespeicherung und Wärmeabgabe bei nahezu demselben Temperaturniveau erfolgt.

Im Gegensatz dazu finden chemische Energiespeicher, welche in der Regel auf höheren Temperaturniveaus arbeiten, kaum Anwendung im Bereich der Wärmeversorgung von Gebäuden.

2.6 Latentwärmespeicher

Geeignete Materialien die als PCM eingesetzt werden, können in zwei Hauptgruppen unterteilt werden:

- organische PCM
- anorganische PCM

Zu den organischen PCM gehören vorwiegend Paraffine, Alkohole, Fettsäuren und deren Derivate.

Anorganische PCM bestehen hauptsächlich aus Salzhydraten und deren Mischungen.

2.6.1 Organische PCM

▪ Paraffine

Gewonnen werden Paraffine vorwiegend aus Rückständen bei der Erdölraffination, aber auch aus Braunkohle, Torfkohle oder bituminösem Schiefer. Sie bestehen aus einem Gemisch gesättigter Kohlenwasserstoffe (Alkane).

Nachfolgend werden die Vor- und Nachteile von Paraffin aufgelistet.

Vorteile von Paraffin:

- ✓ Höhere spezifische Schmelzwärme gegenüber Salzhydraten
- ✓ Enger Schmelzbereich
- ✓ Phasenstabilität
- ✓ Keine Unterkühlungseffekte
- ✓ Gute Erstarrungsrate
- ✓ Höhere spezifische Wärmekapazität gegenüber Salzhydraten
- ✓ Langzeitstabil durch geringere Reaktivität und niedrigen Dampfdruck
- ✓ Ungiftig und nicht umweltgefährdend

Nachteile von Paraffin:

- ✓ Geringere volumenbezogene Speicherdichte durch geringere Rohdichte
- ✓ Manche Paraffine weisen zwei Phasenübergänge auf
- ✓ Volumenänderung von etwa 10%
- ✓ brennbar

▪ Alkohole

Die Einsatzmöglichkeit von Alkoholen als PCM wurde an der Technischen Hochschule Aachen erforscht.

Aufgrund der Versuche erwies sich besonders Polyetherpolyol als geeignet, da es dem Paraffin hinsichtlich der thermischen und physikalisch-chemischen Eigenschaften ähnlich ist. Polyetherpolyol kann seine erwünschten Eigenschaften jedoch nur bei völligem Luftabschluss entfalten.

▪ Fettsäuren

Diese sind in ihren Eigenschaften ebenfalls dem Paraffin ähnlich. Einen Nachteil stellt die geringere Beständigkeit dar, zudem wurde ihre Einsatzmöglichkeit noch nicht ausreichend untersucht. [5]

[5] Vgl. CABEZA L.; HADORN, J. C.: "Storage techniques with Phase Change Materials", Thermal energy storage for solar and low energy buildings, Spain, 2005

2.6.2 Anorganische PCM

▪ Salzhydrate

Eine äußerst hohe Speicherdichte, bedingt durch ihre hohe Rohdichte besitzen Calciumchloridhexahydrat und Glaubersalz. Diese beiden Salze werden bereits verwendet und von verschiedenen Herstellern angeboten.

Nachstehend werden die Vor- und Nachteile von Salzhydraten aufgelistet.

Vorteile von Salzhydraten:

- ✓ Hohe Speicherdichte durch hohe Rohdichte
- ✓ Hohe spezifische Wärmekapazität zur Speicherung sensibler Wärme
- ✓ In der Regel eine hohe Schmelzwärme
- ✓ Nichtbrennbarkeit
- ✓ Niedrige Materialkosten

Nachteile von Salzhydraten:

- ✓ Die Erstarrungstemperatur ist geringer als die Schmelztemperatur, eine Unterkühlung ist möglich, kann jedoch durch so genanntes „Impfen“, wobei hinzugegebene Stoffe die Funktion der eigentlichen Erstarrungskeime übernehmen vermieden werden. [6]
- ✓ Keine Phasenstabilität
- ✓ Beschränkte Materialverträglichkeit durch Korrosivität
- ✓ Eingeschränkte Langzeitstabilität durch hohen Dampfdruck

Die hohe Speicherkapazität von Salzhydraten kann mit zunehmender Anzahl an Phasenwechselzyklen abnehmen. Nicht hydriertes Salz setzt sich aufgrund seiner höheren Dichte ab und nimmt anschließend nicht mehr am Phasenwechsel teil.

Eine kontinuierliche Senkung der Speicherkapazität wäre die Folge, dem kann jedoch durch zusätzliche Zugabe von Wasser entgegengewirkt werden. Damit soll sichergestellt sein, dass das gesamte Salz im Wasser aufgelöst wird. Weiters kann einer Entmischung entgegengewirkt werden, indem man bestimmte Stoffe beimengt, die das Absinken von Komponenten mit höherer Dichte verhindern. [7]

Bei Salzhydraten kann auch der unerwünschte Effekt der „Unterkühlung“ auftreten. Darunter versteht man die Temperaturdifferenz zwischen der idealen und der tatsächlichen Erstarrungstemperatur. Das Material kristallisiert beim Abkühlen nicht bei der Schmelztemperatur, sondern erst bei tieferen Temperaturen.

[6] Vgl. VÖLKER, C.: „Untersuchung hinsichtlich des Einflusses von PCM auf die Raumtemperatur“, Diplomarbeit an der Bauhaus Universität Weimar, 2005

[7] Vgl. STREICHER, W.: „Fortschrittliche Wärmespeicher“, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Berichte aus Energie und Umweltforschung, Wien, 2007

Jener nachteiligen Eigenschaft kann man durch Beimischung von Keimbildnern gegensteuern, deren Schmelztemperatur über der des Latentwärmespeichers liegen muss.

Unterkühlung steht im direkten Zusammenhang mit der Kristallisationsgeschwindigkeit und wirkt sich auf die Entladezeit des Speichers aus.

Dabei gilt folgende Gesetzmäßigkeit:

„Je höher die Kristallisationsgeschwindigkeit, desto kürzer die Entladezeit“. [8]

2.7 Latentwärmespeicher – Einsatz in der Praxis

Für den Einsatz in der Praxis werden folgende Anforderungen an den Baustoff gestellt:

Der Schmelzpunkt muss in einem baupraktisch relevanten Bereich liegen, die Phasenwechselmaterialien (PCM) dürfen durch keine thermischen Barrieren behindert werden, d.h. die Raumluft muss mit der Oberfläche in direktem Kontakt stehen. Zusätzlich zu diesen Grundbedingungen soll das geschmolzene PCM keine Baustoffe durchfeuchten.

Mikroverkapselte Paraffine als Teil von Gipsputzen oder Gipsbauplatten erfüllen diese Anforderungen und lassen sich in fertigen Produkten wie konventionelle Putze bzw. Bauplatten verarbeiten. [9]

▪ PCM-Produkte die sich derzeit am Markt befinden:

- ✓ Porenbetonstein „CelBloc Plus“ von H+H Deutschland GmbH
- ✓ Knauf Comfortboard
- ✓ Rigips® Alba balance Gipsbauplatte
- ✓ DuPond™ Energain®
- ✓ BioPCM™ Mats
- ✓ Lehmbauplatte mit Latentwärmespeicher
- ✓ Kühldeckensystem „Ilkatherm“

Es handelt sich dabei um mikroskopisch kleine Kunststoffkugeln, die in ihrem Kern ein Speichermedium enthalten.

- ✓ Steigt die Temperatur über die Schalttemperatur, schmilzt das Wachs in den Speicherkapseln und nimmt Wärme auf.
- ✓ Durch Abkühlung unter die Schalttemperatur erstarrt das Wachs und gibt Wärme ab.

[8] Vgl. LEONARD, J.: „Phase Change Materials“, Bachelorarbeit FH-Joanneum, Graz, 2006

[9] Vgl. SCHNIEDERS, J.: „Einfluss von Wärmedämmung und Phasenwechselmaterialien auf den Energiebedarf und CO₂-Ausstoß in verschiedenen europäischen Klimata“, Passiv-Haus Institut, Darmstadt, 2006

Diese „versteckt“ gespeicherte Wärme in der Phasenumwandlung wird als „latente Wärme“ bezeichnet. Es handelt sich hierbei um einen reversiblen Vorgang im Schmelzbereich des Wachses.

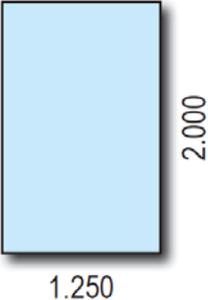
Während der Phasenumwandlung bleibt die Temperatur nahezu konstant.

Unter der Voraussetzung, dass für nächtliches Abführen der Wärme per Nachtlüftung gesorgt wird, stellt sich eine gleichmäßigere Raumtemperatur ein und Temperaturspitzen können somit abgefangen werden.

Durch die weitgehend passiv herbeigeführte Stabilisierung der Raumtemperaturen ergeben sich speziell beim sommerlichen Wärmeschutz vielfältige Anwendungsmöglichkeiten.

Nachfolgend wird das Produkt „KNAUF Comfortboard“ in einer Anwendung für die Klimatisierungsunterstützung in einem Bürogebäude untersucht. Diese 12,5 mm dicke Gipsbauplatte enthält 26 Prozent Masseanteil an microverkapselten Paraffinen, welche eine latente Wärmekapazität von ca. 330 kJ/m² besitzt.

Laut Herstellerangaben ist die Wärmespeicherkapazität des Comfortboards mit einem 135 mm dicken Wärmedämmziegel oder einem 80 mm dicken Kalksandstein vergleichbar. [10]

KNAUF Comfortboard		[...]
<p>■ Plattenformat (in mm):</p> 	Schalttemperatur:	23 °C
	Latente Wärmekapazität ΔH:	ca. 200 kJ/m ²
	Spez. Wärmekapazität c:	ca. 1,18 kJ/kgK
	Wärmeleitfähigkeit λ:	ca. 0,23 W/mK
	Platten-Dicke, -Breite, -Länge:	12,5/1250/2000 mm
	Plattengewicht:	ca. 11,0 kg/m ²

Tab. 2-1: Technische Daten KNAUF Comfortboard [10]

[10] Vgl. <http://www.knauf.ch/content.cfm?nav=39&content=796>, (10.05.2013)

3 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, Simulationsprogramme hinsichtlich ihrer Rechengenauigkeit zu überprüfen sowie die Berechnung von „Phase-change materials“ (PCM) anhand eines Praxisbeispiels und dem damit verbundenen Energieeinsparungspotential darzustellen.

Bevor jedoch eine solche Simulation durchgeführt wird, sollte eine Überprüfung der Software auf Ihre Tauglichkeit zur Berechnung durchgeführt werden, da nicht automatisch jedes Simulationsprogramm für die Ermittlung der gewünschten Ausgabewerte geeignet ist.

Die Berechnung der Testbeispiele ohne Einsatz von PCM und der Vergleich der Ergebnisse dienen der Verifizierung der getesteten Funktionen bei den angegebenen Randbedingungen. Programmierfehler im Simulationsprogramm, die eventuell bei anderen Randbedingungen auftreten, können damit nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Um die Fähigkeit der Berechnungs-Software zu bewerten gibt es eine Reihe von Standards und Validierungsmöglichkeiten.

- ASHRAE (advancing HVAC to serve humanity and promote a sustainable world)
- BESTEST (Building Energy Simulation Test)
- ÖNORM EN 15265, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heiz- und Kühlenergieverbrauchs - Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren
- VDI Richtlinie 6020, Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation

Der normgerechte Nachweis über die Rechengenauigkeit der Software ist von jedem/jeder AnwenderIn sicherzustellen, da diese Verantwortung von den Softwareherstellern nur selten oder gar nicht übernommen wird.

Simulationsprogramme sollten dem/der AnwenderIn die erforderlichen Eingaben dieser Testverfahren ermöglichen und nach Abschluss der Validierung die Funktionssicherheit und Rechengenauigkeit der Software garantieren.

Am Beginn einer solchen Validierung steht die Auseinandersetzung mit sämtlichen Berechnungsparametern, in weiterer Folge dann die Modellierung der einzelnen Klimazonen und deren angrenzenden Umgebungen. Dazu gehört die Eingabe konstanter und variabler Parameter.

- Konstante Parameter
 - Raumgeometrie und Schichtaufbau der Bauteile,
 - Randbedingungen an Grenzflächen,
 - thermisch und optische Eigenschaften von transparenten Bauteilen
- Variable Parameter
 - äußere Lasten (Wetterdaten),
 - innere Wärmequellen,
 - Sonnenschutz und Klimatisierung

Nach erfolgter Berechnung und Auswertung kann eine Untersuchung der Ergebnisse durch Vergleiche mit den geprüften Testbeispielen vorgenommen werden (Validierung). Durch dieses Überprüfungsverfahren kann eine Aussage über die Eignung der Software hinsichtlich thermisch-energetischer Gebäudesimulation erfolgen. Die Beurteilung erfolgt anhand einer Gegenüberstellung der Ergebnisse mit der zulässigen Abweichung der Referenzberechnung. (z.B. ÖNORM EN 15265 (2007) Einteilung in Stufe A, B oder C).

Wenn das Simulationsprogramm die Mindestanforderungen (Level C) erfüllt wird die Software auch auf die Tauglichkeit zur Berechnung von PCM an einem Praxis-Beispiel getestet und das Energieeinsparungspotential von PCM im Vergleich zu herkömmlichen Baustoffen dargestellt.

Abgesehen von den ökonomischen Gesichtspunkten rückt der Aspekt der Behaglichkeit zunehmend in den Vordergrund, welcher durch den Nachweis der Vermeidung sommerlicher Überwärmung nach ÖNORM B8110 Teil 3 (1999-12-01) zu erfüllen ist.

Dieser Nachweis kann für Wohngebäude nach dem „vereinfachten Verfahren“ gemäß ÖNORM B 8110-3 (2013) anhand mindesterforderlicher, wirksamer Speichermassen in Abhängigkeit des Luftvolumenstroms berechnet werden. Für Nicht-Wohngebäude muss der Nachweis durch Raumklima-Simulationen belegt werden.

Der positive Nachweis ist durch die zeitgenössische puristische Architektur (Öffnung der raumumschließenden Wände, Einsatz großer Glasflächen) oft schwer zu erfüllen, kann allerdings in kritischen Gebäudezonen durch den Einsatz von PCM erreicht werden. Hierbei ist jedoch immer zu beachten, dass die Vorteile des Einsatzes von PCM mit höheren Baukosten verbunden sind.

Aufgrund der Mehrkosten von PCM gegenüber herkömmlichen Baustoffen wird eine Amortisationszeitberechnung durchgeführt, welche einen Aufschluss über die Wirtschaftlichkeit liefert.

4 Thermische Gebäudesimulation: Stand der Technik und Wissenschaft

Mit der thermischen Gebäudesimulation wird sowohl beim Neubau von Gebäuden als auch bei der Sanierung von Objekten bereits in der frühen Phase der Planung die thermische Behaglichkeit und die energetische Funktionsfähigkeit des Gebäudes sowie der Klimatechnik berechenbar.

Ein schonender Umgang mit den Ressourcen ist überlebensnotwendig und scheint sich in den meisten Industrieländern auch endlich durchzusetzen. Dies wird letztendlich auch durch die Nachfrage nach energieeffizienten Gebäuden bestätigt, welche bereits vorhanden ist und zukünftig noch deutlicher ansteigen wird.

Unter dem Begriff „Green Building“ findet man internationale als auch nationale Vereinigungen die es sich zur Aufgabe gemacht haben den Gesamtzustand eines Gebäudes in Punkto Energieverbrauch (CO₂-Verbrauch) vom Abbau und Transport der Materialien, während der Nutzung bis zum Recycling, also über den gesamten Lebenszyklus zu betrachten und dahingehend auszuzeichnen.

- LEED (United States of Amerika)
- BREEAM (Großbritannien, EU)
- DGNB (Deutschland)
- ÖGNI (Österreich)

In der Gebäudezertifizierung (Green Building) ist die Ermittlung des Gesamtenergieverbrauchs durch thermische Gebäudesimulation ein vorgeschriebenes Kriterium zum Erreichen der begehrten Labels. Das amerikanische LEED-Label wird in vier unterschiedlichen Kategorien „Zertifikat, Silber, Gold oder Platin“ ausgestellt (siehe Abb. 4-1).



Abb. 4-1: Gebäudezertifizierungslabel am Beispiel LEED [11]

[11] <http://greenwisestrategies.com/sustainability-leed/what-is-leed> (27.04.2014)

Der zusätzliche Aufwand und die teilweise höheren Baukosten rechtfertigen sich gegenüber den Investoren durch geringere Betriebskosten. Außerdem entsteht durch die Zertifizierung ein Image-Gewinn unter dem Leitgedanken der Nachhaltigkeit. Darunter versteht man den verantwortungsvollen Umgang mit den Ressourcen in wirtschaftlicher und umwelttechnischer Hinsicht.

Durch die Anordnung großer Glasflächen in der Gebäudehülle und/oder gleichzeitig auftretender hoher interner Lasten entstehen oft problematische Raumklimaverhältnisse. Dass Energieeffizienz nicht zwangsläufig im Widerspruch zu gestalterischer Qualität steht, wird inzwischen durch viele positive Beispiele belegt.

Die laufende Weiterentwicklung der gesetzlichen Normen und Verordnungen verleiht der bauphysikalischen Bewertung von Bauwerken eine zunehmend gewichtige Rolle. Neben dem Bestreben nach geringem Energieverbrauch und Kostenoptimierung wird die Gewährleistung optimaler raumklimatischer Verhältnisse mit Hilfe der dynamischen Gebäudesimulation erzielt. Dabei werden verschiedene Betriebszustände, Ausführungsvarianten der Gebäudehülle und technischen HLK-Anlagen (Heizung, Lüftung, Kühlung) simuliert.

Die Erkenntnisse über den Einfluss von bauphysikalischen oder haustechnischen Maßnahmen stellen ein wichtiges Hilfsmittel zur energetischen Optimierung von Bauwerken dar.

Während der Planungsphase von Bauprojekten werden dabei folgende Einflüsse untersucht:

- Vermeidung sommerlicher Überhitzung
- Fensterlüftung
- Effiziente mechanische Belüftung
- Betonkernaktivierung
- Doppelglasfassaden

Im Gegensatz zum heutigen Stand der Technik sollen zukünftige Simulationsprogramme komplexere Regelungsstrategien ermöglichen.

Unter dem Begriff „Building Information Modeling“ (BIM) wird mit Hilfe von EDV Programmen eine optimierte, rationellere, disziplinenübergreifende Projektbearbeitung angestrebt.

Die thermische Gebäudesimulation soll dabei in der Planung, Ausführung und Bewirtschaftung von Gebäuden eingesetzt zu werden.

5 Vergleich von thermischen Simulationsprogrammen

In der thermisch energetischen Gebäudesimulation wurde in den vergangenen Jahrzehnten eine Vielzahl von Programmen entwickelt und stetig verbessert.

Dienten sie am Anfang lediglich dazu, Aussagen über die auftretenden Temperaturen in den einzelnen Gebäudezonen zu treffen, so werden mittlerweile komplexe Regelsysteme von Sonnenschutzeinrichtungen oder Kühlsystemen optimiert.

Der Aufbau eines üblichen Simulationsmodelles lässt sich stark vereinfacht wie folgt darstellen:

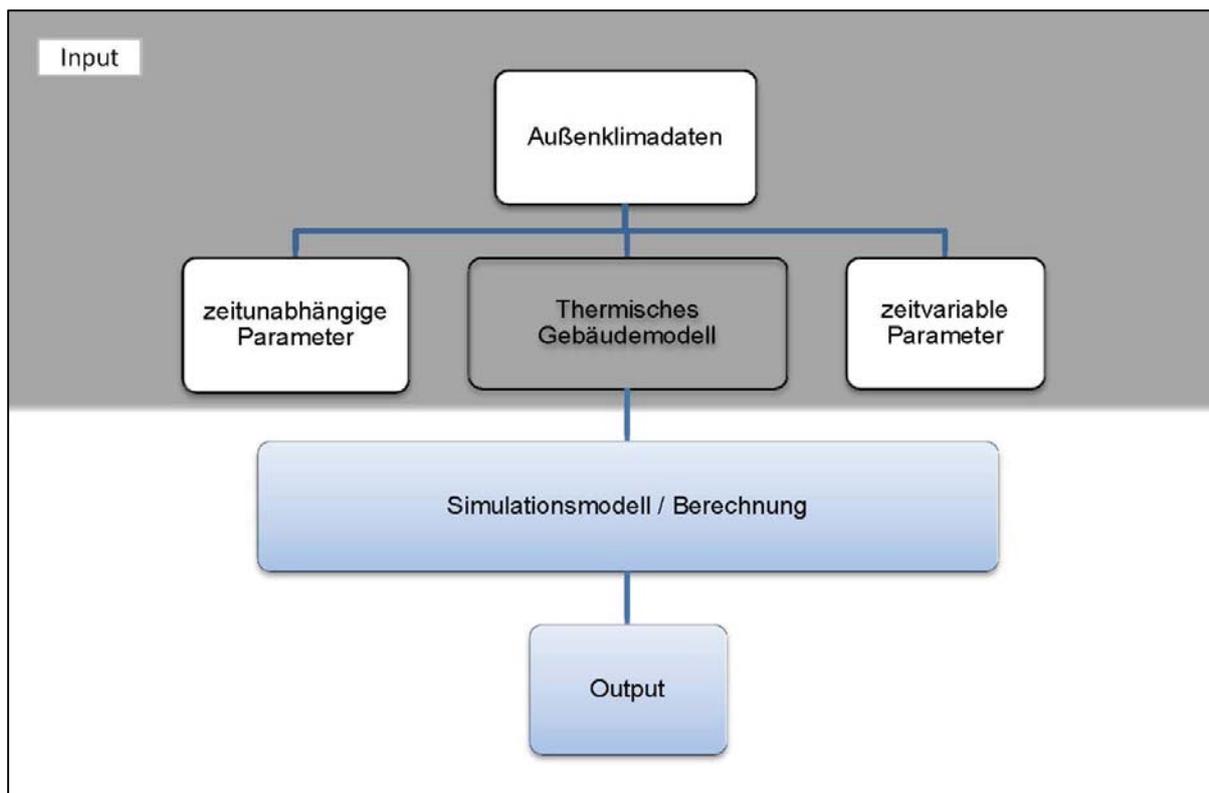


Abb. 5-1: Schematischer Aufbau eines Simulationsmodelles

5.1 Simulationssoftware – Auseinandersetzung mit verschiedenen Programmen

Die überwiegende Mehrheit der Simulations-Programme stammt aus den Vereinigten Staaten von Amerika, welche durch Unterstützung des U.S. Department of Energy (DOE) entwickelt wurden.

Darunter findet man sowohl eine Vielzahl an „Freeware“ Programme, die meist durch öffentliche Einrichtungen finanziert werden, als auch Software die von Konzernen zur Verfügung gestellt wird um ihre Produkte besser zu vermarkten.

Hierbei gilt zu beachten, dass die Eingabemöglichkeiten und Funktionen dieser Software meist auf deren spezielle Anforderungen beschränkt sind.

Eine Auflistung des DOE (DOE, 2011) enthält umfangreiche Informationen zu mehr als 400 Simulationsprogrammen. Die Anzahl der deutschsprachigen Software, die nach europäischen Standards validiert wurde oder von Produktherstellern zur Verfügung gestellt werden, ist hingegen vergleichsweise gering.

Nachfolgend werden die Grundfunktionen von häufig verwendeten Gebäude-Simulationsprogrammen aufgelistet:

▪ DesignBuilder [12]



- ✓ Untersuchung und Beurteilung verschiedener Fassadensysteme in Hinsicht auf Überhitzung und Energieverbrauch
- ✓ Tageslichtberechnung und Berechnung von elektrischer Beleuchtung
- ✓ Visualisierung von Anlagen und deren solarer Abschattung
- ✓ Thermische Simulation des natürlich belüfteten Gebäudes
- ✓ Dimensionierung von Heizung, Lüftung und Klimatechnik
- ✓ Phase-change materials
- ✓ Photovoltaikanlagen

▪ EnergyPlus [13]



- ✓ Dimensionierung von Heizung, Kühlung, Beleuchtung und Belüftung
- ✓ Bedarfsberechnung von Nutzwasser
- ✓ Berechnung des Energieverbrauches
- ✓ Mehrzonen Luftstromberechnung
- ✓ Thermische Behaglichkeit
- ✓ Wärmebilanzbasierte Anlagensimulation
- ✓ Photovoltaikanlagen

[12] <http://www.designbuilder.co.uk/content/view/43/64/> (27.04.2014)

[13] http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm (27.04.2014)

▪ GEBSIMU [14]



- ✓ Berechnung der Heiz- bzw. Kühllast, aufgeteilt in:
 - konvektiven Anteil
 - strahlenden Anteil
- ✓ Flächenheizung bzw. -kühlung
- ✓ Berechnung der Temperaturen:
 - Raumlufttemperatur
 - mittlere Wandoberflächentemperatur

▪ PCM express [15]



- ✓ Häufigkeitsverteilung der Raumtemperaturen
- ✓ Tagesverläufe mit größtem PCM-Effekten
- ✓ Heiz- und Kühlenergieberechnung
- ✓ Bewertung zur Wirtschaftlichkeitsberechnung

▪ TRNSYS [16]



- ✓ Solaranlagen (thermische Solaranlagen und Photovoltaik)
- ✓ Mehrzonenluftstromberechnung
- ✓ Niedrigenergiehäuser und HLK Anlagen
- ✓ Erneuerbare Energiesysteme
- ✓ Kraft-Wärme-Kopplung
- ✓ Brennstoffzellen

[14] <http://www.gebsimu.de/> (27.04.2014)

[15] <http://www.valentin-software.com/produkte/pcm/58/pcm-express> (27.04.2014)

[16] http://www.transsolar.com/__software/docs/trnsys/trnsys_uebersicht_de.htm (27.04.2014)

- WUFI Plus [17]



- ✓ Gebäudehülle mit Fenstern, inneren Lasten, Lüftung
- ✓ Soll- und Regelwerte der vorhandenen Anlagentechnik
- ✓ Gebäudeenergiebedarf
- ✓ raumklimatische Verhältnisse
- ✓ Temperatur- und Feuchteverhalten der Bauteile

5.2 Entscheidungshilfe - Einsatz von Simulationsprogrammen

5.2.1 Funktionen der Software

Simulationssoftware / Entscheidungsmatrix	Mindest-anforderung	Programmname		
			:	:
Anwendung / Funktion				
CO2 Ausstoß				
Energiekostenberechnung				
Erneuerbare Energie				
Geometrische Modellierung	x		x	x
HLK Anlagensimulation	x		x	
Import-, Exportmöglichkeiten (Schnittstelle)				
Lifecyclecost Analyse				
Natürliche Belüftung	x		x	
Raumluftqualität	x		x	x
Schrittzeit Simulation	x		x	
Tageslichtberechnung				
Verfügbarkeit von Klimadaten	x		x	
Wärmegewinn-, Verlustberechnung	x		x	x
wärmetechnisches Verhalten	x		x	x
...				
Mindestanforderung erfüllt: ja/nein			ja	nein

Tab. 5-1: Simulationssoftware-Entscheidungsmatrix

[17]<http://www.wufi.de/> (27.04.2014)

Eine Gegenüberstellung der Hauptfunktionen soll als Entscheidungshilfe vor dem Einsatz der Software dienen, wobei zuerst die Mindestanforderungen zu definieren sind, ehe man nach dem Ausschlussverfahren die Anzahl der geeigneten Programme eingrenzt (siehe Tab. 5-1).

5.2.2 Abweichungen auf Basis des Rechenalgorithmus

In unterschiedlichen Software-Programmen kann es zu Abweichungen der Ergebnisse bei der Berechnung identischer Aufgabenstellungen kommen, daher müssen diese Simulationsprogramme vor ihrem produktiven Einsatz getestet werden, um die Algorithmen auf ihre Korrektheit und Rechengenauigkeit zu überprüfen.

Die Intention der Hersteller ist dabei die Minimierung bzw. der Ausschluss von Programmfehlern wozu zahlreiche analytische und vergleichende Tests durchgeführt werden.

Validierungsverfahren für thermische Gebäudesimulationsprogramme:

- ANSI/ASHRAE Standard
- BESTest (Building Energy Simulation Test)
- ÖNORM EN 15255
- ÖNORM EN 15265
- VDI 2078
- VDI 6007
- VDI 6020

5.2.3 Erzielbarer Nutzungskomfort – Testberechnungen

Je nach Anwendungsfall stehen dem/der AnwenderIn eine Vielzahl verschiedener, mehr oder weniger spezialisierter Simulations- und Berechnungsprogramme zur Verfügung mit deren Hilfe qualitative Aussagen über den Nutzungskomfort getroffen werden können. Für den Vergleich der Testberechnungen nach VDI 6020 wurden folgende Programme verwendet:

- DOE-2 Version 2.1E
- DS-THERM Version 3.26
- GEBSIMU Version 4.32
- TAS Version 8.0
- TRNSYS Version 14.2, Update 12/98

Anhand dieser Testberechnungen kann der Programmkern einer Simulationssoftware bezüglich des thermischen Raumverhaltens in deren Grundfunktionen getestet werden. Die nachfolgende Abbildung soll zeigen, dass die Ergebnisse nicht zwingend übereinstimmen müssen, sondern eine gewisse Abweichung üblich ist.

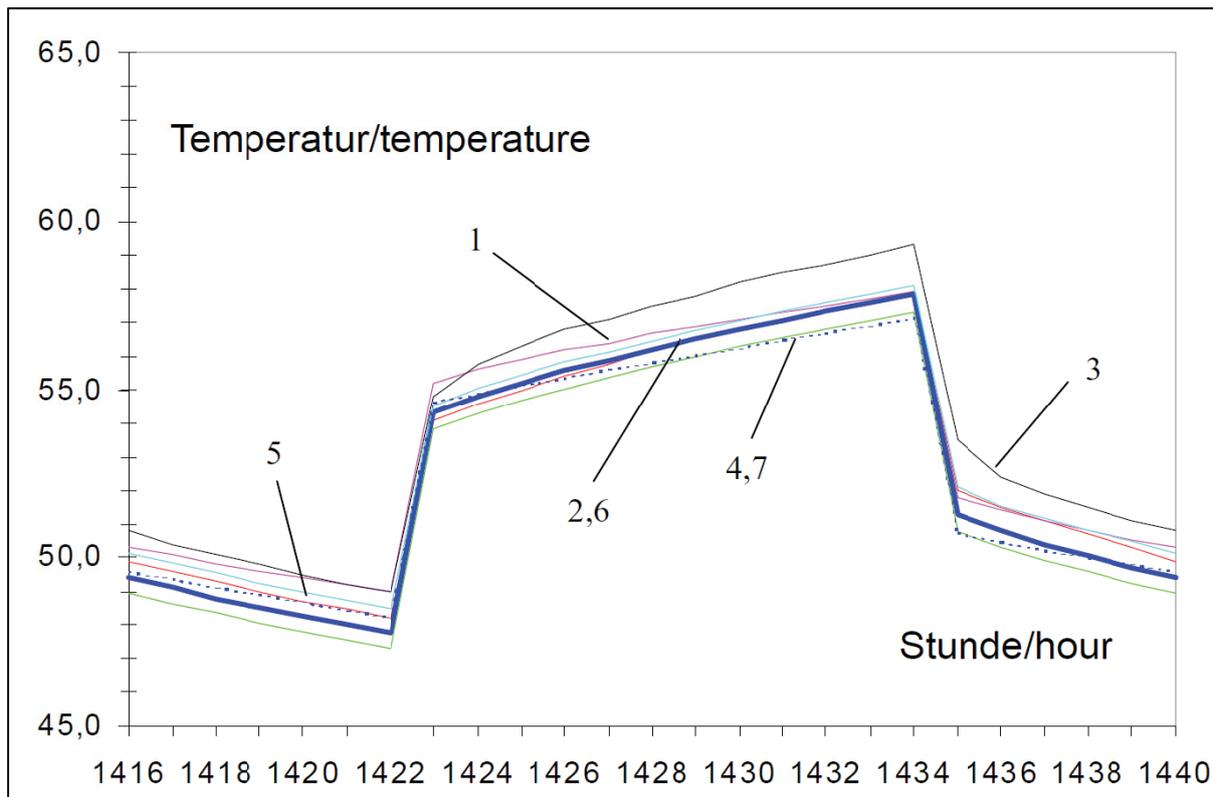


Abb. 5-2: Ergebnis der Beispielberechnung nach VDI 6020 [18]

5.2.4 Weitere Beurteilungsparameter

In weiterer Folge wurden die Beispiele auch einer experimentellen Analyse auf Grundlage des Beuken-Modells mit Hilfe eines Schaltkreis-Analyseprogramms und mit dem Zwei-Kapazitäten-Modell unterzogen. Der Aufbau und die Funktionsweise dieser Modelle werden nachfolgend erläutert.

Beim Beuken-Modell handelt es sich um ein elektrisches Analogiemodell welches die Wärmeleitung in festen Körpern und die Vorgänge in einem idealisierten elektrischen Kabel anhand ähnlicher Differentialgleichungen beschreibt (siehe Abb. 5-3).

Als Ausgangspunkt dient die eindimensionale dynamische Wärmeleitungsgleichung, deren gesuchte Lösung die Randbedingungen an den Wandoberflächen erfüllen muss.

Temperatur, Wärmestrom, Wärmedurchlasswiderstand und die thermische Speicherfähigkeit des Bauteils werden darin durch die Spannung des elektrischen Stroms, einen ohmschen Widerstand sowie die elektrische Kapazität ersetzt.

Rouvel (Prof. Dr.-Ing. habil. Lothar Rouvel, Technische Universität München) hat sich mit den Berechnungsverfahren zum instationären thermischen Gebäudeverhalten beschäftigt

[18] Verein deutscher Ingenieure: „VDI 6020 - Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation Gebäudesimulation“, 05/2001

und die Testbeispiele der VDI 6020 mit dem Beuken-Modell als auch mit dem nach dem 2-K-Modell arbeitenden Gebäudesimulationsprogramm GEBSIMU verglichen.

Das Programm „Thermische Gebäudesimulation GEBSIMU“ wurde bereits Anfang der 1970er Jahre entwickelt und wird nun unter dem Betriebssystem Windows ausgeführt. Zu den besonderen Eigenschaften zählen die komfortable und zeitsparende Eingabe sowie eine umfangreiche Plausibilitätsprüfung. GEBSIMU ist validiert nach VDI 6020-1, VDI 6007-1, VDI 2078 und ASHRAE 140 (BESTEST).

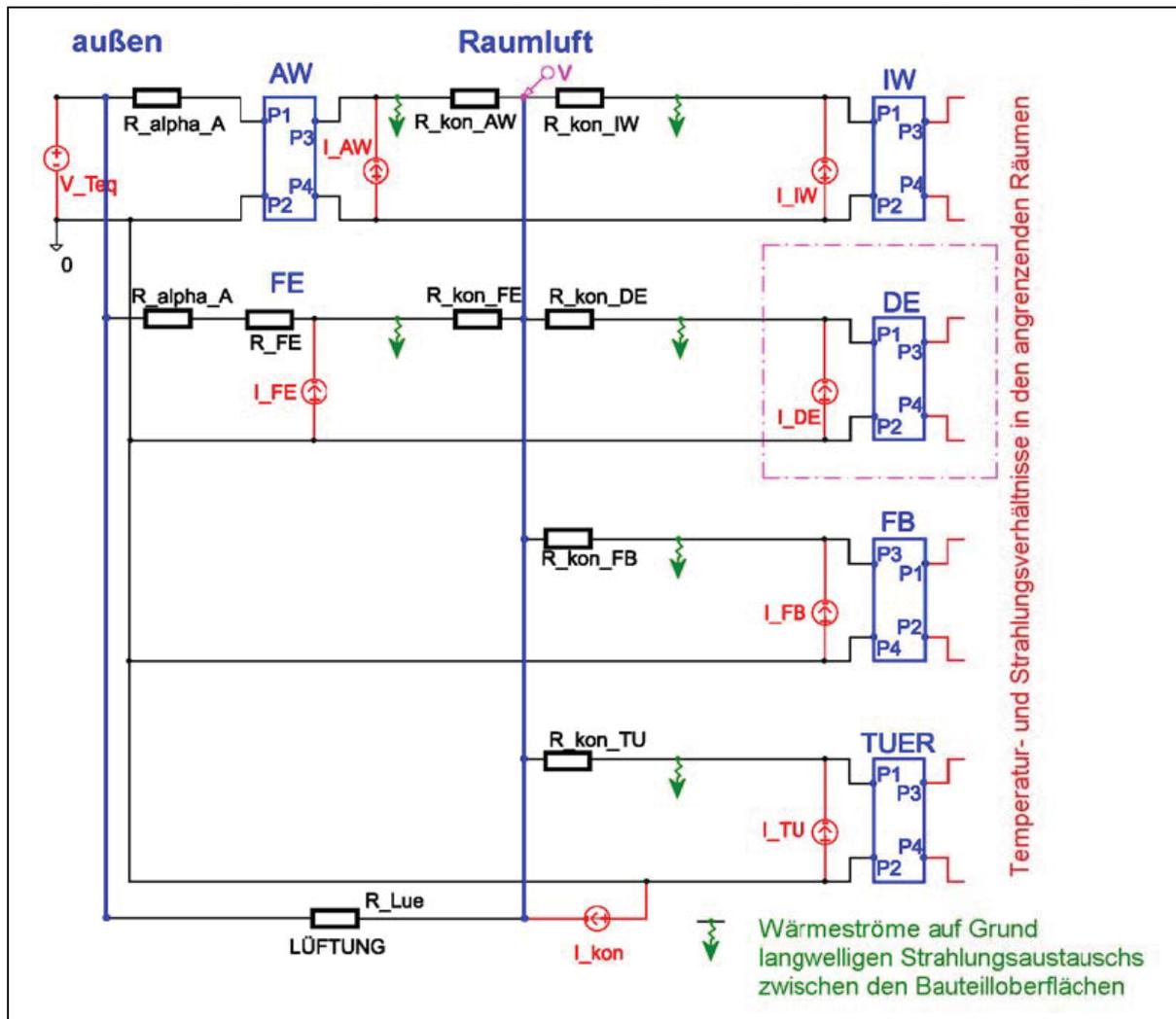


Abb. 5-3: Schematisch elektrisches Schaltbild mit dem Beuken-Modell [19]

[19] Vgl. ROUVEL, Lothar: „Thermische Gebäudesimulation GEBSIMU“, München, 2011

6 Überprüfung der Tauglichkeit zur Berechnung von „phase-change-materials“

6.1.1 Überprüfung auf PCM-Tauglichkeit (Literatur)

Seit der Implementierung von PCM in Baustoffen beschäftigen sich einige Programmhersteller mit der Programmierung von Anwendungen (Tools) die eine Berechnung von latenter Wärmespeicherung ermöglichen. Dabei werden die speziellen Eigenschaften bezüglich der Speicherung und Abgabe von latenter Wärmeenergie berücksichtigt.

Eine dementsprechende Möglichkeit die Richtigkeit der Berechnungsergebnisse zu überprüfen gibt es jedoch noch nicht. D.h. die Grundfunktionen dieser Algorithmen können mit den derzeit zu Verfügung stehenden Standard-Validierungsverfahren nicht überprüft werden. Momentan erfolgen diese Überprüfungen im Zuge von Forschungsprojekten mit begleitenden thermischen Simulationen. Außerdem wird die Genauigkeit durch den Vergleich der Berechnungsergebnisse unterschiedlicher Simulationsprogramme analysiert.

Die nachfolgende Tabelle liefert eine Übersicht, welche Programme prinzipiell in der Lage sind PCM in der Gebäudesimulation zu berücksichtigen, gibt allerdings keinen Aufschluss darüber welche hierzu am geeignetsten sind (siehe Abb. 6-1).

Tabelle 6 - PCM Tauglichkeit	APACHE	BDA	BLAST	Bsim	DesignBuilder	DEST	DOE-2	ECOTECT	EnergyPlus	ESP-r	IDA ICE	PCMexpress	SUNREL	TAS	TRNSYS
PCM Tauglichkeit; PCM capable															
Funktion / Eigenschaft voll verfügbar und in allgemeiner Verwendung				x								x	x		x
Funktion / Eigenschaft teilweise verfügbar							x		x	x					
Optionale Funktion - nicht in der Standardversion enthalten						x					x			x	
Funktion nicht verfügbar					x										
Nicht bekannt oder keine Angabe	*IA	*kA	x					*kA							

*kA ... keine näheren Informationen seitens der Programmhersteller erhalten

Abb. 6-1: Tauglichkeit für das Simulieren von PCM [20]

Diese Aufstellung in Abb. 6-1 ist der genannten Forschungsarbeit von 2011 entnommen und ist aufgrund der zügigen Weiterentwicklung der Simulationsprogramme nicht auf Letztstand. Folglich dient diese nur als Übersicht über die Entwicklung PCM-tauglicher Simulationsprogramme. In Folge der rasanten Weiterentwicklung diverser Simulationsprogramme können Literaturquellen lediglich eine Hilfestellung bei der

[20] TOURSOUGAS, Konstantin: „Diplomarbeit - Thermische Simulationen in der Fassadentechnik im Rahmen des LQG-Projektes“, Graz, FH Joanneum, 2011

Auseinandersetzung mit der Thematik der Gebäudesimulation bieten, sind jedoch zu einer Beurteilung nach aktuellem Stand der Technik gänzlich ungeeignet.

Als Beispiel für die Weiterentwicklung ist festzuhalten, dass bei der Erstellung der oben abgebildeten Tabelle für das Programm DesignBuilder noch kein PCM Tool zur Verfügung stand, dieses wird aber spätestens seit Version 3.2 bereits standardmäßig mitgeliefert.

Es ist also auch hier empfehlenswert eine aktuelle Aufstellung über die Tauglichkeit zur Berechnung von PCM zu erstellen und zuvor die Mindestanforderungen für die Entscheidungsfindung zu definieren (siehe Abb. 6-2).

Eine Rubrik über die Form der Verfügbarkeit kann bei der Entscheidungsfindung für den Kauf hilfreich sein und ebenfalls in der Dokumentation mitaufgenommen werden.

PCM Tauglichkeit / Recherche	Mindestanforderung	Programmname	:	:
Funktion / Eigenschaften voll verfügbar und in allgemeiner Verwendung				
Funktion / Eigenschaften teilweise verfügbar				
Optionale Funktion - nicht in Standardversion verfügbar	x			
Funktion nicht verfügbar				
Nicht bekannt oder keine Angaben				
...				
Geeignet: ja/nein			ja	nein

Abb. 6-2: PCM Tauglichkeit – Recherche

7 Auswahl von Simulationsprogrammen und Validierungsverfahren

7.1 Kriterien für die Auswahl der Simulationssoftware

Wie bereits in Kapitel 4 erwähnt, gewinnt die Zertifizierung von Gebäuden zunehmend an Bedeutung, daher sollte für die Simulation auch ein Programm eingesetzt werden, das diese Aufgabe uneingeschränkt erfüllen kann.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit und Einheitlichkeit ist dafür Sorge zu tragen, dass die ausgewählte Software die geforderte Qualität der Berechnungsergebnisse gewährleistet.

Daher sind folgenden Kriterien zu erfüllen:

- Zulassung für die Gebäude-Zertifizierung
- grafische Benutzeroberfläche soll die Modellierung erleichtern
- Simulation von „phase-change materials“
- benutzerdefinierte Eingabe von Materialkennwerten, Randbedingungen und Betriebszuständen

DesignBuilder erfüllt sämtliche Anforderungen für die Durchführung einer Validierung.

7.2 Kriterien für die Auswahl des Validierungsverfahrens

Nach Auswahl des Programms für die Simulation gilt es nun ein Verfahren auszuwählen, welches die Software auf Rechengenauigkeit überprüft (Validierung).

DesignBuilder wurde bereits nach den Standards ASHRAE und BESTEST validiert.

Daher gilt es folgende Kriterien zu erfüllen:

- Validierungsverfahren nach europäischer Norm oder Richtlinie
- Vergleichsmöglichkeit mit Software, die bereits nach europäischen Verfahren überprüft wurde

Der Verein Deutscher Ingenieure hat im Jahr 2001 die Richtlinie 6020 „Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation“ mit dem Ziel die Mindestanforderungen von thermischen Simulationsprogrammen festzulegen, herausgegeben.

Außerdem wird auf Verfahren hingewiesen, mit denen die Testbeispiele verifiziert wurden und mit deren Hilfe man weitere Beispiele überprüfen kann.

Das hygrothermische Simulationsprogramm WUFIplus ist nach VDI 6020 validiert und kann somit für weitere Vergleiche herangezogen werden.

Im nachfolgenden Kapitel werden die erforderlichen Schritte für eine Validierungsberechnung anhand des grafischen Modellierungsprogramms „DesignBuilder“ erläutert.

7.3 Geometrie-Modellierung mit DesignBuilder

Die Simulation beginnt mit der Modellierung des Testraums:

DesignBuilder stellt eine funktionelle grafische Benutzerschnittstelle zu EnergyPlus zur Verfügung. Sie ist eine benutzerfreundliche modellierende Umgebung, in der man mit virtuellen Baumodellen arbeitet.

Die Geometrieerstellung beruht auf dem Konzept von Blöcken, die eine Reihe von Bauelementen (wie Außenwände, Dach, Bodenplatte, innenliegende Wände, Decken und angrenzende Gebäudeteile) einschließen.

Bei der Erstellung eines neuen Berechnungsmodells ist die Ausführung der nachstehenden Schritte erforderlich um eine Simulation durchzuführen:

- Erstellung eines neuen Projektes
(create new site)
- Definition des Gebäudes
(create new building)
- Manipulation der Bausteine, um die Gebäudegeometrie festzulegen
(building blocks to create building geometry)
- Unterteilung des Gebäudes in Thermische Zonen
(partition building into thermal zones)
- Eingabe von Musterdaten (Bauteildeklaration)
(set model data)
- Hinzufügen von Öffnungen (Fenster, Türen usw.)
(add custom openings)
- Definition von Heizungs- und Kühlsystemen
(size heating and cooling systems)
- Zuweisung der Äußere Lasten (Klimadatei)
(weather simulations displaying hourly data)
- Nachdem das Modell anhand kurzer Periodenlaufzeiten überprüft worden ist, kann es für jährliche Simulations-Berechnungen verwendet werden[21].

Entsprechend der zuvor beschriebenen Anleitung wurde der „Typraum“ mit den Innen-Abmessungen (Breite x Tiefe x Höhe) 3,50 x 5,00 x 3,00 Meter modelliert.

Die Fensteröffnung in der nach Süden ausgerichteten Außenwand befindet sich 0,85 m über dem Fußboden und erstreckt sich über die gesamte Raumbreite mit 2,00 Meter Höhe.

[21] Vgl. DesignBuilder 2.1: „User`s manual“, DesignBuilder Software Ltd., 2009

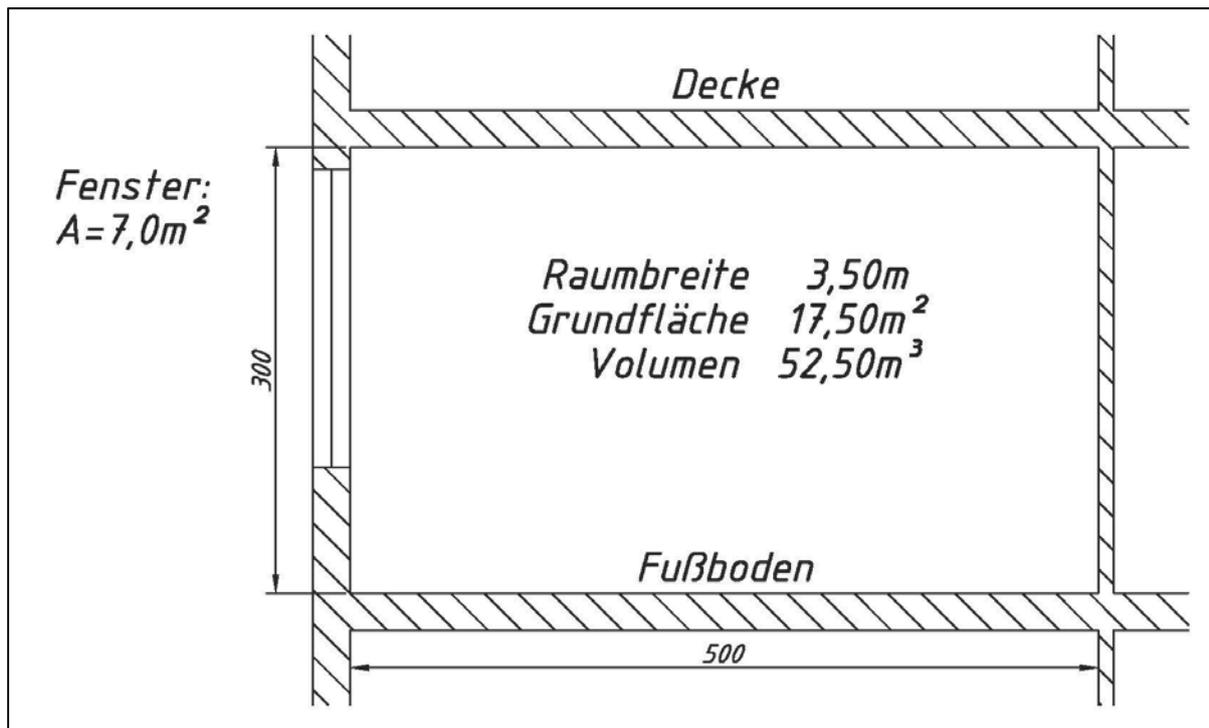


Abb. 7-1: Geometrie der „Typräume“ [18]

Die Bauteildeklaration erfolgt je nach Berechnungsbeispiel mit den beiden unterschiedlichen Bauarten „Typraum S (schwer)“ oder „Typraum L (leicht)“.

7.4 Zeitunabhängige Parameter

7.4.1 Randbedingungen der Umgebung

Ein entscheidender Einfluss auf das Berechnungsergebnis bezieht sich auf die Eingabe von Randbedingungen der raumumschließenden Bauteile.

Hierbei berücksichtigt man bei Ein- als auch bei Mehrzonen-Modellen das Wärmeaustauschverhalten der raumtrennenden Bauteile untereinander.

In den nachfolgenden Beispielen erfolgt lediglich ein Wärmeaustausch über die Außenwand und das Fenster, die innenliegenden Bauteile zu den Nachbarräumen werden unter Annahme einer adiabaten Randbedingung berechnet. Diese bedeutet, dass kein Wärmefluss der innenliegenden Bauteile stattfindet, trotzdem ist es erforderlich den Aufbau dieser Bauteile zu modellieren, da die speicherfähigen Massen speziell bei „schweren Bauteilen“ große Einflussnahme auf die Raumtemperatur ausüben.

7.4.2 Aufbau der raumumschließenden Bauteile

Raumtyp L "leicht"

Bauart	Aufbau	Dicke m	λ W/(m K)	ρ kg/m ³	c J/(kgK)
Decke und Fußboden	Estrich	0,03	1,400	2200	1050
	Steinwolle	0,02	0,047	75	840
	Beton	0,12	2,035	2100	920
	Luftschicht	–	$R=0,13 \text{ m}^2 \text{ K/W}$	–	–
	Steinwolle	0,02	0,047	75	840
	Metalldecke	0,006	58,000	7800	480
Innenwände	Porenbeton	0,12	0,400	1200	1050
Innentür	Tischlerplatte	0,04	0,140	500	2520
Außenwand	Brettschalung	0,01	0,140	500	2520
	Dämmung	0,064	0,047	75	840
	Brettschalung	0,01	0,140	500	2520

Raumtyp S "schwer"

Bauart	Aufbau	Dicke m	λ W/(m K)	ρ kg/m ³	c J/(kg K)
Decke und Fußboden	PVC-Belag	0,002	0,210	1300	1470
	Estrich	0,045	1,400	2200	1050
	Steinwolle	0,012	0,060	50	840
	Beton	0,15	2,035	2400	1050
Innenwände	Hohlblocksteine	0,24	0,560	1300	1050
Innentür	Buche, massiv	0,04	0,210	700	2520
Außenwand	Beton	0,24	2,035	2100	920
	Dämmung	0,062	0,047	75	840
	Fassadenplatte	0,025	0,450	1300	1050

Tab. 7-1: „Typräume“ nach VDI 6020, Tabelle A1 [18]

Transparente Bauteile	Konv. Wärmeübergangskoeff.		Verglasungstyp	k-Wert (Fenster)	Fensterdaten		
	Innen	Außen			g-Wert	Rahmen- anteil	Lichttrans- mission
	W/m ² K	W/m ² K	%	W/m ² K			
Eigenschaften (thermisch und optisch)	2,7	20	6/12/6 (Klarglas/Luft/ Klarglas)	2,1	75	0	81,7

Tab. 7-2: „Eingabedaten zu den Beispielen 1 bis 7“ nach VDI 6020, Tabelle A3 [18]

7.5 Zeitvariable Eingabedaten

Nach Fertigstellung des Raummodells sind nun auch die variablen Lasten festzulegen.

Dabei wird bei den „inneren Wärmequellen“ der einzelnen Beispiele nach konvektiver oder strahlender Wärmezufuhr unterschieden. Art und Dauer der Einwirkung ist dem Anhang zu entnehmen.

Als „äußere Belastung“ wird für die Testbeispiele 1 bis 7 eine konstante Temperatur von +22,0 Grad Celsius angenommen. In den weiteren Testbeispielen steht ein standortbezogenes Klima als Berechnungsgrundlage zur Verfügung.

7.5.1 Wetterdaten - Aufbau einer Klimadatei

Für die Simulation der Testbeispiele ist es erforderlich die vorherrschenden Außenbedingungen in einer entsprechenden Klimadatei (*.epw) abzubilden.

Diese Datei enthält stundengenaue Aufzeichnungen über Lufttemperatur, Strahlung, Wind- und Regenhäufigkeit, Luftfeuchtigkeit und Bewölkung.

Stellvertretend für das aktuelle bzw. in naher Zukunft auftretende Klima eines bestimmten Standortes werden repräsentativ durchschnittliche Werte der vergangenen Jahre für die Simulationsberechnungen herangezogen.

Häufig werden aber auch Klimadateien für die Berechnung von Extrembedingungen (Extrem-Sommer, Extrem-Winter) zur Verfügung gestellt. Diese Daten können beispielsweise in Simulationen für die Dimensionierung von Heizungs- und Kühlsystemen herangezogen werden.

Da nicht für jeden Standort eine eigene Klimadatei zu Verfügung steht, können Daten eines nahegelegenen Standortes verwendet bzw. von meteorologischen Anstalten erstellt oder abgeändert werden.

Weltweit gibt es eine Vielzahl verschiedener Wetter-Datensätzen, die jedoch nicht von jedem Simulationsprogramm gelesen und weiterverarbeitet werden können.

„TMY2, TMY3 (Typical Meteorological Year 3 (TMY3), IWEC (International Weather for Energy Calculations format from ASHRAE), Comma-Separated-Value (CSV) files, sowie ESP-r, DOE-2 und BLAST weather text format files“ sind eine Beispiele für solche Datensätze, welche durch geeignete Programme in das erforderliche Format transformiert werden können.

Anhand dieser Daten ist nun eine Berechnung der zu erwartenden Raumklimaverhältnisse möglich.

7.5.2 Hinzufügen einer neuen Wetterdatei

Die Erzeugung einer stundengenauen Klimadatei anhand vorhandener Daten kann mittels eines Konvertierungsprogrammes durch Editieren bzw. Übersetzen durchgeführt werden.

Bei den nachfolgend aufgelisteten Dateiformaten handelt es sich vorwiegend um Klimadaten aus englischsprachigen Regionen.

Für die programmspezifische Aufbereitung der Daten stellt der Softwareanbieter ein Tool, mit dem man die meist aus regionalen oder nationalen Wetterdiensten erhältlichen Klimadaten in ein anwendbares Format konvertieren kann, zur Verfügung.

Dies kann aus verschiedenen Gründen erforderlich sein:

- Übersetzen von Wetterdaten anderer Formate in das EnergyPlus-Format (*.epw), damit sie verwendet werden können
- Das Erzeugen von modifizierten Wetterdateien, um Klimaszenarien oder Laborversuche zu untersuchen
- Konvertieren von EnergyPlus Daten, um für Berechnungen in DesignBuilder kompatibel zu sein

Für die aufgezählten Anwendungsfälle steht eine Reihe von Klimadaten in den nachfolgenden Dateiformaten zur Verfügung:

- ✓ EnergyPlus data files (.epw)
- ✓ EnergyPlus 'comma separated values' files (.csv)
- ✓ TMY2 data files (.tmy2 or tm2)
- ✓ TMY data files (.tmy)
- ✓ IWECC data files (.iwecc or iwecc)
- ✓ Samson data files (.samson or dat)
- ✓ WYEC2 data files (.wyec2 or wy2)
- ✓ DOE-2 formatted data files (.fmt or txt)
- ✓ ESP-r formatted data files (.esp-r or clm)
- ✓ BLAST ASCII formatted data files (.blast or asc)

7.5.3 Klimadaten Konvertierungstool

Da das Dateiformat TRY (Test-reference-year 05 Würzburg, VDI 6020) nicht direkt mit dem Konvertierungsprogramm übersetzt werden kann, war es erforderlich den TRY Datensatz manuell zu zerlegen und in einem selbst kreierten Excel-Sheet (Konvertierungstool) für die Umwandlung aufzubereiten.

Zu den wichtigsten Bestandteilen einer Klimadatei gehören Außenlufttemperatur, relative Feuchtigkeit, Solarstrahlung, Windgeschwindigkeit und Windrichtung, Regenmenge und Luftdruck.

Da nicht jeder Standort über eine vollständige Klimadatei verfügt, ist es wichtig die vorhandene Datei zu analysieren und herauszufinden welche Daten bei der jeweiligen Software für die Berechnung erforderlich sind.

Zuerst ist es erforderlich, die vorhandene Text-Datei (*.txt) in ein Tabellenkalkulationsprogramm einzulesen und die einzelnen Parameter die meist mit einem Leerzeichen oder Beistrich getrennt sind, in Spalten aufzuteilen.

Danach kann die Zuordnung der Spalten an die vorgegebene Position erfolgen.

Die Anordnung der Klimaparameter an der richtigen Position ist ebenso wichtig wie das Ausschneiden von Daten, die von der Software nicht gelesen werden können, da diese möglicherweise als Berechnungsoption nicht vorhanden sind oder vom Programm selbst ermittelt werden.

Ausgeschnitten werden in diesem Fall die Spalten die mit „ignore“ gekennzeichnet sind. An anderen Positionen kann es hingegen erforderlich sein einen sogenannten „random Wert“ einzufügen, falls diese Komponenten nicht im Original-Klimafeld vorhanden sind (siehe Tab. 7-3).

Nachdem sich alle erforderlichen Daten an der vorgegebenen Position befinden, kann die Konvertierung durchgeführt werden.

.csv Datei					Outdoor Dry Bulb Temperature (OT)	Relative Humidity (RH)	Global radiation (GR) (sum of hours), on horizontal area	Sky radiation (SR) (sum of hours), on horizontal area	Direct solar radiation (DSR) (global radiation minus sky radiation)
Year	Month	Day	Hour		°C	%	J/cm2	J/cm2	J/cm2
2013	01	01	1	...					
...									
.def Datei					DryBulb	RelHumid	GloHorRad	ignore *	DirHorRad
Year	Month	Day	Hour		'C'	'%'	'J/cm2'	'x'	'J/cm2'
1	1	1	1		1	1	2.778	1	2.778
2013	01	01	1	...					
...									
.csv Datei					Sunshine Duration (SD), sum of hours in 1/10h = 6minutes 1/10 h	Wind Speed (WS)	Wind Direction (WD)	Precipitation (P)	Air pressure (AP)
Year	Month	Day	Hour			m/s	360-part	mm=l/m2	hPa
2013	01	01	1						
...									
.def Datei					ignore *	Wind_Speed	WindDir	Rain	Pressure
Year	Month	Day	Hour		'x'	'm/s'	'deg'	'mm'	'hPa'
1	1	1	1		1	1	1	1	100
2013	01	01	1						
...									

*)mit "ignore" gekennzeichnete Spalten werden für die Simulation nicht benötigt!

Tab. 7-3: Konvertierungs-Tool von TRY-Datensatz zu DesignBilulder-Klimadaten

7.5.4 Wetterdaten für die Validierung nach VDI 6020

Für die Untersuchung der Testbeispiele 1 bis 7 wird eine konstante Außentemperatur angenommen. Dies entspricht gleichzeitig der Raumtemperatur beim Berechnungsstart und soll eine Überlagerung der Belastungen vermeiden.

Die Berechnung der Testbeispiele 8,9 bzw. 12 und 13 erfolgt anhand Außentemperatur und Solarstrahlung der Klimadatei „TRY 05 Würzburg“.

Dieser TRY-Datensatz stammt noch aus der ersten TRY-Publikation im Jahr 1986. Die darin enthaltenen Daten basieren auf der Zeitreihe 1951 bis 1970. Neuere TRY von Würzburg existieren nicht, da mit Herausgabe der TRY im Jahr 2004 unter Einschluss der östlichen Bundesländer (davor waren TRY nur für Westdeutschland berechnet worden) die Klimaregionen mit den jeweiligen Repräsentanzstationen neu geordnet wurden.

TRY5: FRANKEN UND NOERDLICHES BADEN-WUERTEMBERG (KLIMAREGION 5)																
STATION: WUERZBURG-STEIN WMO-NR. 10655																
LAGE: 49.80 GRAD N.<- B. 9.90 GRAD O.<- L. 259 METER UEBER NN																
DATUM DER ERSTELLUNG: NOV. 1984 AENDERUNGSNUMMERN: 0-0																
FORMAT(I1, 3I2, 1X, F4.2, 1X, I3, 2(1X,F4.1), 1X, I2, 1X, F4.1, 1X, F6.1, 1X, F5.1, 1X, F4.2, 1X, I4, 1X, I4, 1X, I7, 1X, I4, 1X, I4)																
REIHENFOLGE DER PARAMETER:																
AENDERUNGSNUMMER/TAG/MONAT/STUNDE																
BEDECKUNG IN ACHEL (0.0 ... 1.0) <-!																
WINDRICHTUNG, N UEBER O POSITIV <GRAD!																
WINDGESCHWINDIGKEIT, SKALARES MITTEL <M/S!																
WINDGESCHWINDIGKEIT, VEKTORIELLES MITTEL <M/S!																
WETTER ZUM TERMIN (DWD-SCHLUESSEL) <-!																
NIEDERSCHLAG <MM/H!																
LUFTDRUCK AUF STATIONSHOEHE <HPA!																
LUFTTEMPERATUR <C!																
RELATIVE LUFTFEUCHTE (0.0 ... 1.0) <-!																
DIREKTE SONNENSTRAHLUNG AUF HORIZONTALER FLAECHE <W/M**2!																
DIFFUSE HIMMELSTRABLUNG AUF HORIZONTALER FLAECHE <W/M**2!																
HELLIGKEIT AUF HORIZONTALER FLAECHE <LUX!																
LANGWELIGE AUSSTRAHLUNG AUF HORIZONTALER FLAECHE <W/M**2!																
ATMOSPHAERISCHE GEGENSTRAHLUNG AUF HORIZONTALER FLAECHE <W/M**2!																
0	1	1	1	1.00	270	2.6	1.5	26	0.1	980.8	0.70	0.93	0	0	-286	283
0	1	1	2	1.00	330	1.5	1.0		0.0	981.5	0.60	0.94	0	0	-286	283
0	1	1	3	1.00	270	2.6	1.5		0.0	982.3	0.70	0.94	0	0	-286	283
...																
...																
0	31	12	24	1.00	280	4.1	4.1		0.1	980.4	1.00	0.90	0	0	-288	284

Abb. 7-2: Auszug aus „TRY 05 Würzburg“ Wetterdatensatz.[22]

[22] DWD - Deutscher Wetterdienst: „Wetterdatensatz – TRY 05 Würzburg“, Offenbach, 2012

7.5.5 Jahresverlauf der Außenlufttemperatur

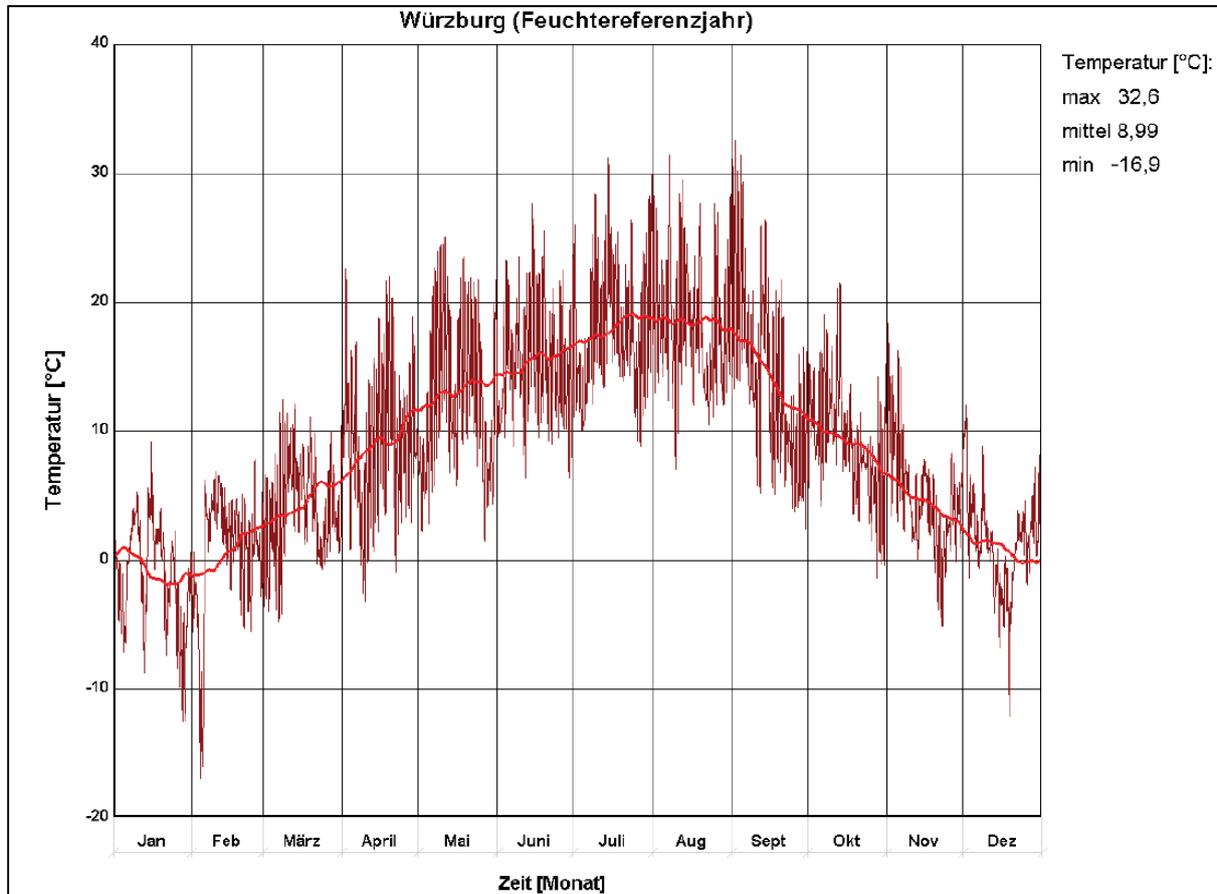


Abb. 7-3: Außenlufttemperaturverlauf des Testreferenzjahres „TRY 05 Würzburg“

In den Beispielen 10 und 11 wird die in den Raum gelangende Strahlungsenergie nachgerechnet und mit den Simulationsergebnissen verglichen, worauf jedoch hier nicht weiter eingegangen wird.

7.5.6 Sonnenschutzeinrichtungen

Ein Hauptanwendungsgebiet der thermischen Gebäudesimulation betrifft die Optimierung des sommerlichen Gebäude-Verhaltens (z.B. Minimierung von Überhitzung durch passive Kühlmaßnahmen). Dabei werden mögliche Varianten zur Entwicklung der Sommer-Raumtemperatur mit und ohne Sonnenschutzanlagen untersucht.

Die Software verfügt über die Steuerungsmöglichkeit von vier unterschiedlichen Beschattungs-Systemen:

- Lamelle (Abschattung mit Lichtlenkung)
- Abschattung
- Transparente Wärmedämmung
- Elektrochrome Umschaltung

Bei der Fenster-Beschattung kann zusätzlich die Lage des Sonnenschutzes sowie deren zeitliche Steuerung festgelegt werden.

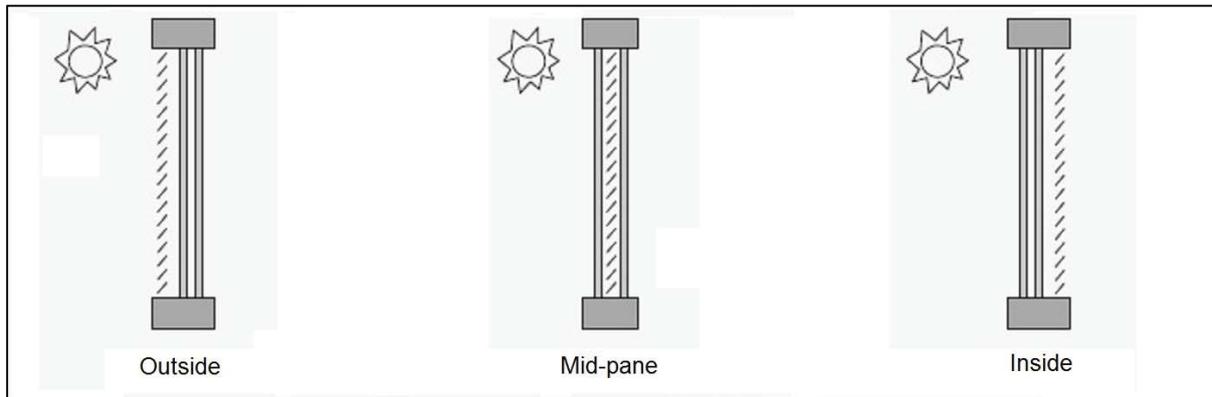


Abb. 7-4: Lage der Sonnenschutzanlage [21]

- 1-Inside
der Fenster-Sonnenschutz ist innerhalb der Zone positioniert
- 2-Mid-pane
der Fenster Sonnenschutz ist zwischen den Scheiben positioniert
- 3-Outside
der Sonnenschutz ist außen positioniert
- 4-Control
Option für elektrochrome Verglasungen, in diesem Fall wird die äußere Scheibe auf Basis der Beschattungssteuerung eingeschaltet.

8 Validierungsberechnungen mit DesignBuilder

8.1 Beschreibung der Software

DesignBuilder bietet eine benutzerfreundliche Modellierungsumgebung für das Bearbeiten virtueller Gebäude-Modelle.

Die Modellierung basiert auf einer einfachen hierarchisch bestimmten Anordnung.



Das Programm wurde für die optimale Nutzung der Datenbanken speziell auf EnergyPlus abgestimmt. Dadurch besteht die Möglichkeit vordefinierte Baustoffe, Konstruktionen, Fensterscheiben, Gasfüllungen, Verglasungen und Jalousien für die Modellierung zu verwenden.

Es bietet eine Reihe von Steuerungsmöglichkeiten zur Berechnung des Energieverbrauchs, der maximalen sommerlichen Temperaturen und HVAC-Komponenten (Heating, Ventilation, Air Conditioning) unter Berücksichtigung äußerer und interner Lasten.

Äußere Lasten werden anhand der Standortauswahl oder der Konvertierung von Klimadaten definiert.

Die Regelung der internen Prozesse erfolgt über Zeitprofile (Templates), kann aber auch durch Sollwertvorgaben vom Programm selbst gesteuert werden.

8.2 Aufgabenstellung

Die Hauptaufgabe besteht in der Überprüfung der wichtigsten Grundfunktionen von Simulationsprogrammen anhand einiger vorgegebener Testbeispiele.

Diese Beispiele wurden mit unterschiedlicher Software berechnet und durch experimentelle Analysen miteinander verglichen.

Durch die Simulation der Testbeispiele soll die Berechnungsgenauigkeit von DesignBuilder auf folgende Schwerpunkte hin untersucht werden:

8.2.1 Raumreaktionen auf innere Belastungen und Sollwertänderungen

In den Testbeispielen 1 bis 7 werden die Reaktionen des Raumes aufgrund von Einwirkung innerer Lasten untersucht. Diese Einwirkungen wiederholen sich in täglichen Intervallen (z.B. 6 -18 Uhr) und werden in Zeitprofilen dargestellt.

Sämtliche Fallbeispiele werden ohne kurzweiligen Sonnenstrahlungseinfluss und langweiliger Umgebungsstrahlung berechnet. Der Einfluss des Bodenreflexionsgrades wird ebenso vernachlässigt.

- Zeitprofile (Schedules)

Unter den zeitlichen Abhängigkeiten sind die Anlagenbetriebszeiten inkl. verschiedener Betriebsstufen zu verstehen, welche durch Zeitprofile beschrieben werden.

Durch die ausschließliche Verwendung von Zeitprofilen, im Allgemeinen also einer aufgeprägten Zu- bzw. Abfuhr von Wärmemengen bedeutet dies, dass konstante Raumkonditionen nicht erreicht werden.

Die Raumtemperatur wird demnach von Einschalt- und Ausschaltzeitpunkt sowie deren unterschiedlichen Laststufen bestimmt.

Im Gegensatz dazu steht die Einzelraum oder Zonenregelung.

Dabei entspricht die zu- bzw. abgeführte Wärmemenge genau dem Wert, der notwendig ist um bestimmte Temperatursollwerte in der Simulationszone zu erreichen.

8.2.2 Simulationsalgorithmen

Das Programm DesignBuilder bietet die Möglichkeit aus 34 Algorithmen zur Berechnung der Konvektion zwischen der inneren Oberfläche und der Raumluft in den Simulationsberechnungen auszuwählen.

Als Alternative zu den vordefinierten Wärmeübergangswiderständen können die Bauteile aber auch in der Datenbank vom Benutzer definiert werden. Dies eignet sich bei Validierungsberechnungen bestens, da man hiermit exakt die Vorgabewerte der Referenzbeispiele nachbilden kann.

Sollte es keine bestimmten Voraussetzungen für spezielle Annahmen geben so wird seitens des Bedienungshandbuches geraten den Standard-„Adaptive Convection“ Algorithmus zu verwenden.

Nachfolgend werden diese Algorithmen „inside/outside convection algorithm“ kurz beschrieben.

- Adaptive Convection Algorithm

Beausoleil-Morrison (2000, 2002) entwickelte eine Methode zur dynamischen Verwaltung von konvektiven Wärmeübergangsgleichungen und benannte diese als „Adaptive Convection Algorithm“.

Dieser Algorithmus wurde in EnergyPlus implementiert und bietet eine dynamische Auswahl von Konvektions-Modellen auf Basis von definierten Rahmenbedingungen. Dabei wird zu einem bestimmten Zeitpunkt für eine bestimmte Innenoberfläche zwischen

45 unterschiedlichen Kategorien und 29 verschiedenen Gleichungen die am besten geeignete Kombination getroffen. Die Kategorien und Standardzuweisungen der konvektiven Wärmeübergangsgleichungen werden in Anhang A (Pkt. 13.2) aufgelistet.

▪ Simple

Das „Simple“ Konvektionsmodell verwendet konstante Koeffizienten für verschiedene Wärmeübertragungs-Konfigurationen. Die Koeffizienten werden direkt von Walton (1983) übernommen.

- ✓ Die Strahlungswärmeübertragungskomponente $h_s = 0,918$

Der konvektive Anteil wurde in Abhängigkeit von der Neigung und der Oberflächenbeschaffenheit festgelegt:

- ✓ bei vertikalen Oberflächen: $h_k = 3,076$
- ✓ horizontale Flächen mit eingeschränkter Konvektion: $h_k = 0,948$
- ✓ horizontale Oberfläche mit verbesserter Konvektion: $h_k = 4,040$
- ✓ geneigte Flächen mit eingeschränkter Konvektion: $h_k = 2,281$
- ✓ geneigte Oberflächen mit verbesserter Konvektion: $h_k = 3.870$.

▪ CIBSE

verwendet konstante Wärmeübergangskoeffizienten von traditionellen Ziegelbauwerken und bezieht sich vorwiegend auf England und Schottland.

▪ Ceiling diffuser

Der „Ceiling“ Algorithmus basiert auf empirischen Korrelationen und wurde von Fisher und Pedersen (1997) entwickelt. Hierbei handelt es sich um ein gemischtes Konvektions-Modell mit Konfigurationen für Deckendurchlässe. Das Modell korreliert die Wärmeübergangskoeffizienten auf die Luftwechselrate (ACH) für Decken, Wände und Böden. Die Korrelation wurde neu formuliert, und dabei die Raum-Austrittstemperatur als Referenztemperatur verwendet.

Die Korrelationen sind nachfolgend dargestellt:

- ✓ Boden: $h_k = 3.873 + 0.082 * ACH^{0,980}$
- ✓ Decken: $h_k = 2.234 + 4.099 * ACH^{0.503}$
- ✓ Wände: $h_k = 1.208 + 1.012 * ACH^{0.604}$

▪ Cavity

Dieser Algorithmus wurde entwickelt, um Konvektion in einer "Trombe-Wall Zone" zu modellieren (Luftraum zwischen der Speicherwandoberfläche und der Außenverglasung). Der Algorithmus ist identisch mit dem Konvektions-Modell (nach ISO 15099) in „Window5“, für Konvektion zwischen den Verglasungsschichten in Mehrscheiben-

Fenstersystemen.

Der Algorithmus liefert die Koeffizienten für Konvektion von Luft in einem schmalen, vertikalen, unbelüfteten Hohlraum. Dies gilt sowohl für den Luftspalt zwischen den Scheiben eines Fensters oder dem Luftspalt zwischen der Trombe-Wall Scheibe und der Innenfläche.

- TARP

Die Wärmeübergangskoeffizienten werden durch projektspezifische Gegebenheiten wie z.B. Bodenkonvektoren beeinflusst und sind aus diesem Grund auch für jede Simulation explizit festzulegen. [15]

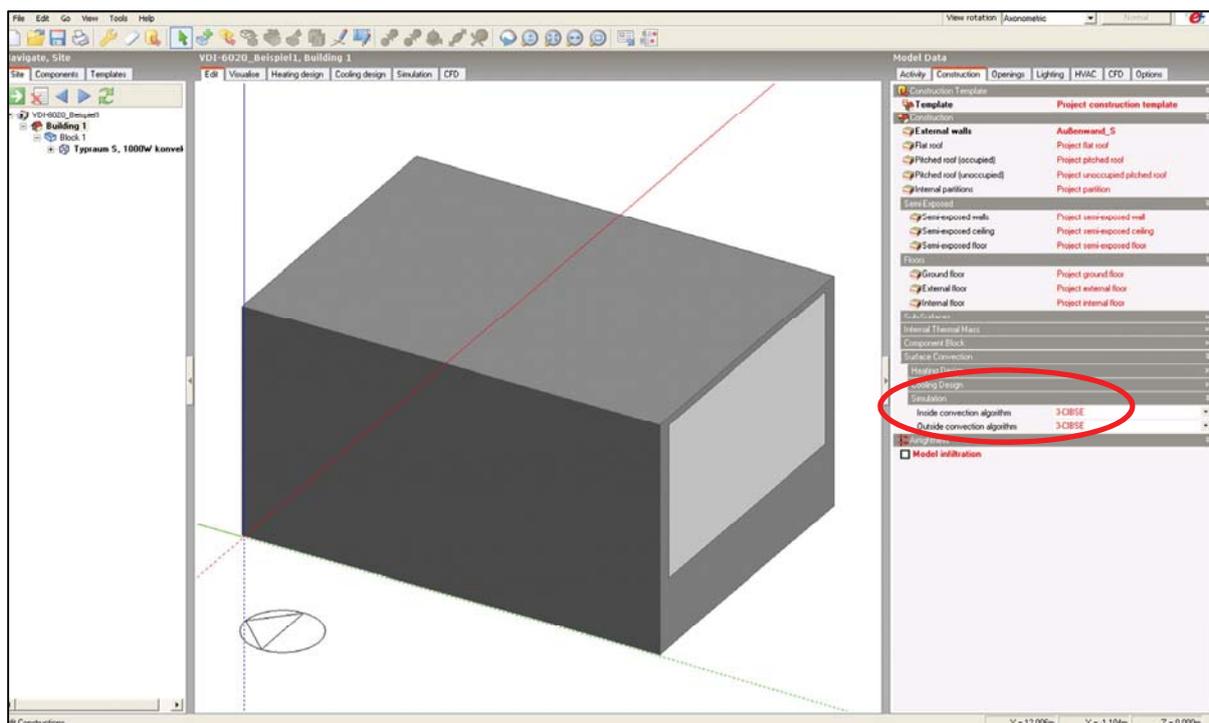


Abb. 8-1: Auswahl des Simulations-Algorithmus

Der Einfluss des gewählten Simulations-Algorithmus auf das Berechnungsergebnis kann anhand einiger Testberechnungen sehr gut zum Ausdruck gebracht werden, wobei nach genauerer Betrachtung deutlich wird, dass die Berechnungsergebnisse sehr stark vom verwendeten Algorithmus beeinflusst werden.

Anhand einiger Testberechnungen bei denen jeweils der Simulations-Algorithmus und die Berechnung des konvektiven Wärmeübergangswiderstandes (Fixwertvorgabe bzw. automatisch vom Programm ermittelt) geändert wurde sieht man den deutlichen Unterschied der Ergebnisse am besten. (siehe Abb. 8-2)

Um das Berechnungsergebnis durch den solaren Eintrag über die Fensterfläche nicht zu verfälschen kann dieser für solche Berechnungen ausgeschaltet werden oder als Kontrolle auch ohne Fensterflächen simuliert werden, was zu ähnlich großen Abweichungen der Resultate führt.

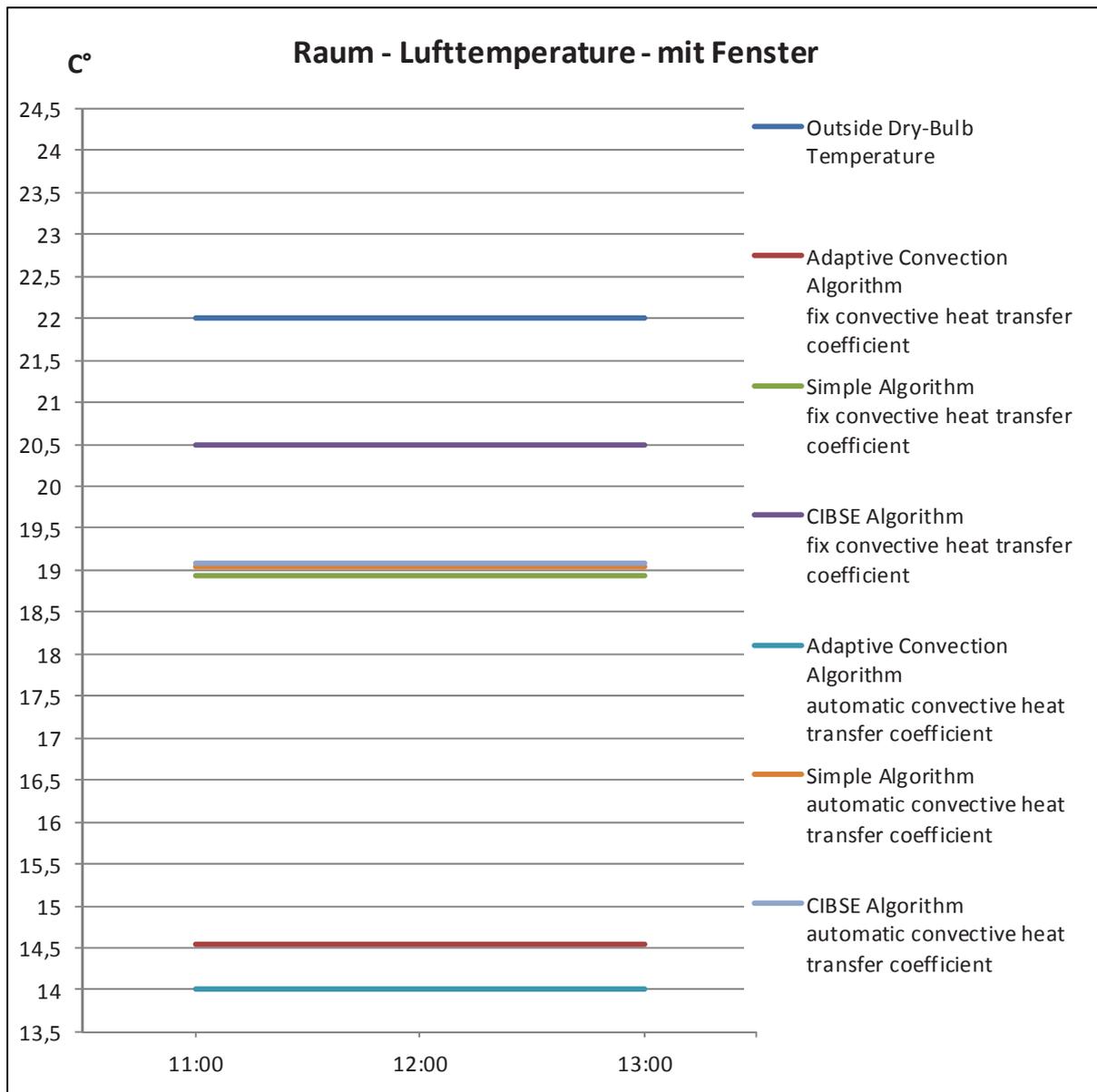


Abb. 8-2: Variation der Simulations-Algorithmen

8.2.3 Ganzjahressimulation

Anhand der Beispiele 12 und 13 wird die Simulation über den Zeitraum eines gesamten Jahres getestet.

Mit diesen Modellen ist es möglich sowohl innere als auch äußere Lasten auf den Raum einwirken zu lassen während durch Steuerung von Heizung bzw. Klimatisierung eine Solltemperatur erhalten bleibt.

8.3 Programmtechnische Berechnungsparameter

Sollten die Resultate der ersten Simulationsberechnungen nicht mit der Ergebnisbandbreite der Referenzbeispiele übereinstimmen, kann dies aus unzureichend genauen Vorgaben der Berechnungsparameter resultieren.

Für das Erzielen einer möglichst hohen Vergleichspräzision sollten somit je nach Berechnungszweck relevante Berechnungsoptionen, Grenzbedingungen und Eingabedaten vorgegeben sein. Darunter fallen unter anderem:

- Taktung (Berechnungsschritte je Stunde)

Die Auswahloption von 1 bis 12 Unterteilungen je Stunde beeinflusst das Berechnungsergebnis erheblich, speziell bei stark einwirkenden Belastungen (wie z.B. in Testbeispiel 1 „1000 Watt konvektiver Wärmeeintrag“).

- Simulationsalgorithmus (siehe 8.2.2 Simulationsalgorithmen)

Für die Testbeispielberechnung wurde der „SIMPLE“ Algorithmus verwendet, da hier die Vorgabewerte der Wärmeübergangskoeffizienten des Bauteils übernommen werden.

- Sicherheitsfaktoren

Das Programm DesignBuilder bietet die Möglichkeit einige Sicherheitsfaktoren in die Berechnung mit einzubeziehen um bei der Dimensionierung von Heiz- und Kühlsystemen einen gewissen Sicherheitsspielraum zu gewährleisten.

Da es sich jedoch hierbei vorrangig um den Zweck der Vergleichbarkeit handelt sind sämtliche Testbeispiele mit dem „Faktor 1,0“, also ohne Sicherheit berechnet worden.

- Luftwechselrate

Die Luftwechselrate n oder auch Luftwechselzahl (ac/h) ist definiert als der Quotient aus Außenluftvolumenstrom und Raumluftvolumen.

- Randbedingungen

Außenklima, Wärmeübergangskoeffizienten sowie (adiabate) Randbedingung zu den Nachbarräumen sind genau festgelegt und können somit nach Vorgabe abgebildet werden.

Opake Bauteile	Konv. Wärmeübergangskoeff.		Absorptionskoeffizienten	Schichtdaten			
	Innen	Außen		Dicke	Wärmeleitfähigkeit	Wärmekapazität	Dichte
	W/m ² K	W/m ² K					
Außenwand	2,7	20	-	siehe Tabelle A.1			
Innenwand	2,7	2,7	-				
Fußboden	1,67	1,67	-				
Decke	1,67	1,67	-				
Transparente Bauteile	Konv. Wärmeübergangskoeff.		Verglasungstyp	Fensterdaten			
	Innen	Außen		k-Wert (Fenster)	g-Wert	Rahmenanteil	Lichttransmission
	W/m ² K	W/m ² K					
Eigenschaften (thermisch und optisch)	2,7	20	6/12/6 (Klarglas/Luft/Klarglas)	2,1	75	0	81,7

Tab. 8-1 „Eingabedaten zu den Beispielen 1 bis 7“ nach VDI 6020, Tabelle A3 [18]

Erst nach einigen Testberechnungen bei denen jeweils ein Parameter auf ein Minimum des Vorgabewerts bzw. ein Maximum gesetzt wird ist für den/die BenutzerIn einer neuen

Software klar welche Variationen sich nur geringfügig oder entscheidend auf das Ergebnis auswirken.

Außerdem kann hiermit eine weitere Kontrolle der Software vorgenommen werden, da man sieht in welche Richtung sich die Berechnungsergebnisse entwickeln und diese auf Plausibilität überprüft werden können.

▪ Beispiel:

„Variation der Teilrechenschritte pro Stunde und des konvektiven Wärmeübergangswiderstandes der Außenwand“

Setzt man den Wärmeübergangswiderstand auf ein Minimum (0,001) so muss dies zu einem verringerten Wärmestrom durch die Außenwand und erhöhten Raumtemperaturen führen. Der Maximalwert (999,9) des Parameters führt zu einem erhöhten Wärmestrom.

Anhand der Ergebnisse in Tab. 8-2 wird ersichtlich, dass eine Unterteilung von sechs Rechenschritten pro Stunde bei einer maximalen Abweichung von 0,19% der Innenlufttemperatur ein ausreichend genaues Berechnungsergebnis liefert.

Tag	Rechenschritte pro Stunde	Wärmeübergangskoeffizient α [m ² K/W]	Innenluft-Temperatur t_i [°C]	Temperatur-differenz dt [°C]	Temperatur-differenz %
1	1	0,01	30,57		
	1	999	24,44		
	1	2,70	30,16		
				- 0,40	1,33
	6	2,70	30,56		
				- 0,02	0,07
10	1	0,01	45,62		
	1	999	35,08		
	1	2,70	45,13		
				1,08	2,39
	6	2,70	46,21		
				0,09	0,19
60	1	0,01	56,24		
	1	999	51,39		
	1	2,70	55,80		
				0,16	0,29
	6	2,70	55,96		
				0,01	0,02

Tab. 8-2: Variation der Berechnungsoptionen „Rechenschritte pro Stunde“ und „innerer Wärmeübergangswiderstand“

8.4 Validierung nach VDI 6020 (2001) mit DesignBuilder (Version 3.2.0.067)

Bei der Berechnung der Testbeispiele wird eine prinzipielle Überprüfung der eingesetzten Rechenverfahren in thermischen und energetischen Gebäude-Simulationsprogrammen durchgeführt.

Die Prüfung erfolgt über den Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den in der Richtlinie dargestellten Ergebnissen.

Dadurch werden die Mindestanforderungen an Rechenverfahren hinsichtlich der Algorithmen und Parameter getestet, die ein Programmhersteller gewährleisten muss, wenn er/sie Bezug auf die Richtlinie nimmt.

Für die Berechnung der Testbeispiele wurde die Geometrie (gemäß Punkt 7.3), die Randbedingungen (nach Punkt 7.4.1) sowie der Aufbau umschließender Bauteile (siehe Punkt 7.4.2) entsprechend den Angaben der VDI-Richtlinie 6020 modelliert.

Die „variablen Parameter“ entsprechen den Vorgabewerten des jeweiligen Beispiels gemäß Tabelle A3 (Tab. 8-3) der Richtlinie.

Bei der Eingabe ist darauf zu achten, dass alle vorgegebenen Aktivitäten berücksichtigt werden und sämtliche zusätzliche Optionen deaktiviert sind.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Berechnung anhand folgender ausgewählter Beispiele durchgeführt:

▪ Beispiel 1 (Typraum S, 1000 W konvektiv)

„Berechnung der Raumlufttemperatur“ umgeben von „schweren Bauteilen“ hinsichtlich der Reaktion auf konvektive innere Belastungen.

Während der Maschinenbetriebszeit von 6 bis 18 Uhr liefert eine konvektive Wärmequelle konstant 1000 Watt Leistung. Dabei wird das Temperaturverhalten von „thermisch trägen Bauteilen“ mit hohen spezifischen Wärmekapazitäten untersucht.

Die Temperaturverläufe vom 1. Tag, 10. Tag und 60. Tag werden zum Vergleich herangezogen. Außerdem wird das Einschwingverhalten während der gesamten Berechnungsdauer gegenübergestellt.

▪ Beispiel 3 (Typraum L, 1000 W konvektiv)

„Berechnung der Raumlufttemperatur“ umgeben von „leichten Bauteilen“ hinsichtlich der Reaktion auf konvektive innere Belastungen.

Während der Maschinenbetriebszeit von 6 bis 18 Uhr liefert eine konvektive Wärmequelle konstant 1000 Watt Leistung. Dabei wird das Temperaturverhalten von „leichten Bauteilen“ mit geringer thermischer Speicherkapazität untersucht.

Die Temperaturverläufe vom 1. Tag, 10. Tag und 60. Tag werden zum Vergleich herangezogen.

▪ **Beispiel 6 (Typraum S, 1000 W strahlend)**

„Berechnung der Wärmelast-Reaktion“ aufgrund einer strahlenden inneren Belastung und vorgegebener Sollwertänderung der Raumlufttemperatur.

Dem Raum wird alle zwölf Stunden ein Sollwertsprung der Raumtemperatur vorgegeben. Während der gesamten Berechnungsdauer liefert eine radiative Wärmequelle von 0 bis 24 Uhr konstant 1000 Watt Leistung. Die für die Einhaltung dieser Temperaturen erforderliche, konvektive Anlagenleistung besitzt unbegrenzte Kühlkapazität.

In der Zeit von 6 bis 18 Uhr soll eine Raumlufttemperatur von 27 °C und in der übrigen Zeit eine Raumlufttemperatur von 22 °C eingehalten werden (siehe Tab. 8-3).

Randbedingungen	Einheit	Beispiel 1	Beispiel 3	Beispiel 6
Äußere Lasten, Wetterdaten				
Außentemperatur	°C	22	22	22
Kurzwellige Strahlung, horizontal	W/m ²	Keine	Keine	Keine
Langwellige Umgebungsstrahlung	W/m ² K	Keine	Keine	Keine
Bodenreflexionsgrad	%	-	-	-
Typraum		S	L	S
Sonnenschutz				
Einstrahlungsgrenzwert (Global) für Sonnenschutz = zu	W/m ²	-	-	-
b-Wert				
Innere Wärmequellen				
Maschinen, konvektiv	W	1000	1000	-
Maschinen, strahlend	W	-	-	1000
Maschinenbetriebszeit		6 - 18 Uhr	6 - 18 Uhr	0 - 24 Uhr
Personen, konvektiv	W	-	-	-
Personen, strahlend	W	-	-	-
Anwesenheitszeit		-	-	-
Klimatisierung (reine konvektive Luftheizung)				
Außenluftwechsel bei Anlagenbetrieb		0	0	0
Außenluftwechsel Nacht/Wochenende		0	0	0
Anlagenbetriebszeit				0 - 24 Uhr
Anlagenleistung		Keine Klimatisierung	Keine Klimatisierung	unbegrenzt
Sollraumtemperatur max. in Bürozeit		Temperatur frei schwingend	Temperatur frei schwingend	27
Sollraumtemperatur min. in Bürozeit				27
Sollraumtemperatur außerhalb Bürozeit				22
Bürozeit				6 - 18 Uhr

Tab. 8-3: „variable Parameter zu den Beispielen 1 bis 7“ nach VDI 6020, Tabelle A3 [18]

8.4.1 Berechnungsergebnis - Testbeispiel 1 (nach VDI 6020, 2001)

8.4.1.1 Testbeispiel 1, Tag 1: DesignBuilder (Bild oben) - VDI 6020 (Bild unten)

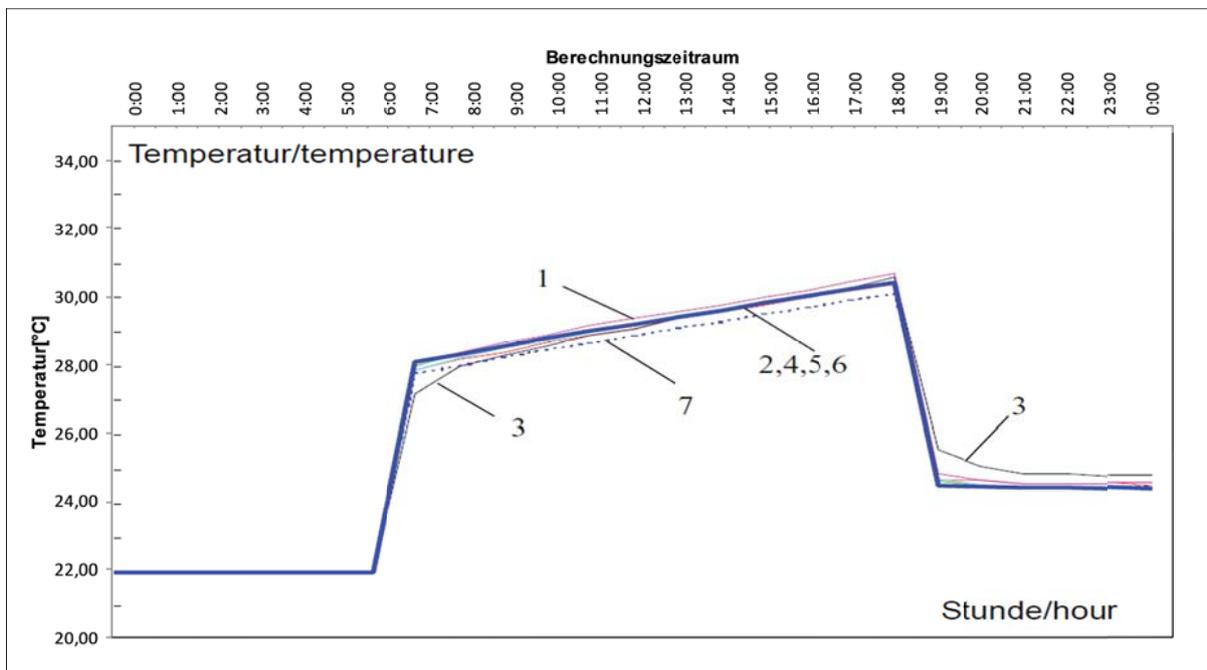
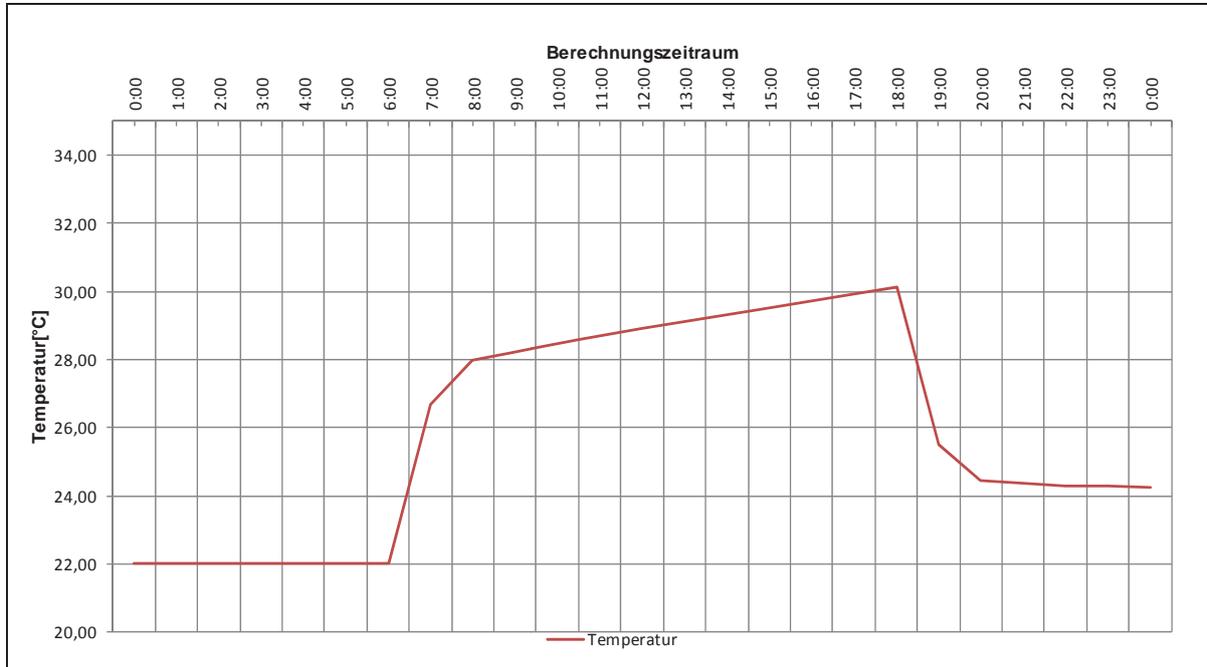


Abb. 8-3: VDI 6020, Anhang B, Bild B1a Beispiel 1 am 1.Tag[18]

8.4.1.2 Testbeispiel 1, Tag 10: DesignBuilder (Bild oben) - VDI 6020 (Bild unten)

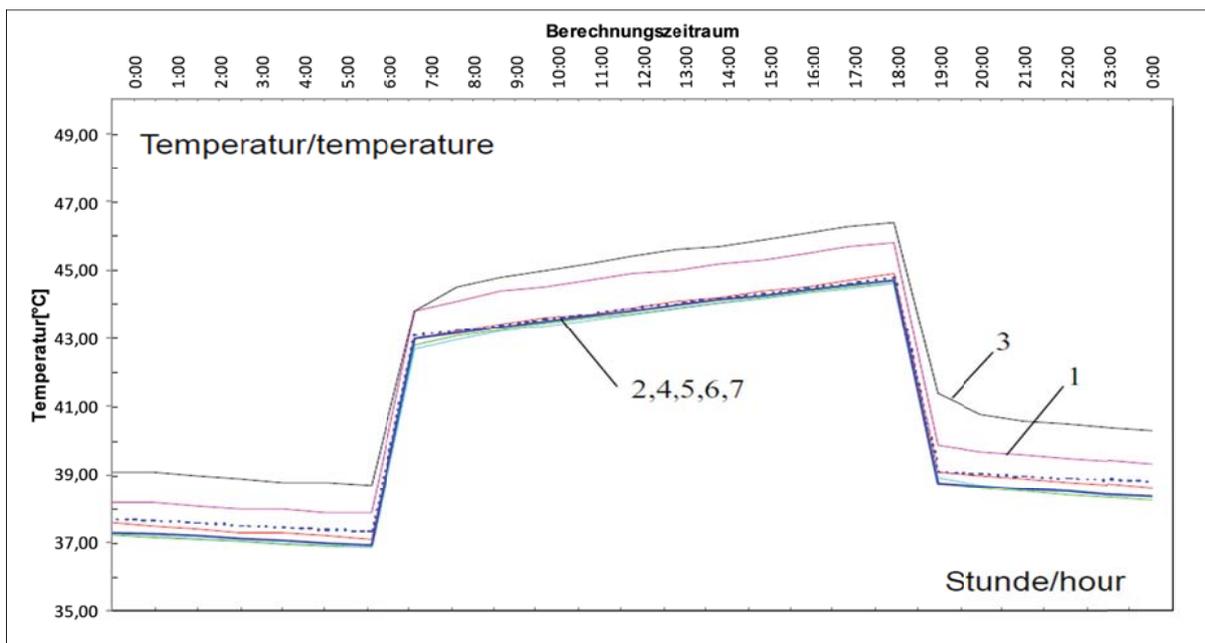
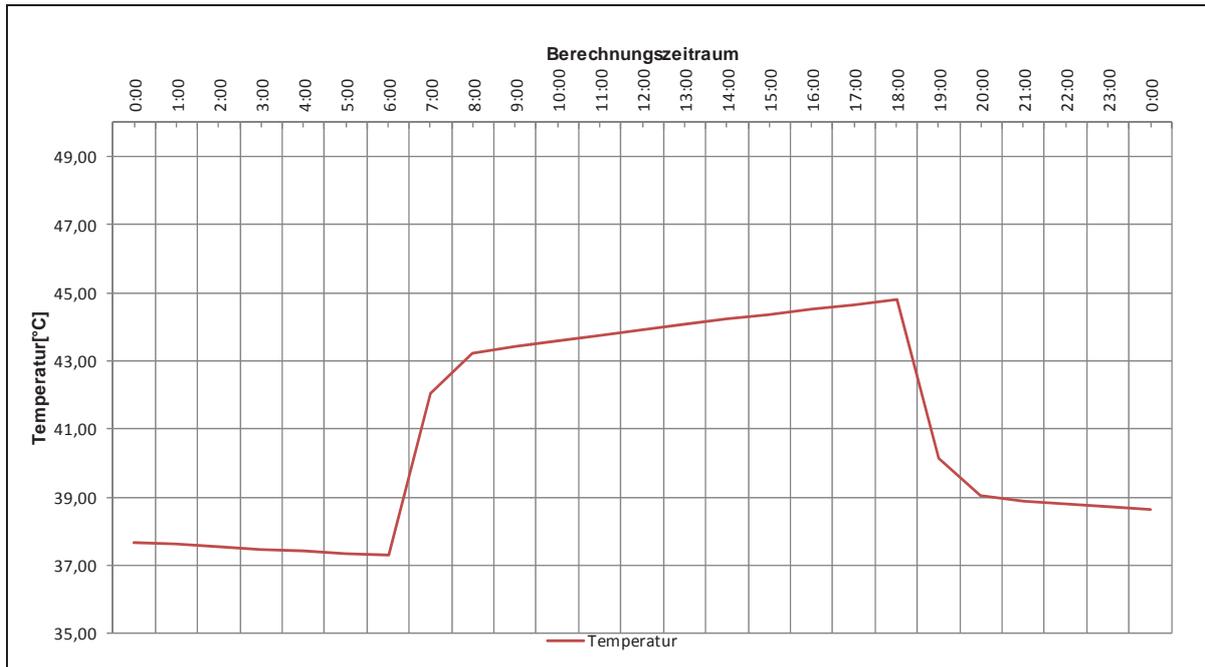


Abb. 8-4: VDI 6020, Anhang B, Bild B1b Beispiel 1 am 10.Tag [18]

8.4.1.3 Testbeispiel 1, Tag 60: DesignBuilder (Bild oben) - VDI 6020 (Bild unten)

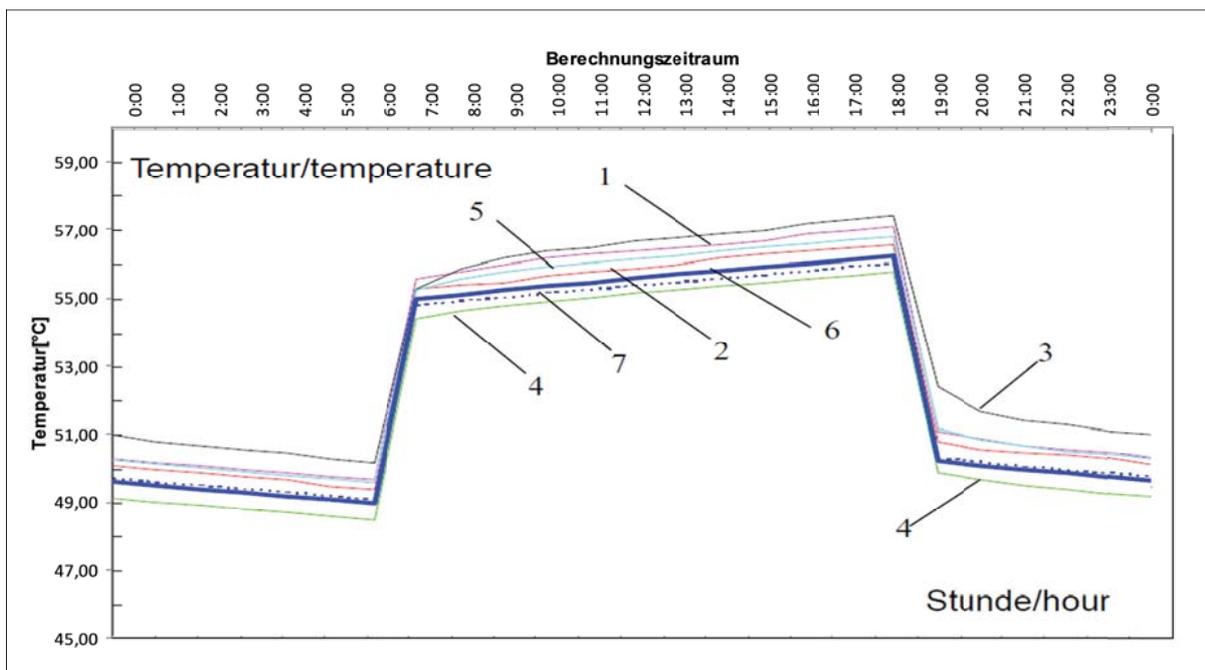
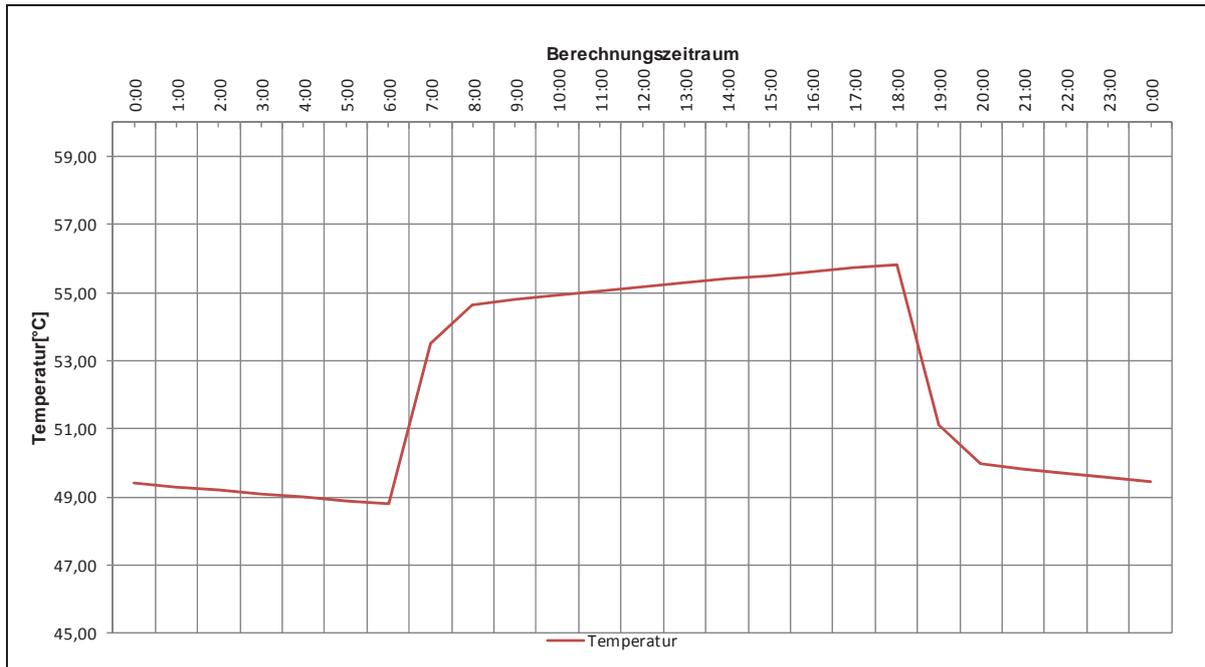


Abb. 8-5: VDI 6020, Anhang B, Bild B1c Beispiel 1 am 60.Tag[18]

8.4.1.4 Testbeispiel 1, Einschwingvorgang: DesignBuilder (Bild oben) - VDI 6020 (Bild unten)

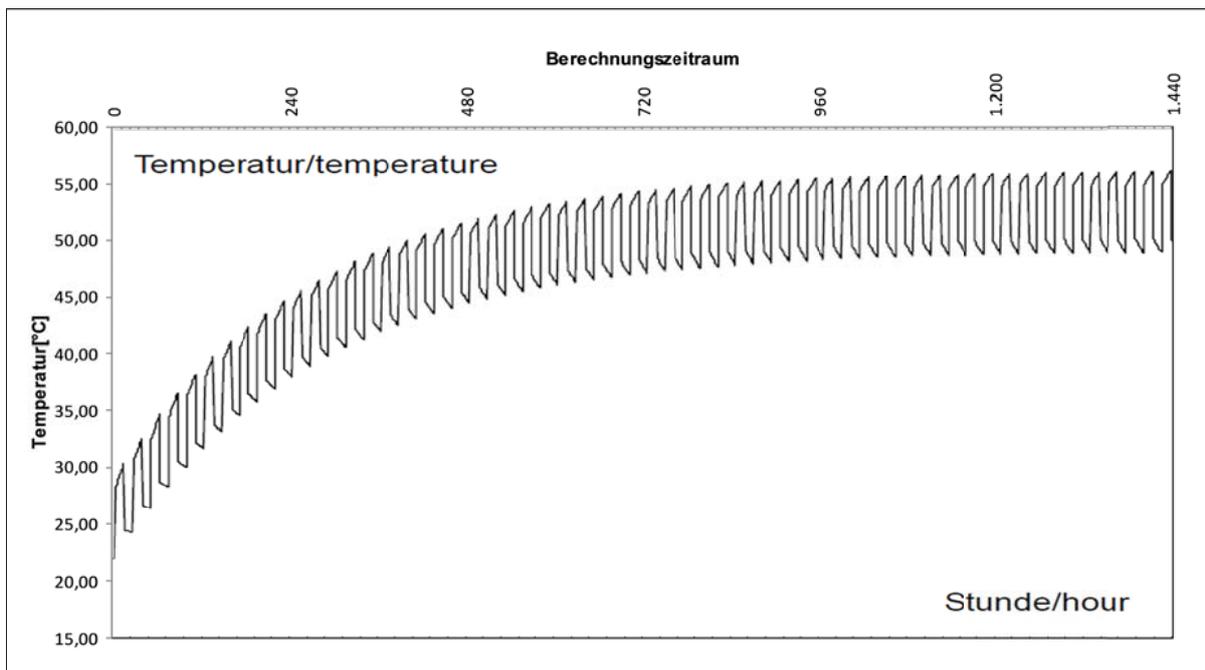
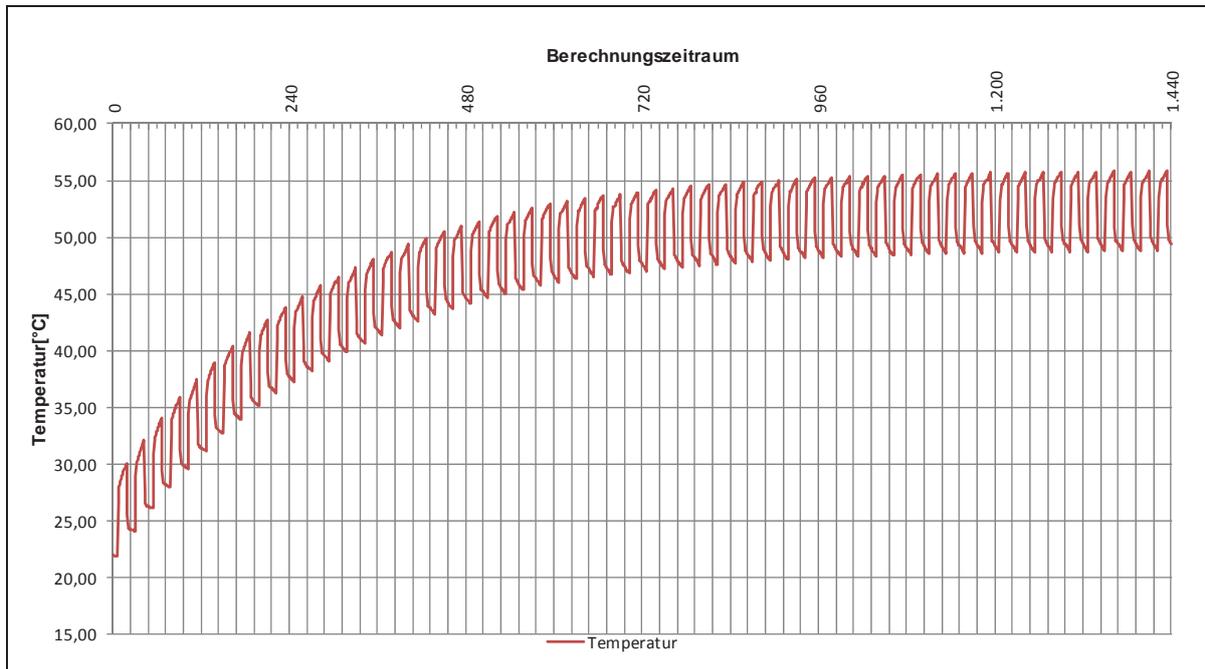


Abb. 8-6: VDI 6020, Anhang B, Bild B1d, Einschwingvorgang nach dem Beuken-Modell über 60 Tage [18]

8.4.2 Berechnungsergebnis - Testbeispiel 3 (nach VDI 6020, 2001)

8.4.2.1 Testbeispiel 3, Tag 1: DesignBuilder (Bild oben) - VDI 6020 (Bild unten)

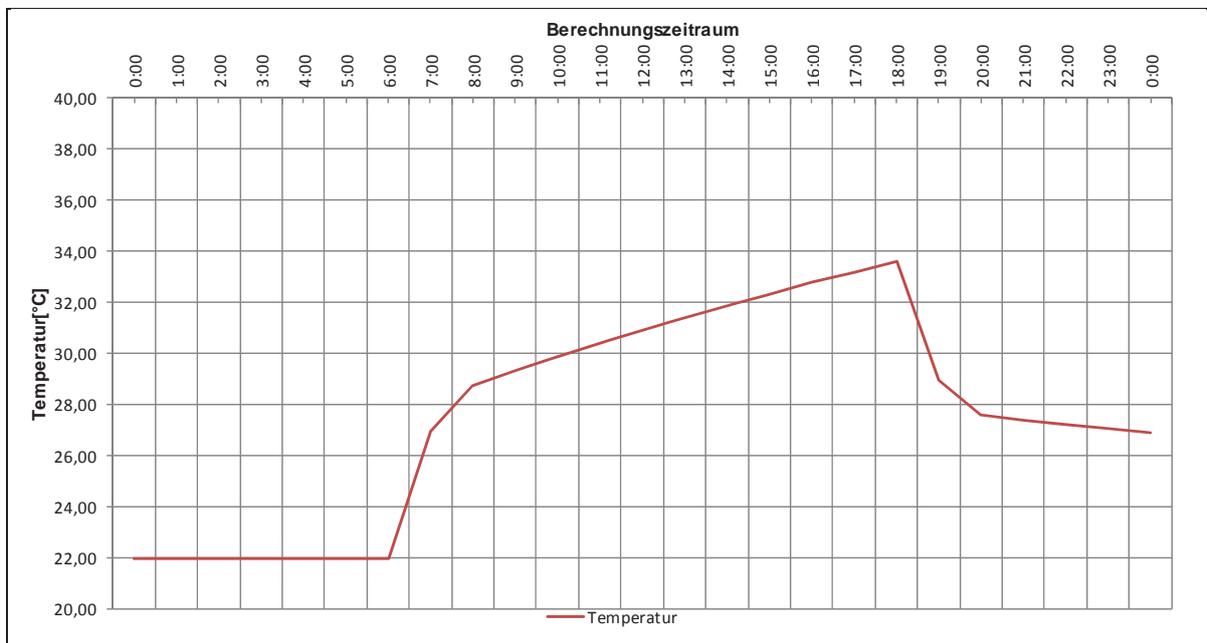
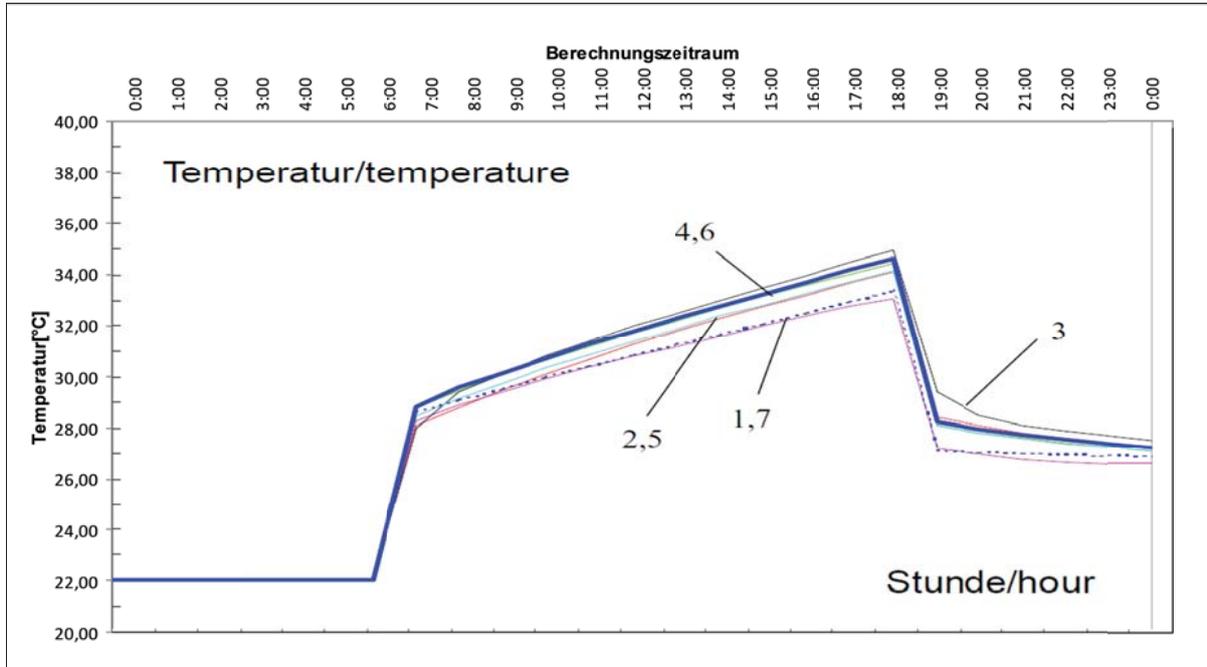


Abb. 8-7: VDI 6020, Anhang B, Bild B3a Beispiel 3 am 1.Tag[18]

8.4.2.2 Testbeispiel 3, Tag 10: DesignBuilder (Bild oben) - VDI 6020 (Bild unten)

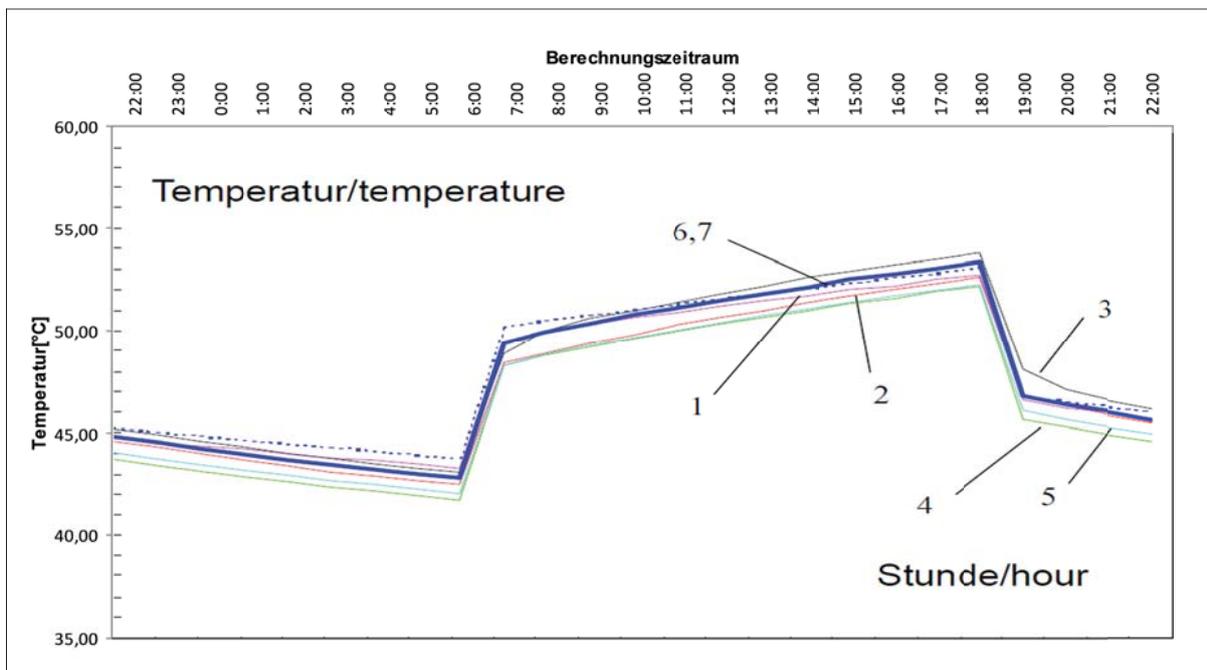
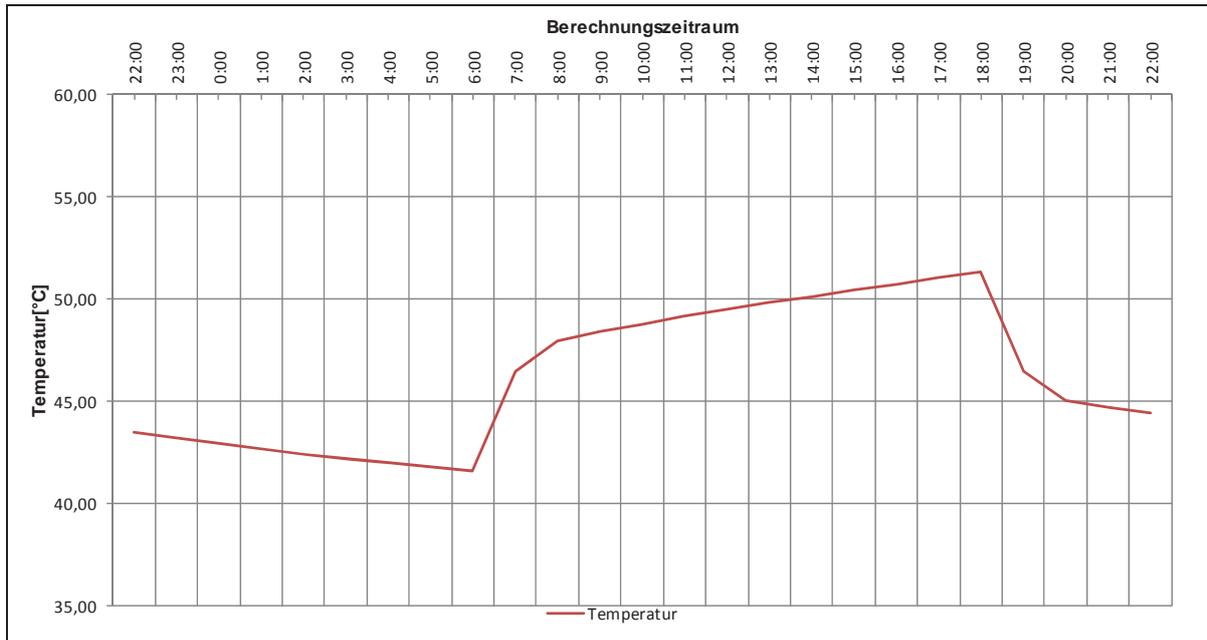


Abb. 8-8: VDI 6020, Anhang B, Bild B3b Beispiel 3 am 10.Tag[18]

8.4.2.3 Testbeispiel 3, Tag 60: DesignBuilder (Bild oben) - VDI 6020 (Bild unten)

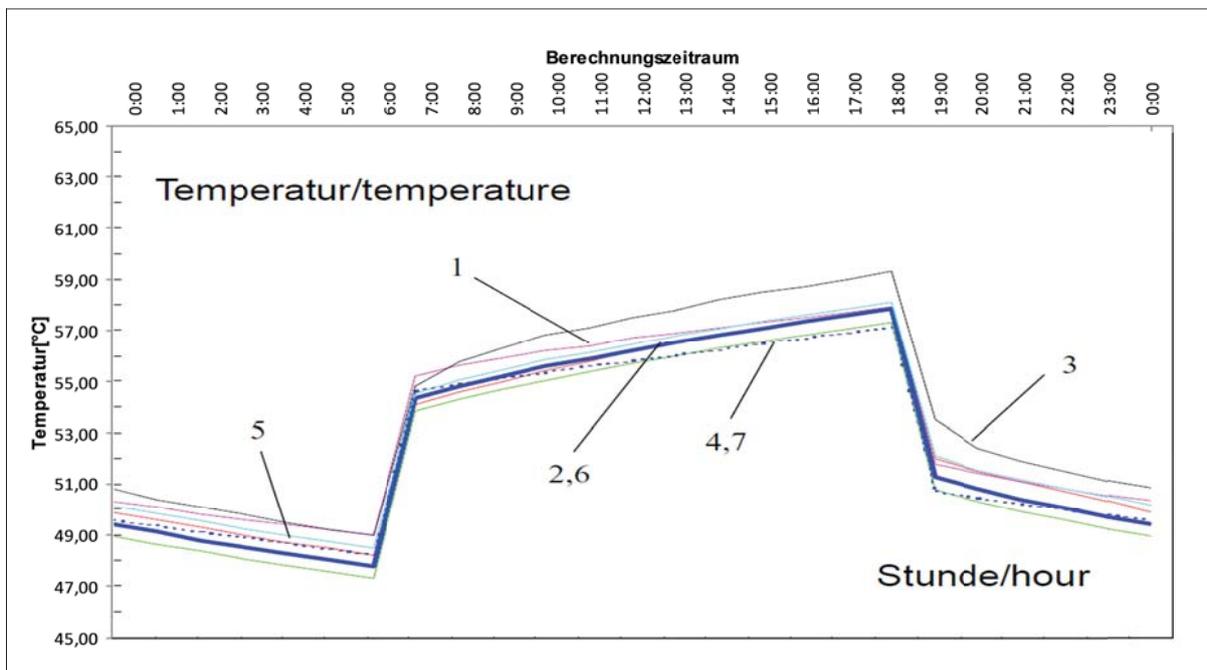
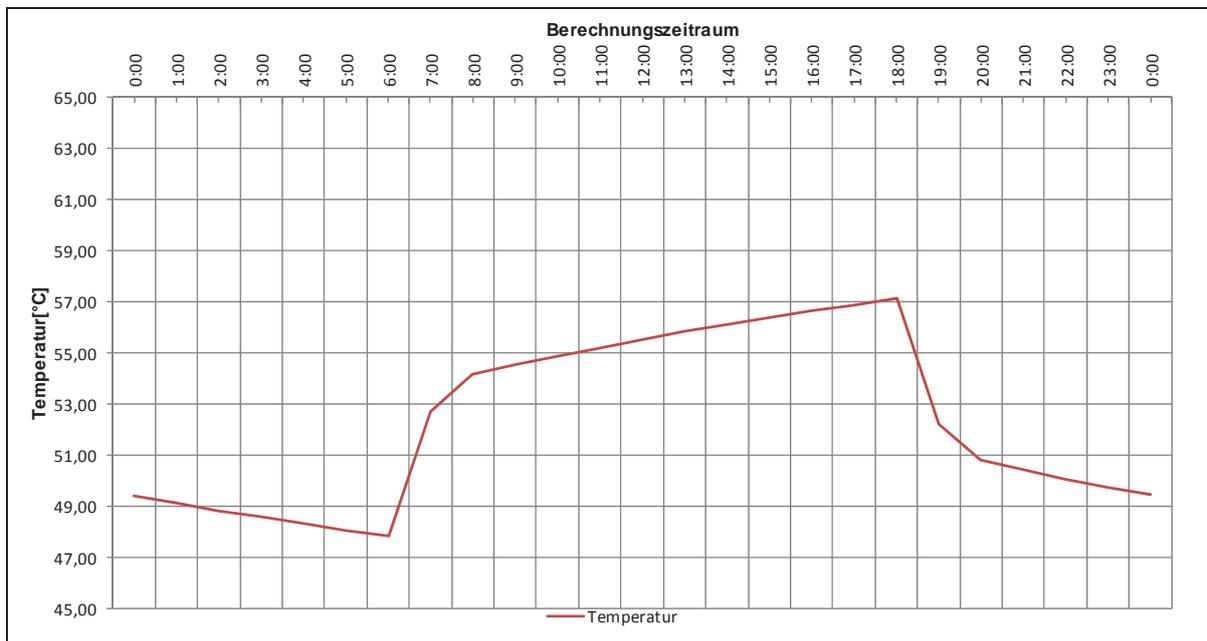


Abb. 8-9: VDI 6020, Anhang B, Bild B3c Beispiel 3 am 60.Tag[18]

8.4.3 Berechnungsergebnis - Testbeispiel 6 (nach VDI 6020, 2001)

8.4.3.1 Testbeispiel 6: DesignBuilder (Bild oben) - VDI 6020 (Bild unten)

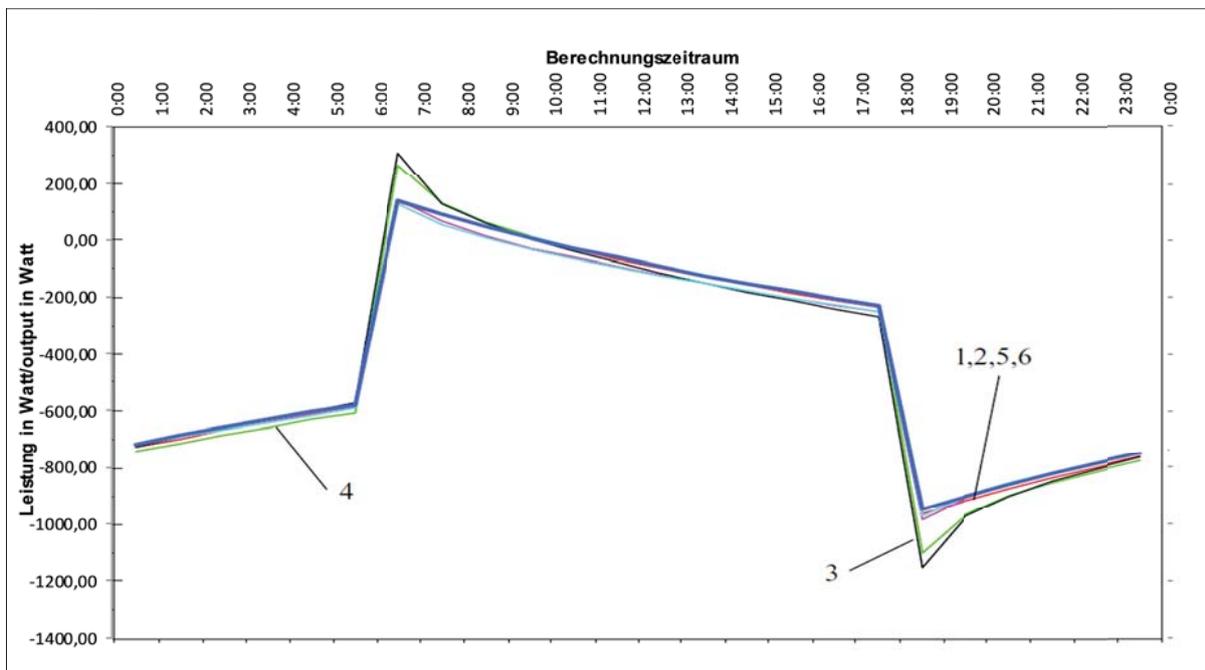
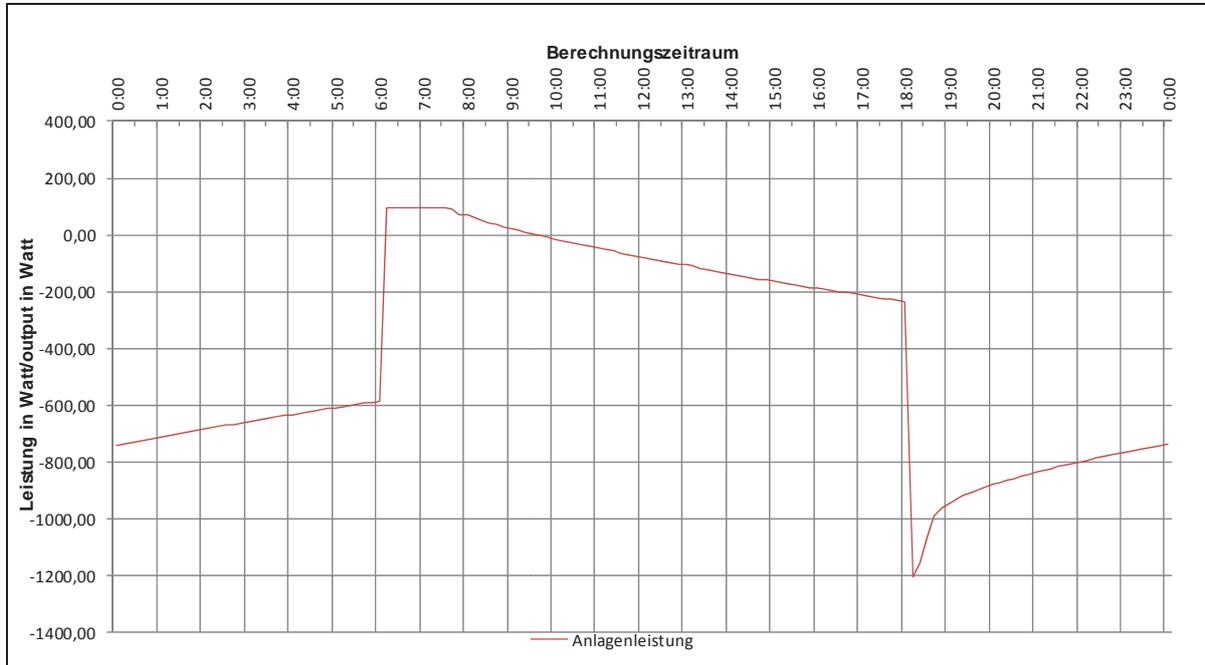


Abb. 8-10: VDI 6020, Anhang B, Bild B6a Beispiel 6 am 10.Tag[18]

8.5 Vergleich der Simulationsergebnisse (Validierung)

Der Vergleich der Berechnungsergebnisse erfolgt anhand einer Gegenüberstellung der grafischen Darstellung der Innenraumtemperatur von Beispiel 1 und Beispiel 3.

Dabei soll der berechnete Temperaturverlauf innerhalb der oberen und unteren Grenze der Referenz-Temperaturverläufe (Linie 1 bis 7) der Richtlinie liegen.

Eine besonders gute Übereinstimmung zeigen die Ergebnissen der DesignBuilder Simulation von Beispiel 1 (siehe Abb. 8-3. bis Abb. 8-5) sowie von Beispiel 3 (siehe Abb. 8-7 bis Abb. 8-9) mit der Temperaturlinie 3 „Berechnung nach dem 2-Kapazitäten-Modell“.

Auch das Einschwingverhalten von Beispiel 1, welches mit dem „Beuken-Modell“ über die Berechnungsdauer von 60 Tagen verglichen wird zeigt eine ausreichend gute Deckung (Abb. 8-6).

Der Temperaturanstieg zufolge der konvektiven Wärmezufuhr erfolgt mit DesignBuilder sowohl bei der Berechnung 1 als auch bei Berechnung 3 nicht so rasch wie bei den Referenzberechnungen. Die Temperaturen an den Steuerungspunkten (Heizbeginn und Heizende) stimmen mit den Vergleichskurven jedoch sehr gut überein. Eine mögliche Ursache dafür könnte die langsamere Anlaufphase der automatisch berechneten Heizanlage (HVAC Simple) sein.

Anhand der Anlagenleistung unter vorgegebenen Sollwerttemperaturen bei unbegrenzter Kühlkapazität und gleichzeitiger konstanter Heizleistung werden die Ergebnisse von Beispiel 6 gegenübergestellt.

Auch hier liegen die DesignBuilder Resultate innerhalb der Schwankungsbreite der experimentellen Analyse (siehe Abb. 8-10).

Die prinzipielle Überprüfung der Mindestanforderungen hinsichtlich der Algorithmen und Parameter (Beispiel 1, 3, 6) der verwendeten Software (DesignBuilder Version 3.2.0.067) wurde somit positiv durchgeführt.

Sollte sich der Softwarehersteller auf die Validierung nach der VDI-Richtlinie 6020(2001) beziehen müssen alle Testberechnungen (Beispiel 1 bis 13) eine positive Beurteilung aufweisen.

9 Simulation eines Musterraumes

9.1 Auswahl des Musterraumes

Für die Berechnung wurde ein Büroraum im Bautechnikzentrum der TU-Graz ausgewählt. Der Raum gehört dem Hochbau-Institut mit angeschlossenem Labor für Bauphysik an und befindet sich in der Inffeldgasse 24, im 1. Obergeschoss.

Wie in der nachfolgenden Skizze (siehe Abb. 9-1) dargestellt ist, wird der Büroraum seitlich und unten von anschließenden Räumen begrenzt und verfügt über eine Wand sowie eine Dachfläche als Abgrenzung zum Außenklima.

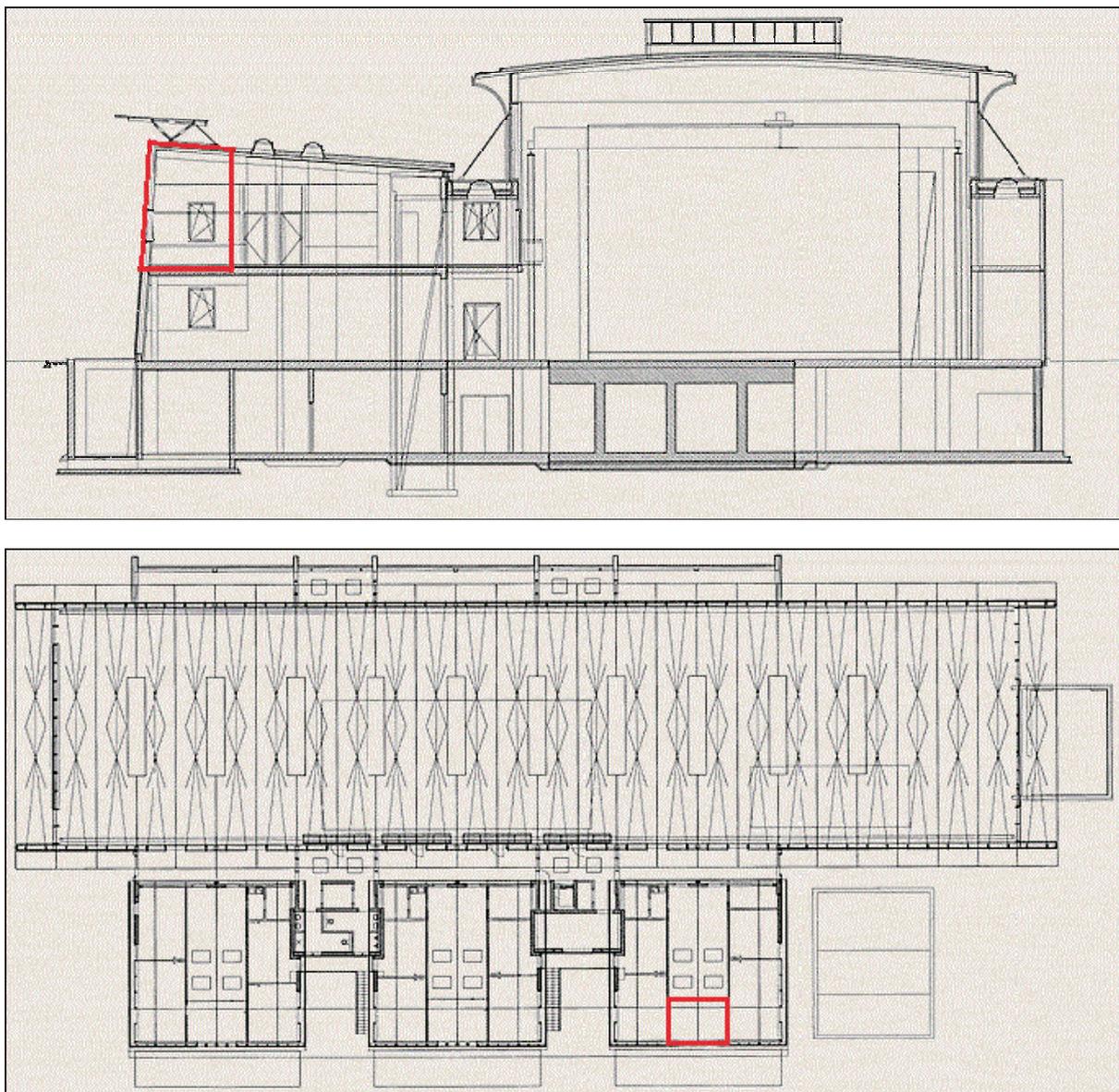


Abb. 9-1: Skizze, Bautechnikzentrum TU-Graz, Raum 040

9.1.1 Konstruktionsbeschreibung:

▪ Außenwand (Holzbau)

Bei der Außenwand handelt es sich um eine massive Kreuzlagen-Holzbauplatte (KLH), die mit 10cm Steinwolle an der Außenseite gedämmt und mit einer OSB-Platte beplankt ist. Davor befindet sich eine vorgehängte, hinterlüftete Fassadenplatte (mehrschichtig verleimte Holzplatte).

An der Innenseite der Wand kam eine einfach beplankte Gipskarton-Vorsatzschale zur Ausführung. Der Zwischenraum ist mit 6,5cm Steinwolle gedämmt und zur Raumseite hin mit einer Dampfsperre gegen Wasserdampf-Transport geschützt.

Die Außenwand ist mit 4,2 Grad nach innen geneigt und nach Süden hin ausgerichtet.

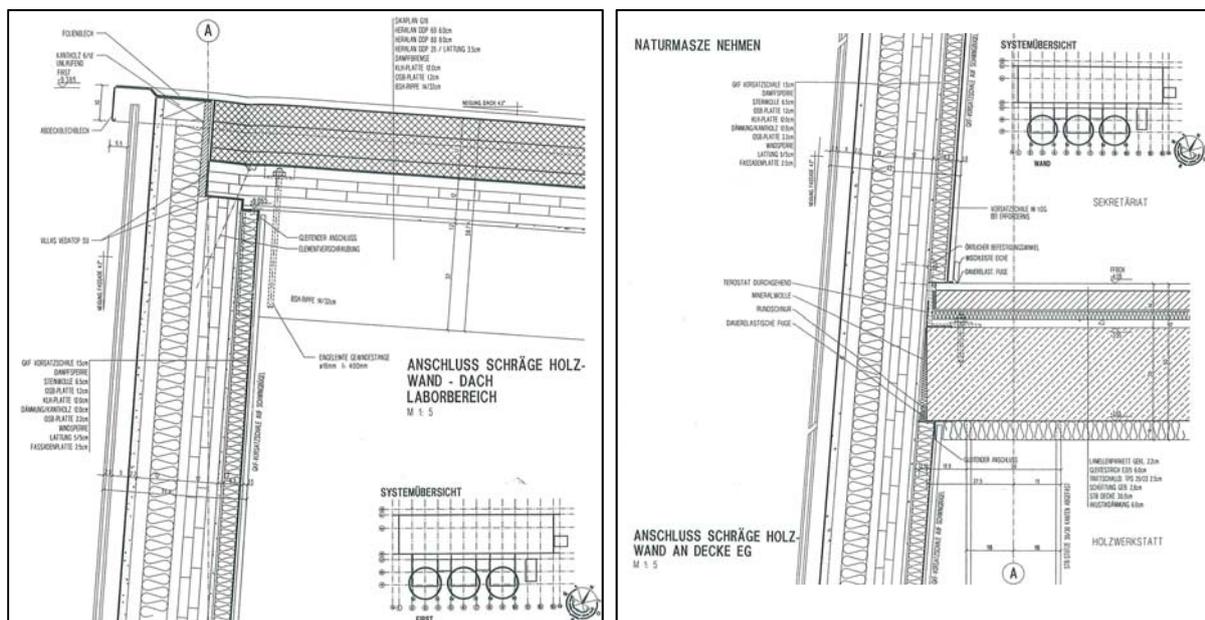


Abb. 9-2: Konstruktionsdetails, Bautechnikzentrum TU-Graz, Raum 040

▪ Dachaufbau(Warmdach)

Das Dach wird von einer massiven KLH-Platte mit darunterliegenden sichtbaren Holzbalken getragen.

Darüber befindet sich eine Dampfbremse, mehrere Lagen „Heralan“ Dämmplatten (zwischen quer verlegten Holz-Lattungen) sowie einer Kunststoff-Dachabdichtungsbahn mit Polyesterverstärkung.

▪ Fußboden

Auf der tragenden Stahlbeton-Decke befindet sich eine gebundene Ausgleichs-Schüttung, 25mm Trittschalldämmung (TPS), 6cm Gleitstrich und darüber ein geklebter Lamellenparkett.

An der Deckenunterseite wurde eine Akustikdämmung angebracht.

▪ Innenwände

Alle Innenwände (70mm Bauteildicke) sind „leichte Bürotrennwände“, bestehend aus

- ✓ 2x 16mm Spanplatte mit zwischenliegender Mineralwolle oder
- ✓ 2x 8mm Verbundscheiben-Sicherheitsglas (+abgeschlossener Luftraum).

Die 50mm dicke Eingangstüre mit den Abmessungen 850 x 2200mm besteht aus einer Holz-Spanplatte.

- Als Außenverglasung (4 Stück Velux-Dachfenster 660 x 1398mm²) wurde eine "Neutral Plus 54" Verglasung (TL-Faktor 54%, g-Wert 27%, U-Wert 1,0 W/m²K) eingesetzt. Die Fenster sind mit einer manuell bedienbaren Velux-Außenverschattung und einem innenliegenden Blendschutz ausgestattet.

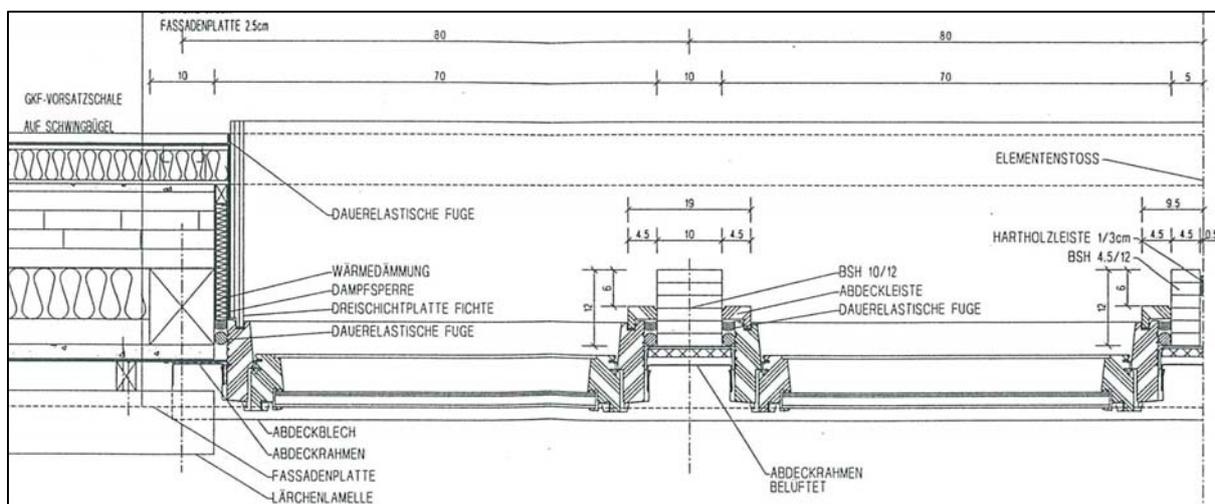


Abb. 9-3: Detail-Fenster, Bautechnikzentrum TU-Graz, Raum 040

Das Volumen des 22m² großen Raumes beträgt 93,1m³.

Durch die Vorsatzschale an der Innenseite der Außenwand sowie der „leichten Trennwände“ verfügt der Raum nur über geringe thermische Speichermassen.

Die Konstruktionszeichnungen und Aufbauten (siehe Anhang B) wurden vom Hochbauinstitut der TU-Graz zur Verfügung gestellt.

9.1.2 Haustechnik (HVAC)

- An der Außenwand, unterhalb der Fenster, befindet sich ein Radiator. In der Heizperiode erfolgt die Regelung der Raumtemperatur subjektiv nach NutzerIn über ein Heizkörperthermostat und liegt zwischen 20°C und 22°C. Die Vorlauftemperatur wird ohne Nachtabsenkung von einem Anlagenmanagement gesteuert.
- Der Raum wird über Fensterlüftung mit Frischluft versorgt, es gibt keine Klimatisierung oder mechanische Lüftung.

9.2 Variantenberechnung

In den nachfolgenden Variantenberechnungen werden die Auswirkungen äußerer Einflüsse auf das Raumklima untersucht.

- Einfluss der Fassadeneigung auf die Raumtemperatur
 - ✓ 4,2 Grad nach innen geneigt, vertikale Fassade, 4,2 Grad nach außen geneigt
- Variation der Orientierung
 - ✓ Osten, Süden, Westen

Dabei werden die Auswirkungen auf die Lufttemperatur unter verschiedenen Neigung der Verglasungsfläche sowie deren Ausrichtung nach den Himmelsrichtungen Osten, Süden und Westen betrachtet. Fensterflächen die nach Norden ausgerichtet sind werden in diesen Varianten nicht untersucht.

Der Bemessungszeitraum „Extrem-Sommer“ beginnt am Samstag, den 3. August und endet am Freitag, den 9. August. Als Nutzungszeitraum wurden die Bürobetriebszeiten von Montag bis Freitag zwischen 8 und 18 Uhr definiert.

Zum Zweck der Vergleichbarkeit werden sämtliche interne Wärmequellen (Belegung, Beleuchtung, Lüftung durch offene Türen, Infiltration durch Leckagen und die natürliche Raumlüftung über die Fenster) ausgeschaltet. Außerdem wird die Verschattungsmöglichkeit durch das Außenrollo in der Berechnung deaktiviert.

Bei den Berechnungen wird stets das Klima des Standortes Graz verwendet. Es handelt sich dabei um stundengenaue Klimadaten (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Bewölkungsgrad, Strahlungsdaten, Regenhäufigkeit, etc.).

Anschließend werden folgende Steuerungsmöglichkeiten untersucht:

- Einfluss der Fenster-Verschattung
 - ✓ Außenrollo während der Betriebszeit geschlossen
- Einfluss der internen Wärmequellen
 - ✓ Belegung, Beleuchtung, Büroausstattung
- Einfluss der „Lüftung“
 - ✓ Infiltration, natürliche Belüftung durch Nutzer, Lüftung durch offene Türen

9.2.1 Einfluss der Fassaden-Neigung auf die Raumtemperatur

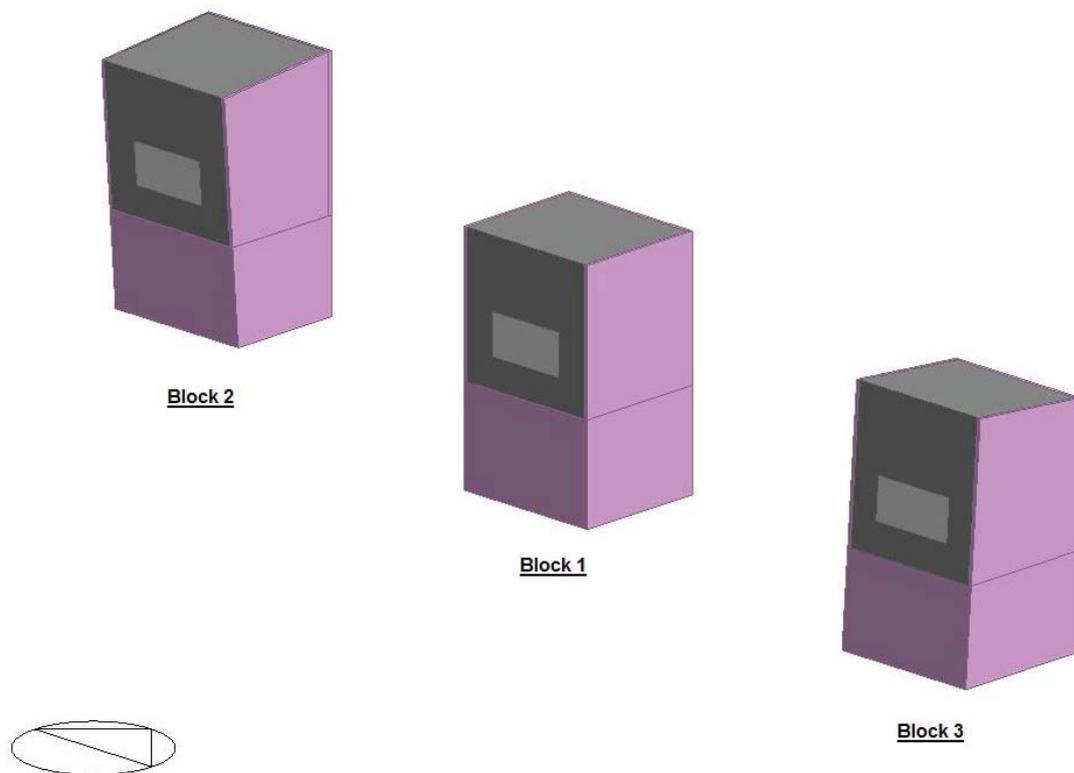


Abb. 9-4: Modell, unterschiedliche Fassadenneigungen

Der Anteil der auftreffenden Globalstrahlung auf unterschiedlich geneigte Fassadenflächen hat entscheidenden Einfluss auf die Raumtemperatur. Dabei wurde der Raum mit einer vertikalen Außenwand (Block 1), mit überhängender Fassade (Block 2) sowie der tatsächlichen Fassadenneigung von +4,2 Grad nach innen (Block 3) simuliert.

Die Geometrie wurde jeweils so angepasst, dass das Raumvolumen und die Fensterfläche in den Berechnungsvarianten gleich groß sind.

Als Berechnungsdauer der „Extrem-Sommerbemessung“ stellte sich der Zeitraum von 3. August bis 9. August als ausreichend lang heraus um die Auswirkung auf die Raumluft-Temperatur aufzuzeigen. Sonnenschutzeinrichtungen wurden in dieser Varianten-Untersuchung nicht berücksichtigt.

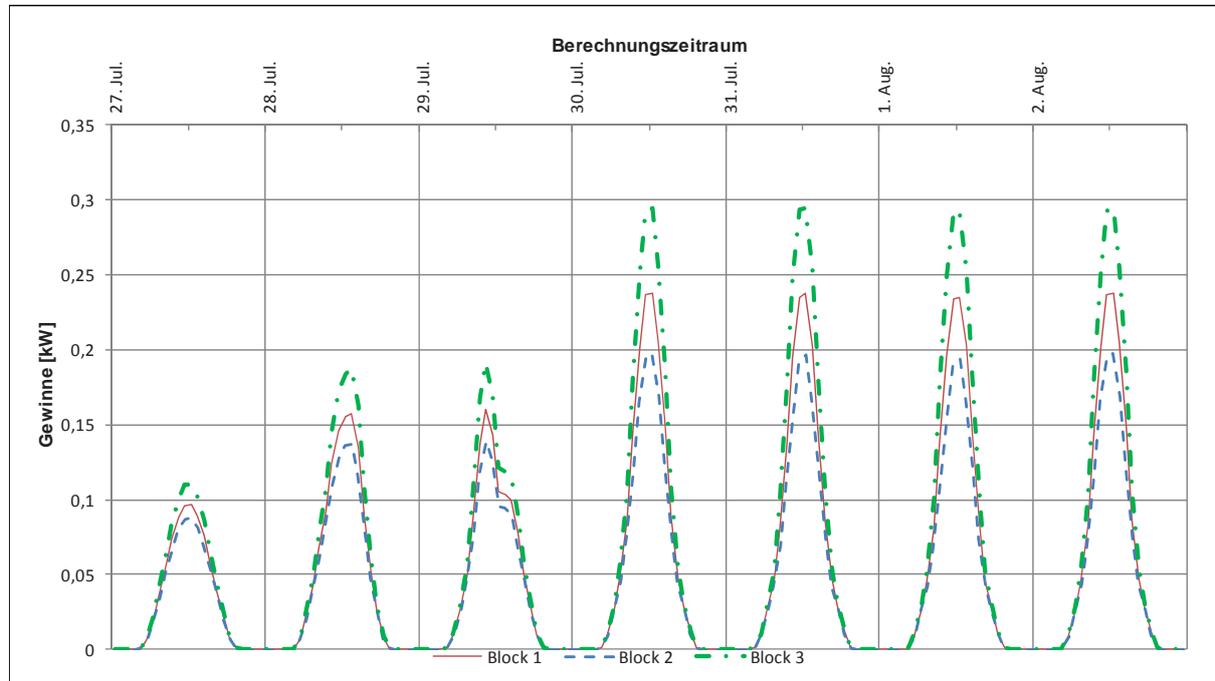
Im nachfolgenden Diagramm (Abb. 9-5) wird der Anteil der solaren Gewinne an der Fensteraußenseite je nach Fassadenneigung dargestellt. Die Fassadenflächen sind dabei wie in Abb. 9-4 dargestellt nach Süden ausgerichtet.

Die Differenz der nach außen bzw. nach innen geneigten Variante beträgt 3,19 kW an der gesamten Fensterfläche und bewirkt einen Temperaturunterschied der Lufttemperatur von 0,7°C.

Simulationsergebnis:

Fassaden-Orientierung: **Süden**

SOLARE GEWINNE AN DER FENSTERÄUßENSEITE	Vergleich:		Neigung:	Min.	Max.	Mittelwert	Summe	Differenz
	Block 1	ohne PCM	0 Grad	0,0	0,24	0,053	8,99	
Block 2	ohne PCM	+4,2 Grad	0,0	0,20	0,046	7,70		
Block 3	ohne PCM	-4,2 Grad	0,0	0,29	0,065	10,89		



Simulationsergebnis:

Fassaden-Orientierung: **Süden**

LUFTTEMPERATUR	Vergleich:		Neigung:	Min.	Max.	Mittelwert	Summe	Differenz
	Block 1	ohne PCM	0 Grad	20,8	30,1			
Block 2	ohne PCM	+4,2 Grad	20,8	29,8				
Block 3	ohne PCM	-4,2 Grad	20,9	30,5				

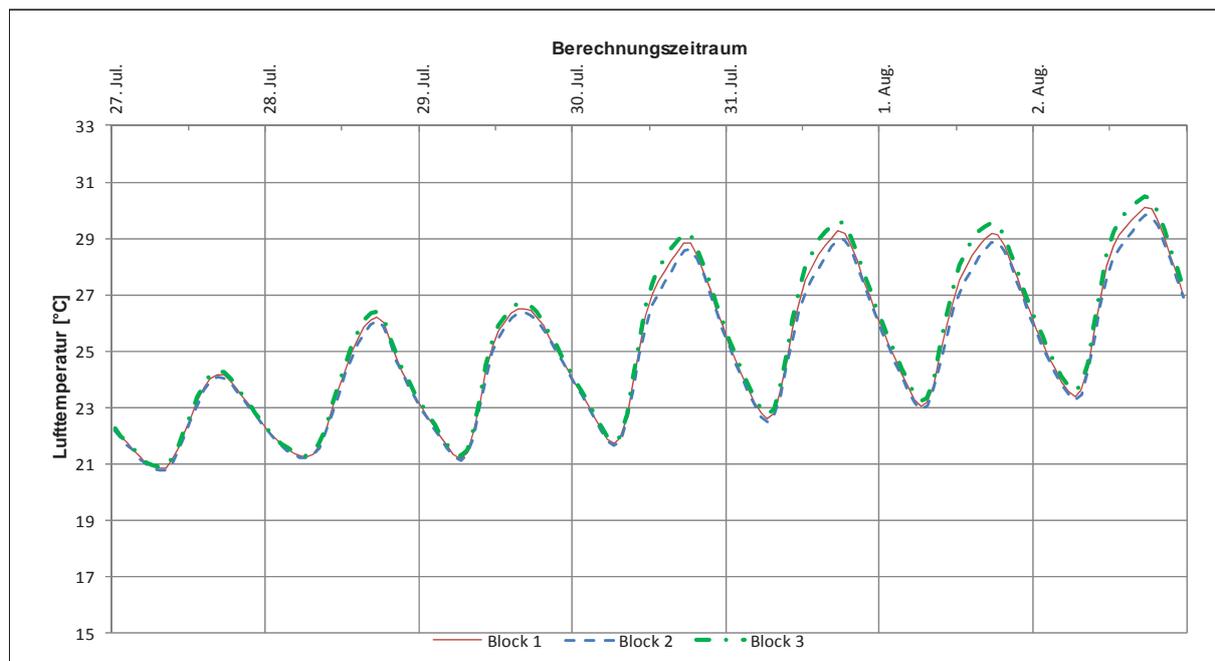


Abb. 9-5: Solare Gewinne / Lufttemperatur, unterschiedliche Fassadenneigung

9.2.2 Variation der Orientierung

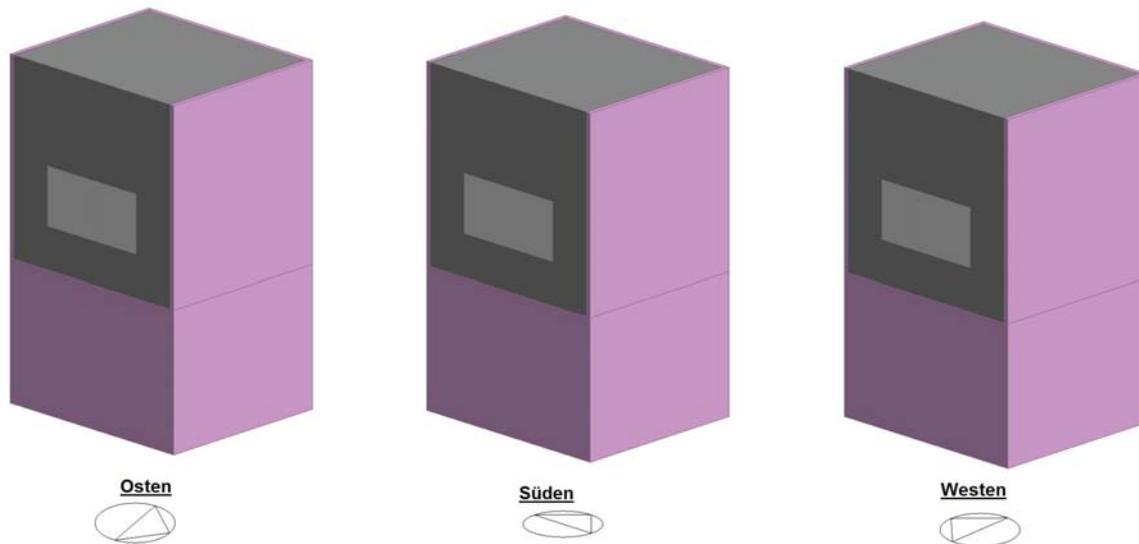


Abb. 9-6: Modell, unterschiedliche Orientierungen

Die Summe der solaren Gewinne an der Fensteraußenseite setzen sich aus den Anteilen der direkten Solarstrahlung und der diffusen Solarstrahlung zusammen.

Diese werden je nach Bewölkungsgrad (gemäß Klimadaten, siehe Pkt. 9.2, Seite 60) in Abhängigkeit von Fassadenorientierung und dem Sonnenstandswinkel zum jeweiligen Zeitpunkt an der Außenseite der Verglasung berechnet.

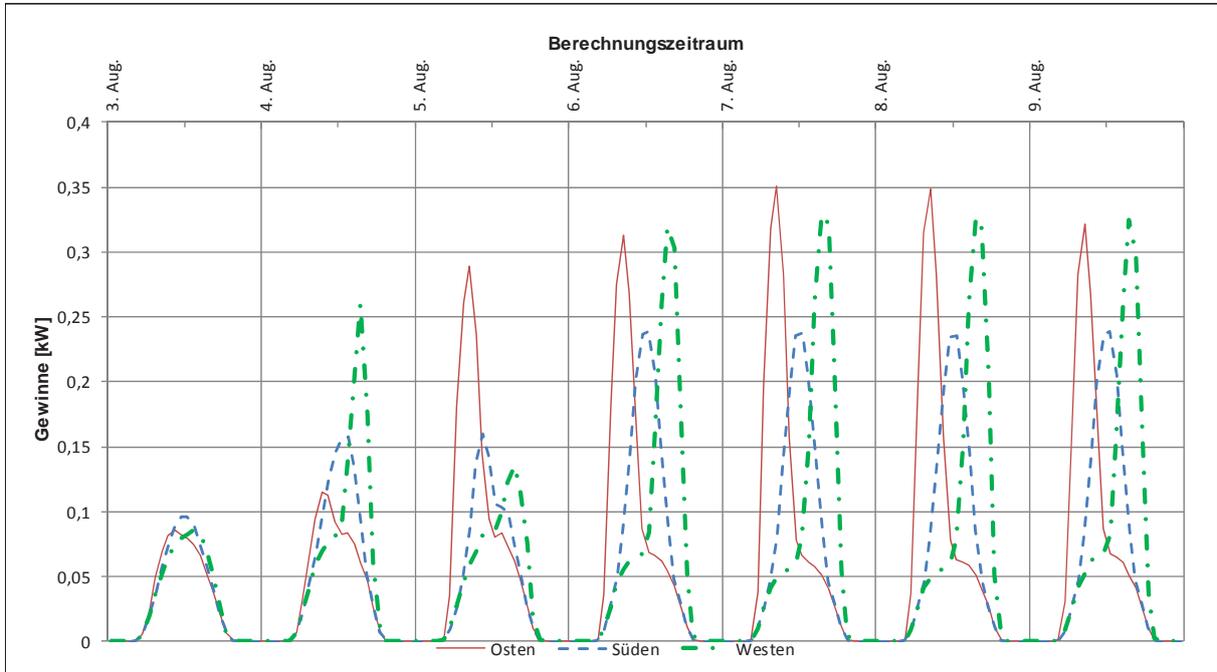
Um die Auswirkung der solaren Wärmeeinträge hinsichtlich der Orientierung zu beurteilen wurden zwei Berechnungszeiträume festgelegt. Zur „Extrem-Sommerbemessung“ vom 3. August bis 9. August wurde eine zusätzliche „Extrem-Winterbemessung“ vom 20. Jänner bis 27. Jänner durchgeführt.

Sonnenschutzeinrichtungen wurden in beiden Simulationen nicht berücksichtigt.

Im nachfolgenden Diagramm (Abb. 9-7) wird der Anteil der solaren Gewinne an der Fensteraußenseite je nach Orientierung dargestellt. Die Fassadenflächen befinden sich dabei wie in Abb. 9-6 dargestellt in vertikaler Lage (Block 1).

Simulationsergebnis: **Block 1** Fassaden-Orientierung: - **0 Grad** (vertikal)

SOLARE GEWINNE AN DER FENSTERÄUßENSEITE	Vergleich:		Neigung:	Min.	Max.	Mittelwert	Summe	Differenz
	Block 1 ohne PCM	Osten		0,0	0,35	0,060	10,05	
Block 1 ohne PCM	Süden		0,0	0,24	0,053	8,99		
Block 1 ohne PCM	Westen		0,0	0,33	0,059	9,83		



Simulationsergebnis: **Block 1** Fassaden-Orientierung: - **0 Grad** (vertikal)

SOLARE GEWINNE AN DER FENSTERÄUßENSEITE	Vergleich:		Neigung:	Min.	Max.	Mittelwert	Summe	Differenz
	Block 1 ohne PCM	Osten		0,0	0,17	0,012	2,08	
Block 1 ohne PCM	Süden		0,0	0,45	0,040	6,73		
Block 1 ohne PCM	Westen		0,0	0,18	0,013	2,17		

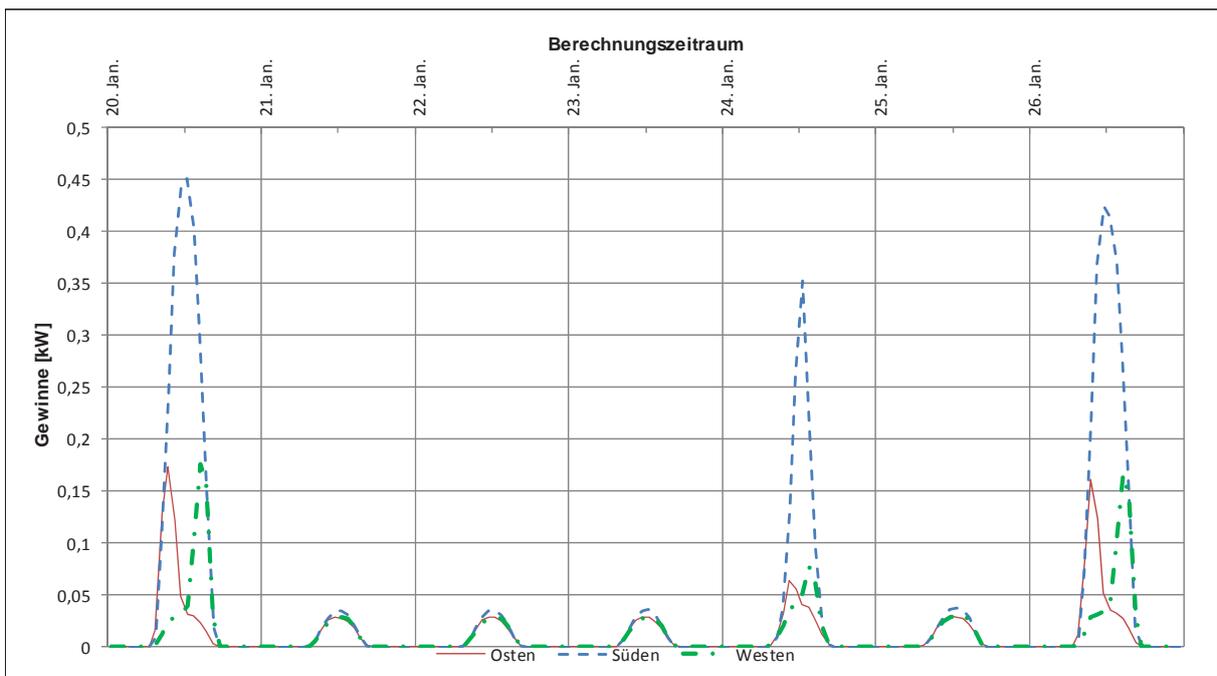


Abb. 9-7: Solare Gewinne – Sommer/Winter, unterschiedliche Orientierung

Am 1. Sommer-Berechnungstag (3. August) liegen die Solarstrahlungswerte auf Grund von konstanter Bewölkung annähernd gleich. Es kommt unabhängig von der Himmelsrichtung nur der diffuse Anteil der Strahlung zum Tragen.

Aufgrund Zu- bzw. Abnahme der Bewölkung am 2. und 3. Tag kommt es zu unterschiedlich hohen Strahlungseinträgen an den Fassadenflächen (Abb. 9-7).

Bei der nach Süden ausgerichteten Variante fällt der solare Gewinn bei unbedecktem Himmel (4. bis 7. Sommer-Berechnungstag) geringer aus als bei den nach Osten bzw. Westen ausgerichteten Fassaden

Da die Sonne im Sommer zur Mittagszeit sehr steil auf die südlich ausgerichtete Fassadenfläche trifft wird im Vergleich zur Ost- und Westseite ein geringerer Anteil der direkten Solarstrahlung übertragen.

An unbewölkten Tagen im Winter kommt es an der Südfassade aufgrund der tieferen Sonnenstellung zu einer deutlich höheren Energie-Transmission als an der Ost- und Westseite (siehe Abb. 9-7).

Durch die Kombination von Sonnenscheindauer und Sonnenstandswinkel werden in Abhängigkeit von Bewölkung und Fassadenorientierung unterschiedliche Raumlufttemperaturen berechnet. Der nach Westen ausgerichtete Raum erreicht dabei mit 31,3°C um 1,2 Grad höhere Temperaturen als der südliche Raum (Abb. 9-8).

Simulationsergebnis: **Block 1** Fassaden-Orientierung: - **0 Grad** (vertikal)
 Vergleich: Orientierung:

			Min.	Max.	Mittelwert	Summe	Differenz
LUFTTEMPERATUR	Block 1 ohne PCM	Osten	20,9	30,6			
	Block 1 ohne PCM	Süden	20,8	30,1			
	Block 1 ohne PCM	Westen	20,8	31,3			

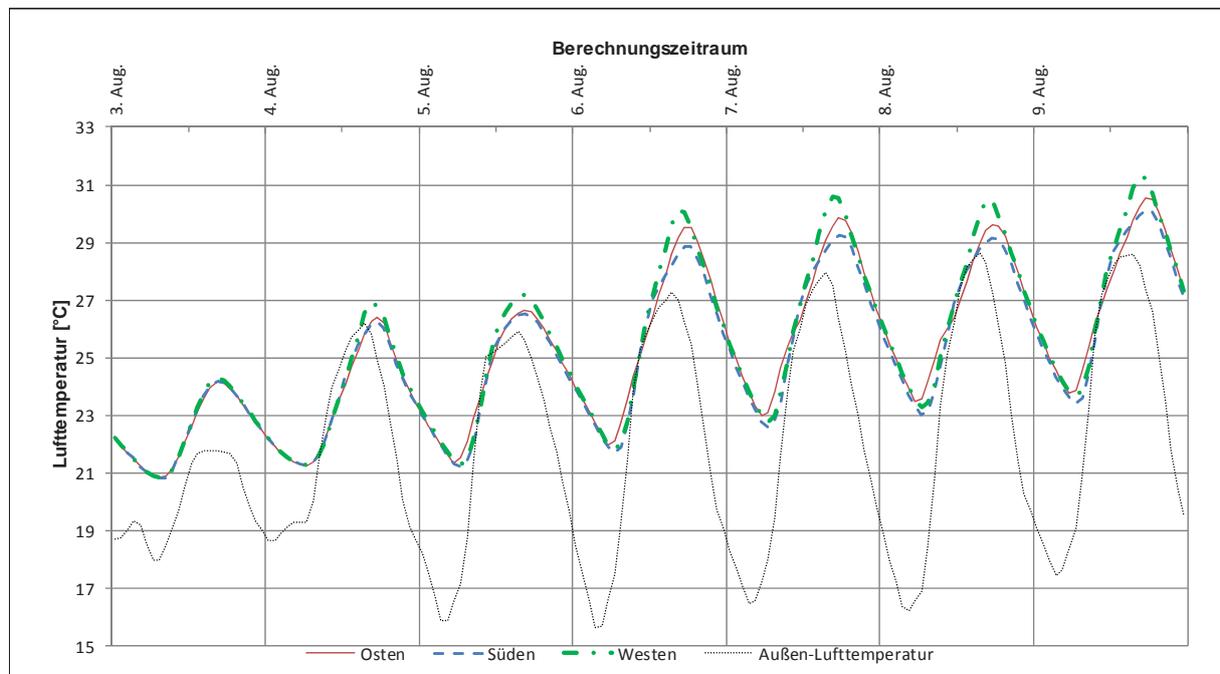


Abb. 9-8: Lufttemperatur – Sommer, unterschiedliche Orientierung

9.2.3 Einfluss der Fenster-Verschattung

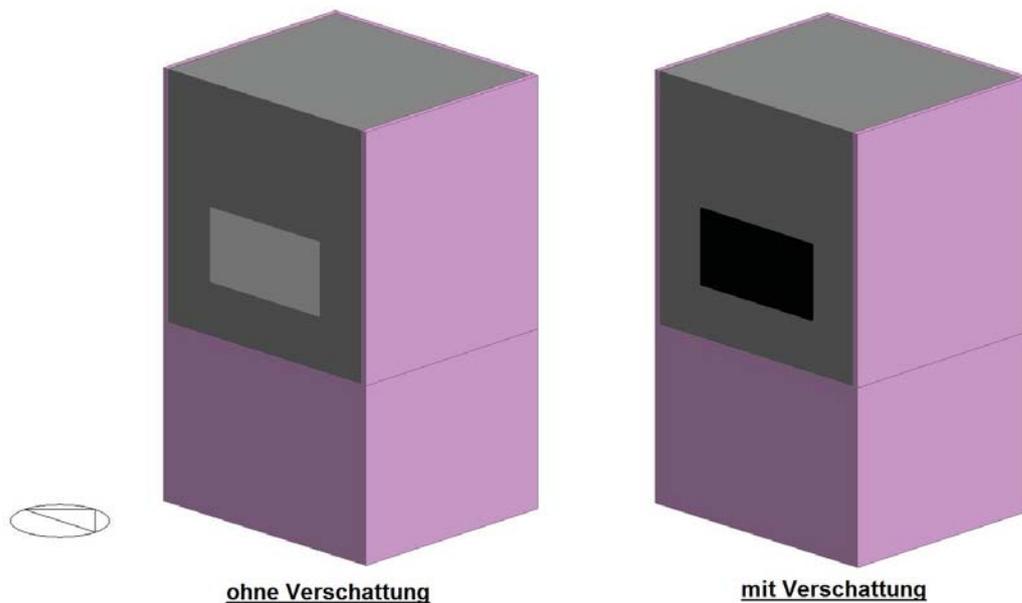


Abb. 9-9: Modell, Block 1 mit und ohne Verschattung

Die nach Süden orientierten Fenster sind mit einer manuell bedienbaren Velux-Außenverschattung ausgestattet. Laut Produktdatenblatt (siehe Anhang B, Punkt 14.4) gibt der Hersteller einen Lichtdurchlass von 12 Prozent bei einem Fc-Faktor 0,26 an. Der Abminderungs-Faktor F_c (früher z-Faktor) beschreibt die Wirksamkeit des Sonnenschutzes (Rollo und Verglasung) gegen Sonneneinstrahlung. Zusätzlich ist noch die Eingabe des solaren Transmissionsgrades sowie des solaren Reflexionsgrades erforderlich (Abb. 9-10).

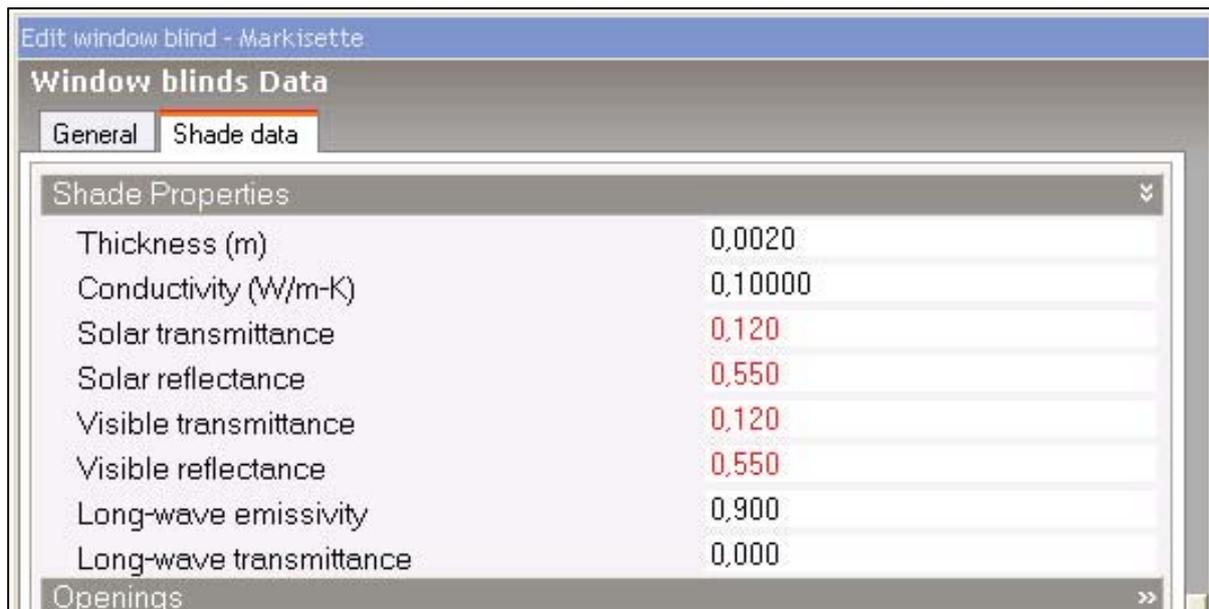


Abb. 9-10: DB-Eingabemaske „Sonnenschutz-Kennwerte“

Für die Festlegung dieser Sonnenschutz-Kennwerte wurde die Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades von außenliegendem Sonnenschutz in Kombination mit der Verglasung nach ÖNORM EN 13363-1 (2007) berechnet (siehe Abb. 9-11). [23]

Das vereinfachte Berechnungsverfahren kann nur für ein festgelegtes Spektrum hinsichtlich g-Wert der Verglasung (0,15 bis 0,80), Reflexionsgrad (0 bis 0,5) und Transmissionsgrad der Sonnenschutzeinrichtung (0,1 bis 0,8) verwendet werden. Für andere Daten ist die detaillierte Berechnung nach ÖNORM EN 13363-2 anzuwenden.

[23] ÖNORM EN 13363-1, Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades, 09/2007

Außenliegender Sonnenschutz in Kombination mit Verglasung

Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades nach ÖNORM EN 13363-1

Teil1: Vereinfachtes Berechnungsverfahren

Verglasung:	Sonnenschutzvorrichtung:
$t_v = 0,54$	$t_{v,B} = 0,12$
$r_v = 0,12$	$r'_{v,B} = 0,55$
$g = 0,27$	
$U_g = 1,00 \text{ [W/(m}^2\text{K)]}$	

Fc Faktor = $g_{\text{total}} / g =$	0,26
--	-------------

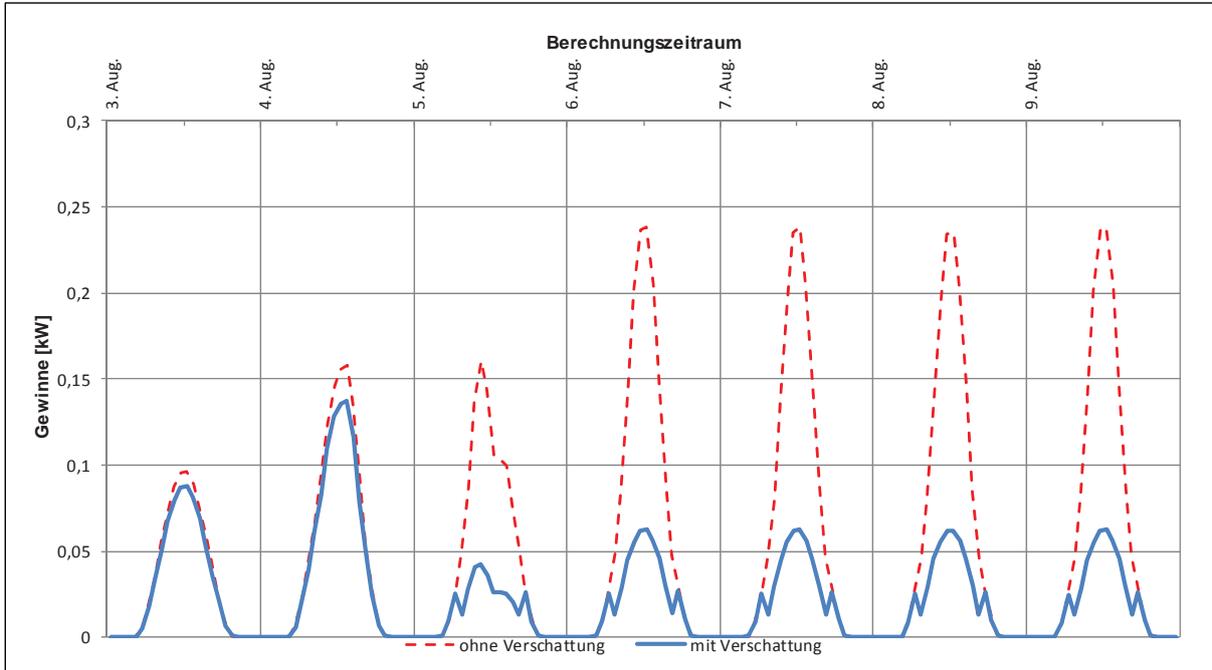
Abb. 9-11: Fc-Faktor Berechnung nach ÖNORM EN 13363-1 (2011)

In der Berechnung wurde die Verschattung während der Bürobetriebszeit von Montag bis Freitag zwischen 8 und 18 Uhr durchgehend geschlossen. Während dieser Zeit wird die Strahlungstransmission deutlich vermindert.

Der solare Eintrag kann dadurch in einer Woche um 5,02 Kilowatt (Abb. 9-12) reduziert werden und zum Zeitpunkt der Spitzenbelastung wird die Raumtemperatur um 1,4 Grad gesenkt.

Simulationsergebnis: **Block 1** Fassaden-Orientierung: **Süden** **0 Grad** (vertikal)

SOLARE GEWINNE AN DER FENSTERÄUßENSEITE	Vergleich:		Typ:				
	Block 1	ohne PCM	ohne Verschattung	Min.	Max.	Summe	Differenz
	Block 1	ohne PCM	ohne Verschattung	0,0	0,24	8,99	5,02
	Block 1	ohne PCM	mit Verschattung	0,0	0,14	3,97	



Simulationsergebnis: **Block 1** Fassaden-Orientierung: **Süden** **0 Grad** (vertikal)

LUFTEMPERATUR	Vergleich:		Typ:			
	Block 1	ohne PCM	ohne Verschattung	Min.	Max.	Max. Differenz
	Block 1	ohne PCM	ohne Verschattung	20,8	30,1	1,4
	Block 1	ohne PCM	mit Verschattung	21,1	29,2	

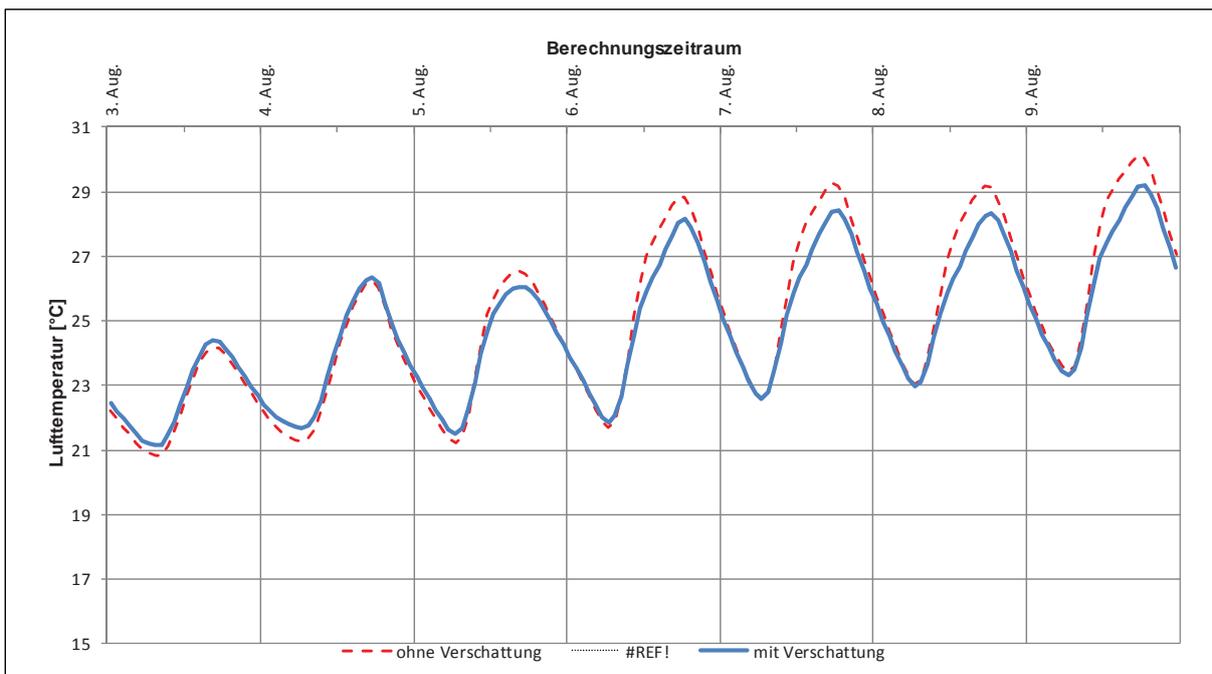


Abb. 9-12: Solarer Gewinn / Lufttemperatur – Sommer, mit und ohne Verschattung

9.2.4 Einfluss der internen Wärmequellen

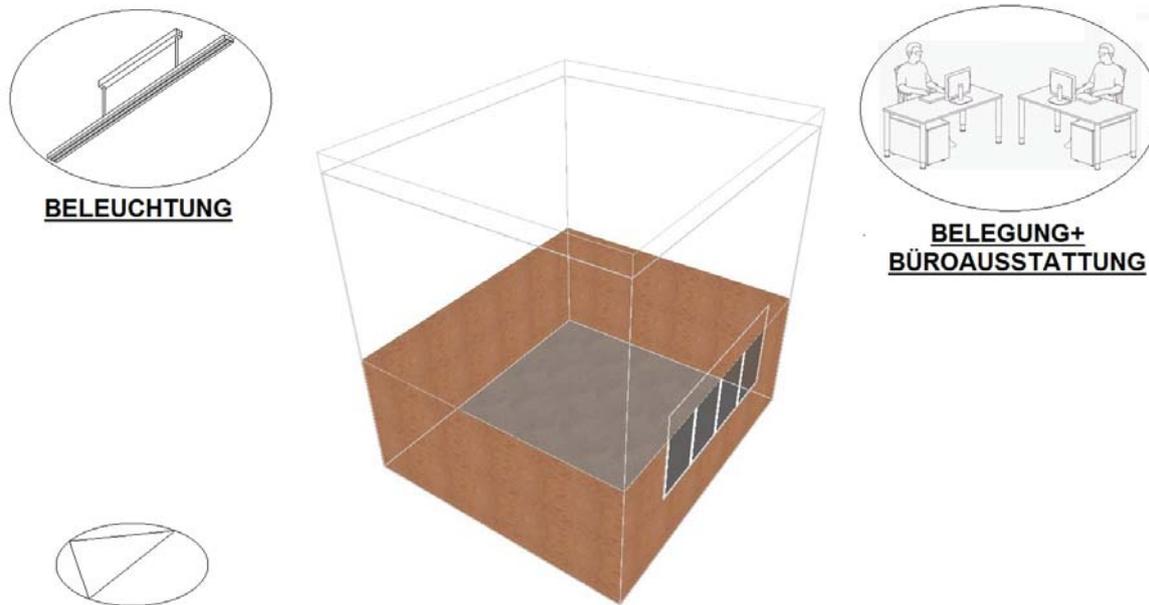


Abb. 9-13: Modell, Block 1 interne Wärmequellen

Interne Wärmequellen in Büroräumen beziehen sich hauptsächlich auf die Anzahl der gleichzeitig anwesenden Personen, den PC-Arbeitsstationen und die Raumbeleuchtung am Arbeitsplatz.

Laut Arbeitnehmerschutzgesetz muss die Beleuchtungsstärke am Büro-Arbeitsplatz mindestens 500 Lux in einer Höhe von 0,85 Meter betragen. Die Berechnung der erforderlichen Beleuchtungsstärke (sensorgesteuerte, dimmbare Beleuchtung) wird in Abhängigkeit der Tageslichthelligkeit durchgeführt. Der Blendschutz bzw. die Außenverschattung wird bei unbehaglicher Blendung automatisch geschlossen.

Bei der Büroausstattung wird von 170 Watt pro PC-Workstation ausgegangen. Im Raum befinden sich zwei Arbeitsplätze, das sind umgerechnet 16,8 Watt pro Quadratmeter an interner Wärmelast.

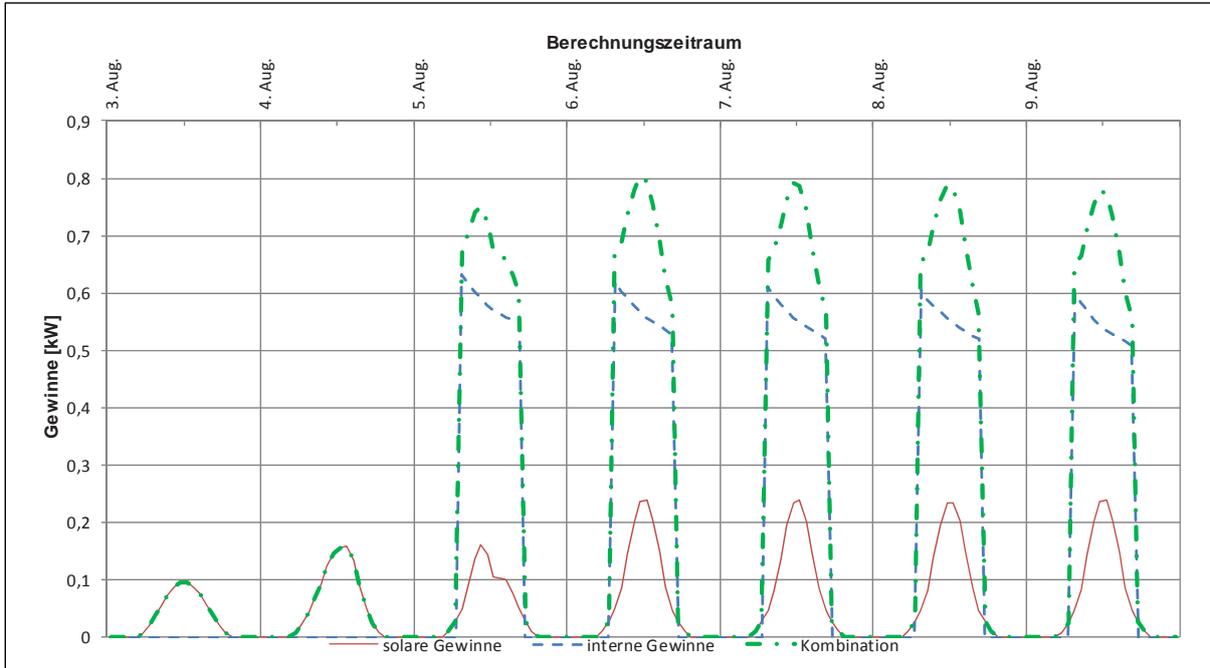
Anhand dieser Variante soll nur der Einfluss der internen Wärmequellen auf die Raumtemperatur untersucht werden, daher wurden sämtliche Lüftungsvorgänge deaktiviert.

Die extern zugeführte Solarstrahlung beträgt 8,99 Kilowatt bei nicht aktiviertem Sonnenschutz. Durch den Einsatz von Computer bei der Büro-Arbeitstätigkeit kommt es während einer Woche zu einem internen Wärmeeintrag von 28,09 Kilowatt.

Durch die Büronutzung ohne Berücksichtigung von Lüftung, Infiltration kommt es im Vergleich zum „leer stehenden Raum“ zu einem maximalen Temperaturanstieg von 6,3 Grad (siehe Abb. 9-14).

Simulationsergebnis: **Block 1** Fassaden-Orientierung: **Süden** **0 Grad** (vertikal)

INTERNE GEWINNE	Vergleich:		Neigung:		Min.	Max.	Summe
	Block 1	ohne PCM			Süden	solare Gewinne	0,0
	Block 1	ohne PCM	Süden	interne Gewinne	0,0	0,63	28,09
	Block 1	ohne PCM	Süden	Kombination	0,0	0,80	37,07



Simulationsergebnis: **Block 1** Fassaden-Orientierung: **Süden** **0 Grad** (vertikal)

LUFTTEMPERATUR	Vergleich:		Orientierung:		Min.	Max.	Differenz
	Block 1	ohne PCM			Süden	solare Gewinne	
	Block 1	ohne PCM	Süden	interne Gewinne	20,8	34,7	
	Block 1	ohne PCM	Süden	Kombination	20,8	36,4	

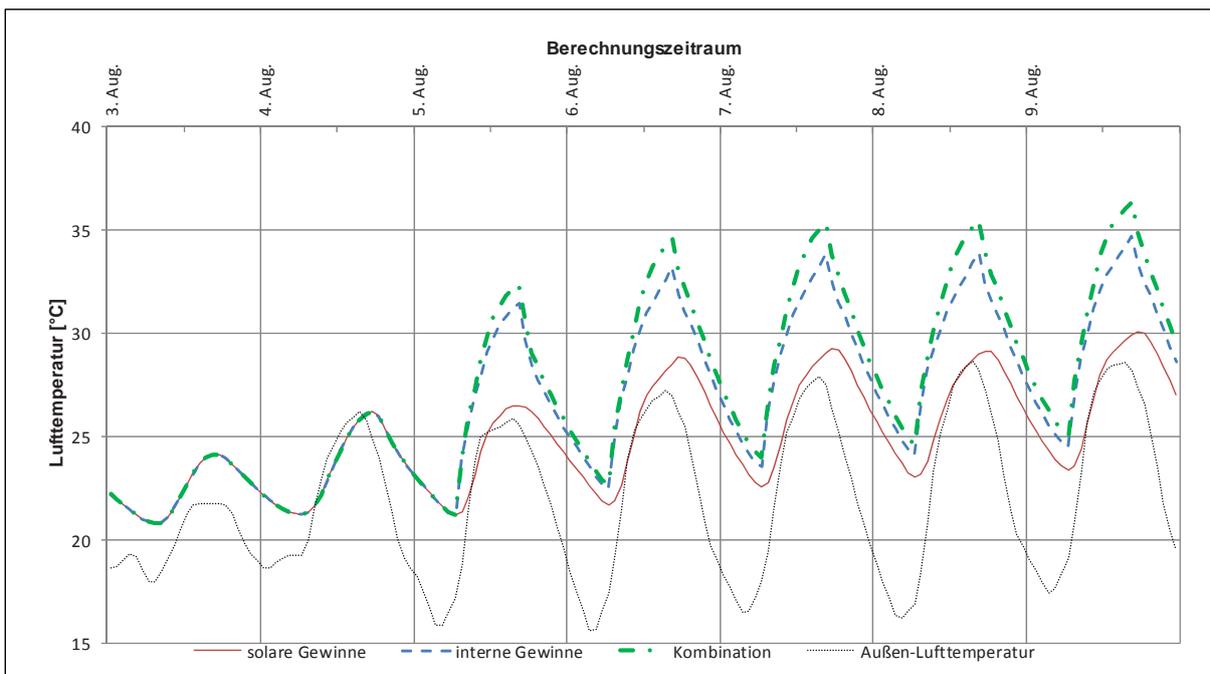


Abb. 9-14: Gewinn / Lufttemperatur – Sommer, interne Wärmequellen

9.2.5 Einfluss der „Lüftung“

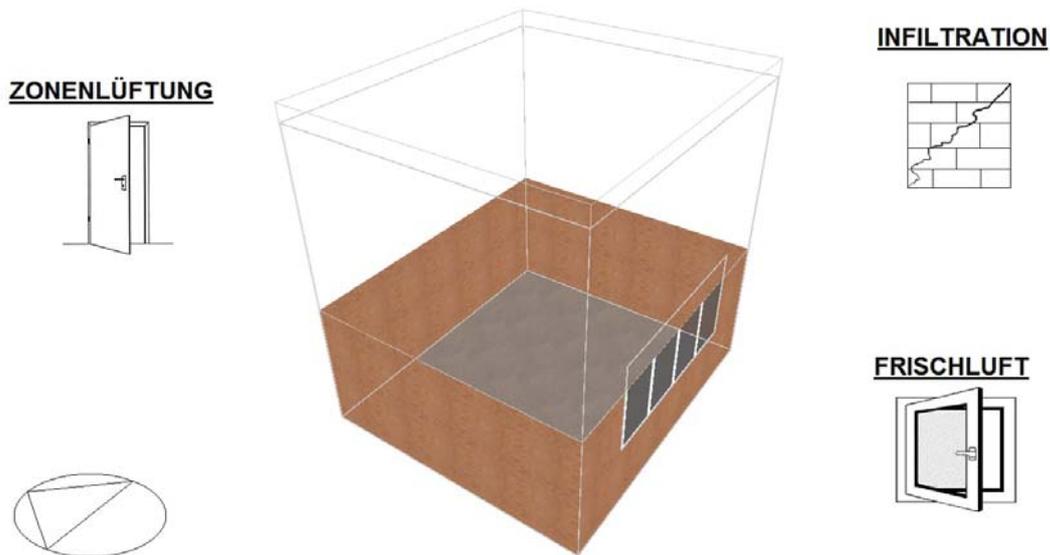


Abb. 9-15: Modell, Block 1, Infiltration - Lüftung

Der natürliche Luftwechsel kann wie in Abb. 9-15 dargestellt durch die Belüftung der Fenster, über Türen zu angrenzenden Räumen sowie durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle stattfinden.

Mechanische Lüftungsanlagen kommen vor allem in Niedrig- oder Passivhäuser oder in Kombination mit Klimaanlage zum Einsatz, werden jedoch in dieser Variantenberechnung nicht untersucht.

Die Luftwechselrate n oder auch Luftwechselzahl (ac/h) ist definiert als der Quotient aus Außenluftvolumenstrom und Raumluftvolumen.

Für die Berechnung der zu- bzw. abgeführten Energie stellt DesignBuilder einige Optionen zur Verfügung. Bei der Infiltration kann zwischen einem fixen stündlichen Luftwechsel (ac/h) oder einer detaillierten Berechnung anhand der Geometrie und der Ausführungsqualität hinsichtlich Dichtheit ausgewählt werden.

Die Luftdichtheits-Datenbank (Abb. 9-16) basiert auf empirisch festgelegten typischen Luftwechselraten für die vordefinierten Gebäude-Kategorien (Excellent, Good, Medium, Poor, Very poor).

In dieser Berechnung wurde die vordefinierte Gebäude-Dichtheits-Kategorie „Good“ ausgewählt. Der Luftaustausch über Leckagen und Fensterdichtungen wird anhand der Druckdifferenz zufolge Windgeschwindigkeit der Klimadatei errechnet.

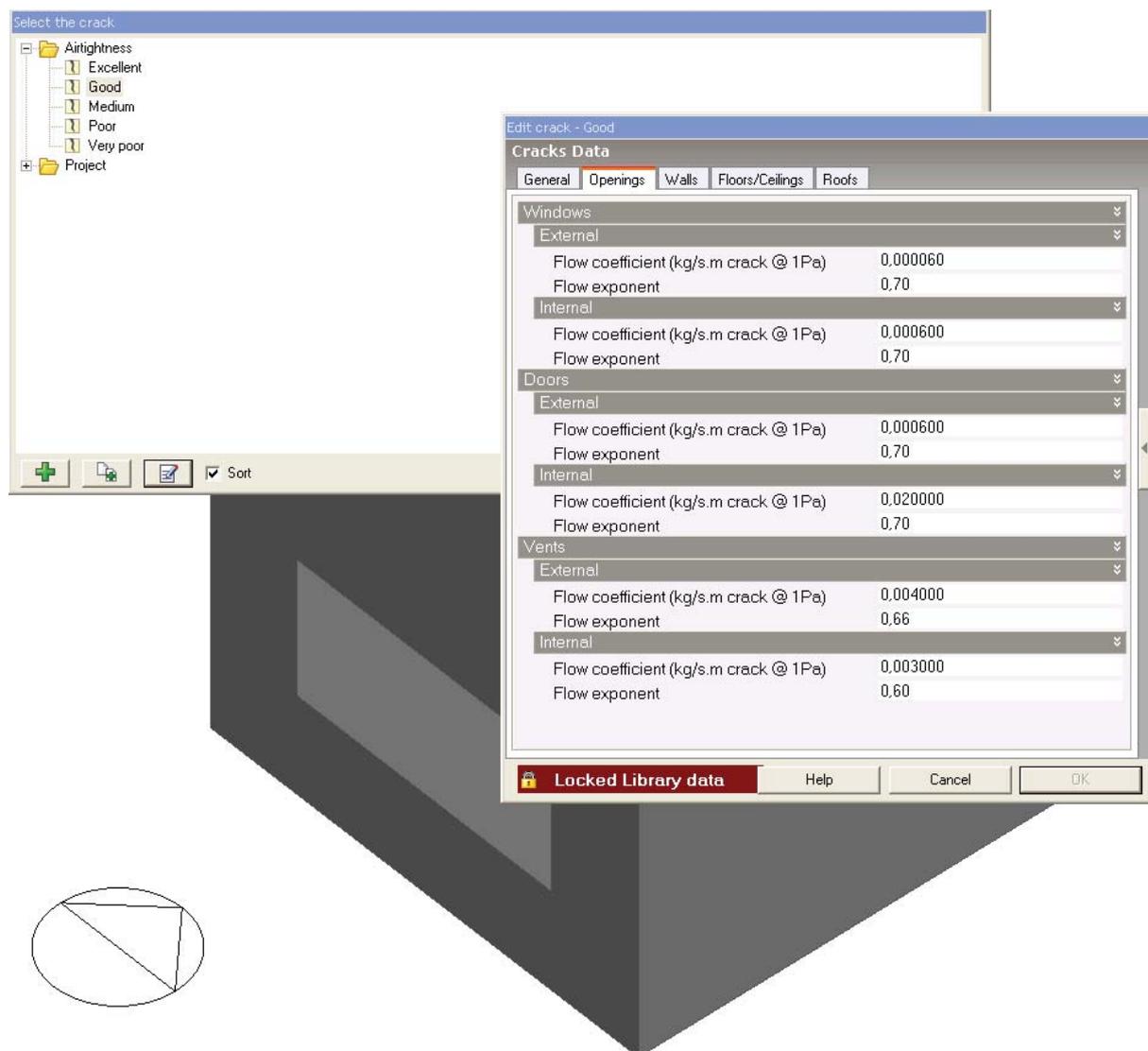


Abb. 9-16: Modell, Block 1, Infiltration – detaillierte Berechnung

Als Frischluftmenge pro Arbeitnehmer/in und Stunde werden 35m^3 Außenluftvolumen bei geringer körperlicher Belastung empfohlen. Dies entspricht einer mindesterforderlichen Frischluftmenge von 10 Liter pro Sekunde je anwesender Person.

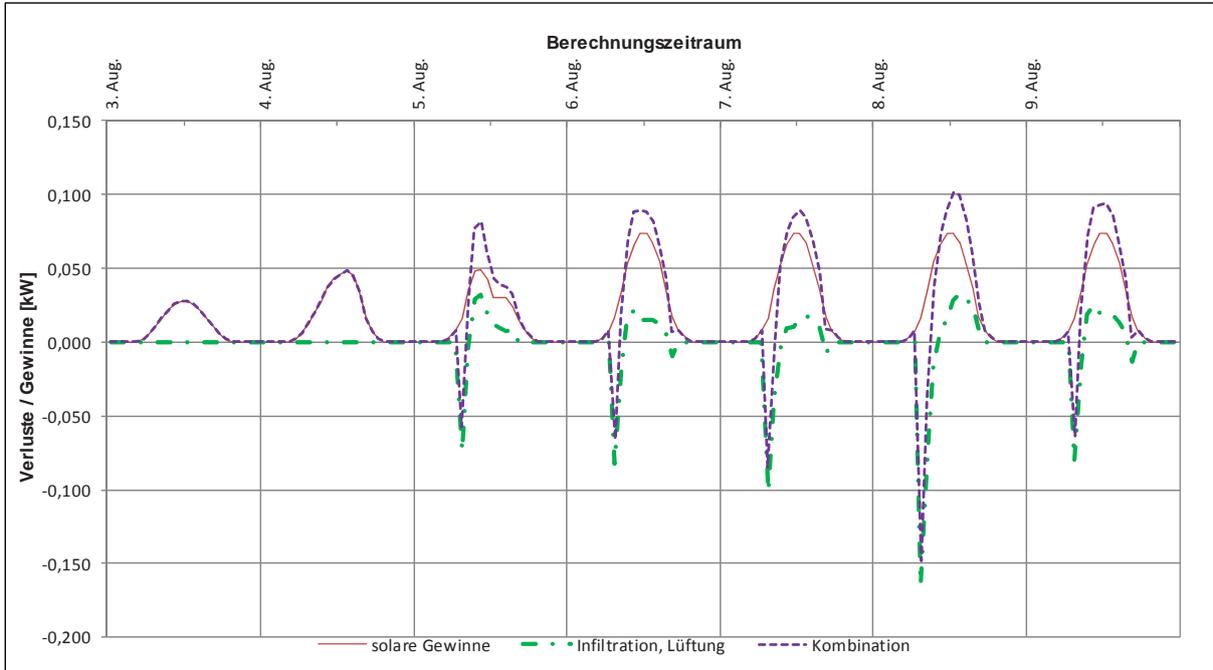
Die Zonenlüftung erfolgt über die offene Türe ($B \times H$ $850 \times 2250\text{mm}^2$) während 5 Prozent der Betriebszeit (Mo-Fr, 8-18Uhr).

Im Raum sind keine zusätzlichen Wärmequellen vorhanden und der Sonnenschutz ist ständig geschlossen, dadurch soll der Temperaturunterschied zufolge Lüftung verdeutlicht werden.

Während des Berechnungszeitraums (Sommerbemessung) liegt die Außentemperatur in der Nacht zwar unter der Raumtemperatur, da die Fensterlüftung jedoch nur während der Betriebszeiten aktiviert ist kommt es zu keiner Luftabkühlung (siehe Abb. 9-17).

Simulationsergebnis: **Block 1** Fassaden-Orientierung: **Süden** **0 Grad** (vertikal)

Vergleich:		Neigung:				
INFILTRATION, LÜFTUNG	Block 1 ohne PCM	Süden	solare Gewinne	Min. 0,0	Max. 0,07	Summe 2,98
	Block 1 ohne PCM	Süden	Infiltration, Lüftung	-0,2	0,03	-0,13
	Block 1 ohne PCM	Süden	Kombination	-0,1	0,10	2,84



Simulationsergebnis: **Block 1** Fassaden-Orientierung: **Süden** **0 Grad** (vertikal)

Vergleich:		Orientierung:				
LUFTTEMPERATUR	Block 1 ohne PCM	Süden	ohne Lüftung	Min. 20,5	Max. 29,1	Differenz 0,0
	Block 1 ohne PCM	Süden	Infiltration, Lüftung	20,5	29,1	

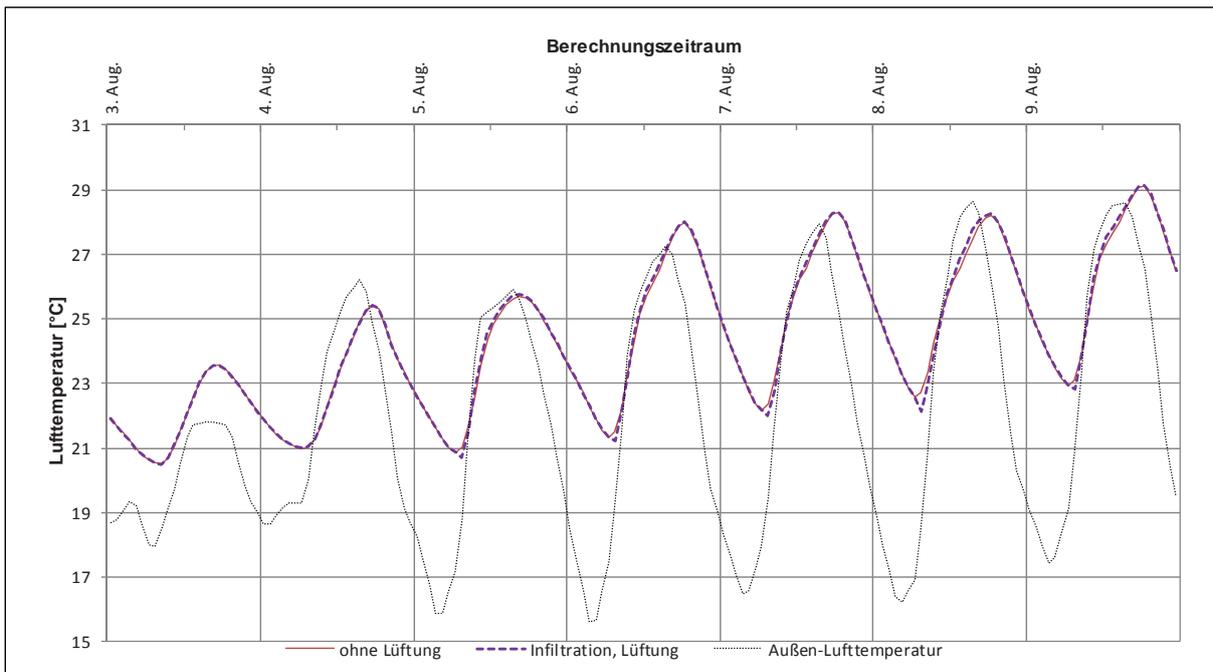


Abb. 9-17: Verluste-Gewinn / Lufttemperatur – Sommer, Infiltration - Lüftung

9.3 Simulation „Gesamter-Sommer“ ohne PCM

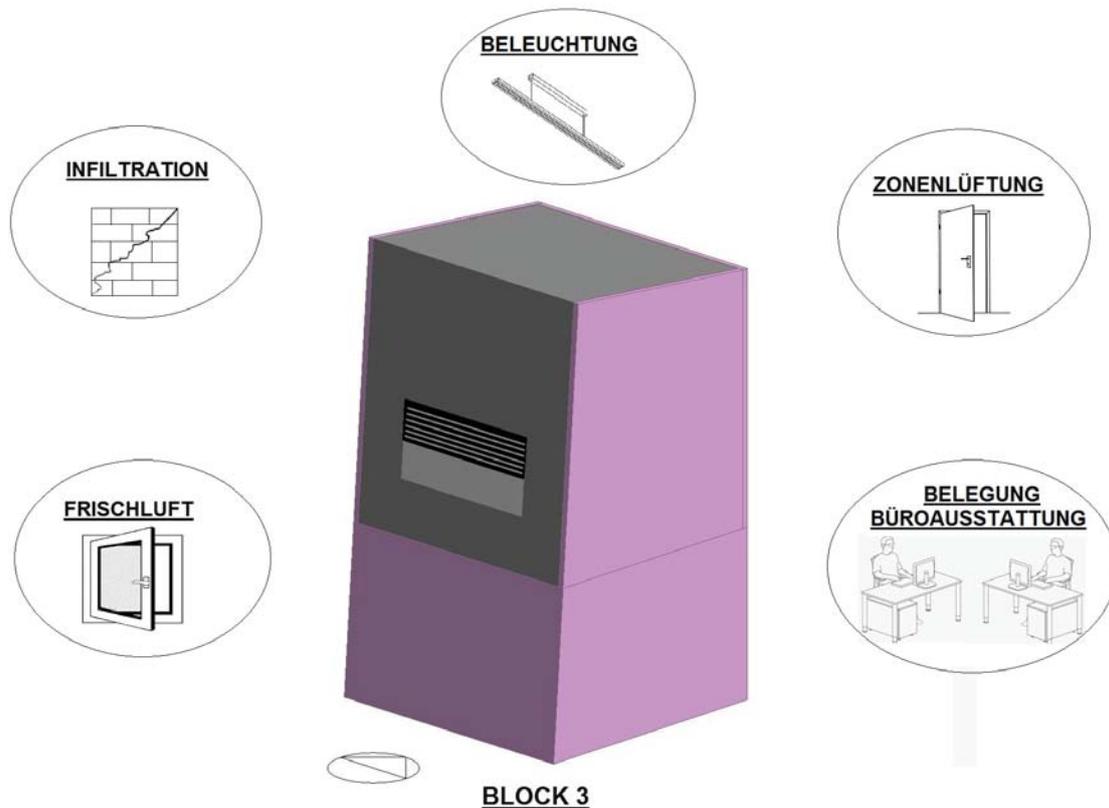


Abb. 9-18: Musterraum (Block 3), Simulation - „Gesamter-Sommer“ ohne PCM

In den Variantenberechnungen (siehe Pkt. 9.2) wurden sämtliche Einzel-Einflüsse auf das Raumklimaverhalten untersucht. Da diese Aktivitäten in der Praxis jedoch stets gleichzeitig in Aktion treten wird nun eine Sommer-Simulation des Musterraumes durchgeführt.

Die Simulation „Gesamter Sommer“ vom 1. April bis 30. September soll Aufschluss über das Behaglichkeitsempfinden der BenutzerInnen hinsichtlich der Raumtemperatur geben.

Die Lufttemperatur hat den größten Einfluss auf das Behaglichkeitsempfinden der BenutzerInnen und hängt stark von subjektiven Kriterien wie Bekleidung, Tätigkeit, Alter und Geschlecht ab.

Im Sommer sind aufgrund der leichteren Bekleidung noch Temperaturen bis 26°C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 40 Prozent behaglich.

Bevor die Berechnung durchgeführt werden kann ist es erforderlich das BenutzerInnen verhalten sowie den Zustand des Gebäudes bei den gleichzeitig statt findenden thermischen Aktivitäten (Abb. 9-18) zu definieren.

Als Eingabedaten für die Berechnung wurden folgende Annahmen getroffen (Tab. 9-1):

- Geometrie und Bauteilangaben gemäß der Konstruktionsbeschreibung (Pkt. 9.1.1)

- ✓ Fassadenfläche 4,2 Grad nach innen geneigt (Block 3)

- Orientierung der Außenwand

- ✓ Süden (180°)

- Fenster-Verschattung

- ✓ Automatische Verdunkelung bei unangenehmer Blendung

Mit dieser Annahme kann das BenutzerInnenverhalten am besten simuliert werden.

- Internen Wärmequellen

- ✓ Belegung (2 Personen \triangleq 0,099 Personen/m²),
- ✓ Beleuchtung (500 Lux auf 0,85 m Arbeitshöhe),
- ✓ Büroausstattung (120 Watt je PC-workstation \triangleq 11,8 W/m²)

- Luftwechsel

- ✓ Infiltration (detaillierte Berechnung der Gebäudedichtheit „Good“),
- ✓ natürliche Belüftung (Mindest-erforderliche Frischluftmenge 10l/s je Person),
- ✓ Lüftung durch offene Türen (50% der Betriebszeit offen stehend)

	Type	Value	Unit	Schedule
Activity				
	Occupancy	0,099	people/m ²	Office_Open8-18
	Minimum Fresh Air	10	l/s per person	
	Office Equipment	11,77	W/m ²	Office_Open8-18
Openings				
	Shading		Glare	
	Internal Door	100	% Area opens	
	Internal Door control	50	%Door open	On
Lighting				
	Lighting	500	Lux	
	Lighting	3,3	W/m ² per 100Lux	Office_Open8-18
	Lighting control			Linear/Off
HVAC				
	Model Infiltration	0,5	ac/h	On
	Natural ventilation		Min fresh air(per pers	Office_Open8-18

Tab. 9-1: DesignBuilder Simulation „Gesamter-Sommer“ Input

9.3.1 Simulation „Gesamter-Sommer“ ohne PCM

Anhand der Wärmebilanz über den gesamten Sommer (Abb. 9-19) sieht man, dass die Summe der zugeführten Wärme, Solarstrahlung (87,08 kWh) und internen Wärmequellen (766,83 kWh) größer ist als die Wärmemenge die durch Infiltration und Lüftung abgeführt werden kann.

Simulationsergebnis: **Block 3** Fassaden-Orientierung: **Süden** **-4,2 Grad** (nach innen geneigt)

Vergleich:				Min.	Max.	Summe	
INFILTRATION, LÜFTUNG	Block 3	ohne PCM	Süden	solare Gewinne	0,2	11,05	87,08
	Block 3	ohne PCM	Süden	interne Wärmequellen	0,0	6,65	766,83
	Block 3	ohne PCM	Süden	Infiltration, Lüftung	-3,7	0,00	-319,17

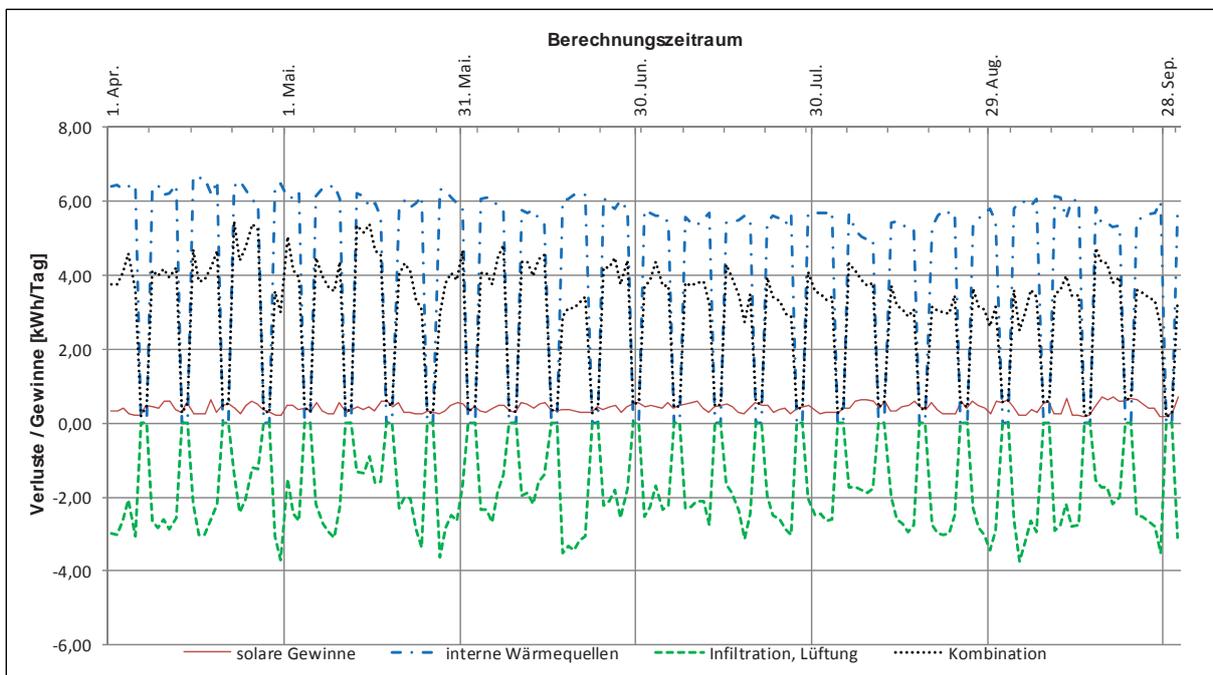


Abb. 9-19: Block3, Wärmetransport – „Gesamter Sommer“ ohne PCM

Die überschüssige Energie kann von den umschließenden Bauteilen mit geringer speicherwirksamer Masse nicht aufgenommen werden. Daher steigen die Temperaturen an den meisten Tagen über die Behaglichkeitsgrenze von 26°C an. (siehe Abb. 9-20)

Simulationsergebnis: **Block 3** Fassaden-Orientierung: **Süden** -4,2 Grad (nach innen geneigt)

Vergleich:				Min.	Max.	Differenz	
LUFTTEMPERATUR	Block 3	ohne PCM	Süden	Raumlufttemperatur	19,5	34,3	

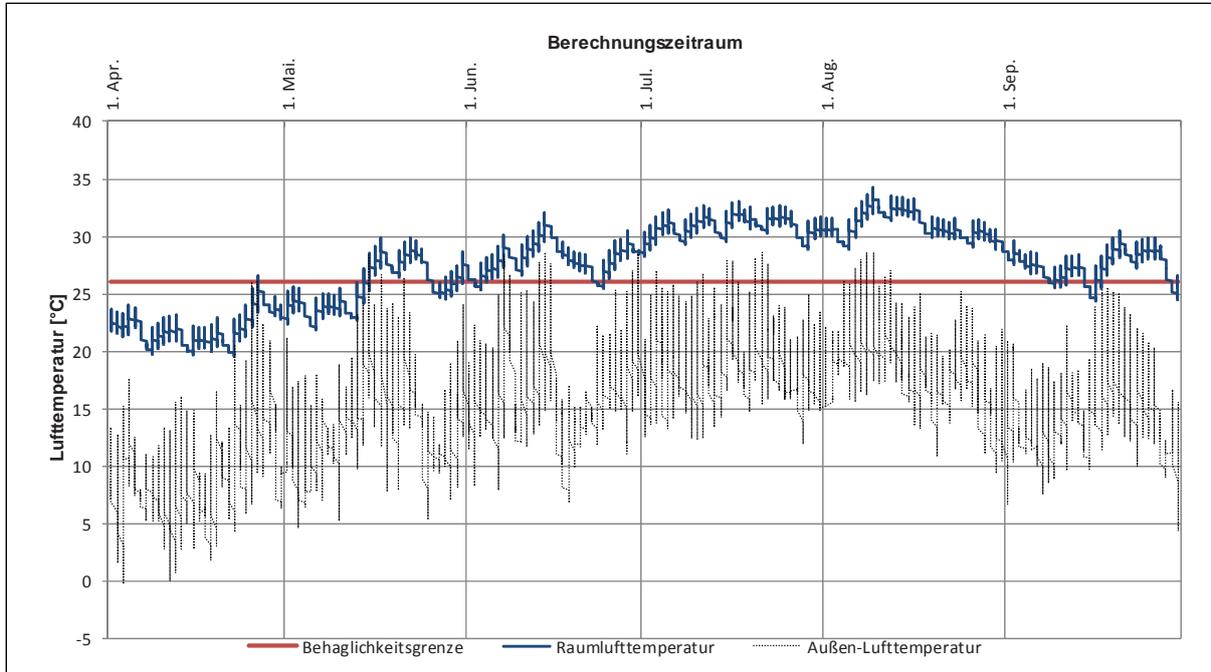


Abb. 9-20: Block 3, Lufttemperatur – „Gesamter-Sommer“ ohne PCM

9.3.2 Variante „Gesamter-Sommer“ ohne PCM - mit Nachtlüftung

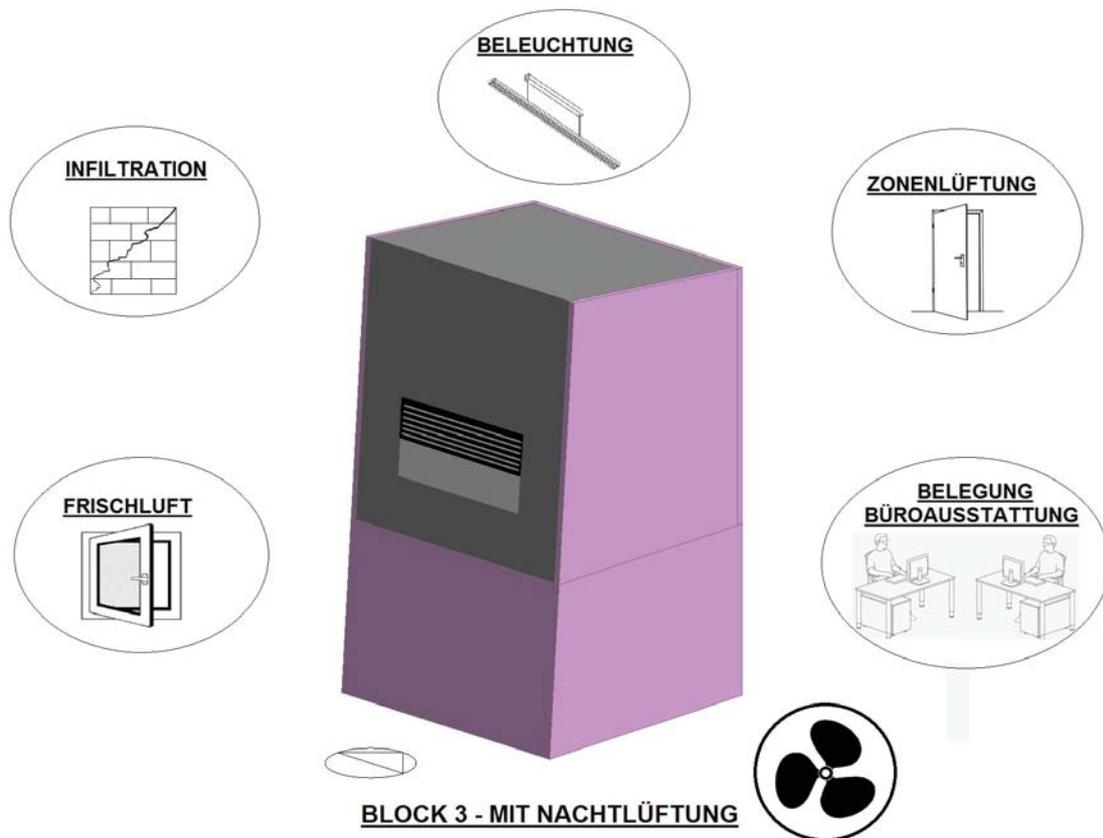


Abb. 9-21: Musterraum (Block 3), Sommer-Simulation, ohne PCM - mit Nachtlüftung

Zusätzlich zur Simulation „Gesamter-Sommer“ ohne PCM (Pkt. 9.3.1) kommt in dieser Berechnung eine tägliche Nachtlüftung von 1 bis 6 Uhr zum Einsatz.

Die Raumluft wird dabei bis zum Erreichen der Vorgabetemperatur von 20°C ausschließlich mit Außenluft gekühlt. Wenn die Raumtemperatur unter diese Solltemperatur absinkt wird die Luftzufuhr automatisch gestoppt.

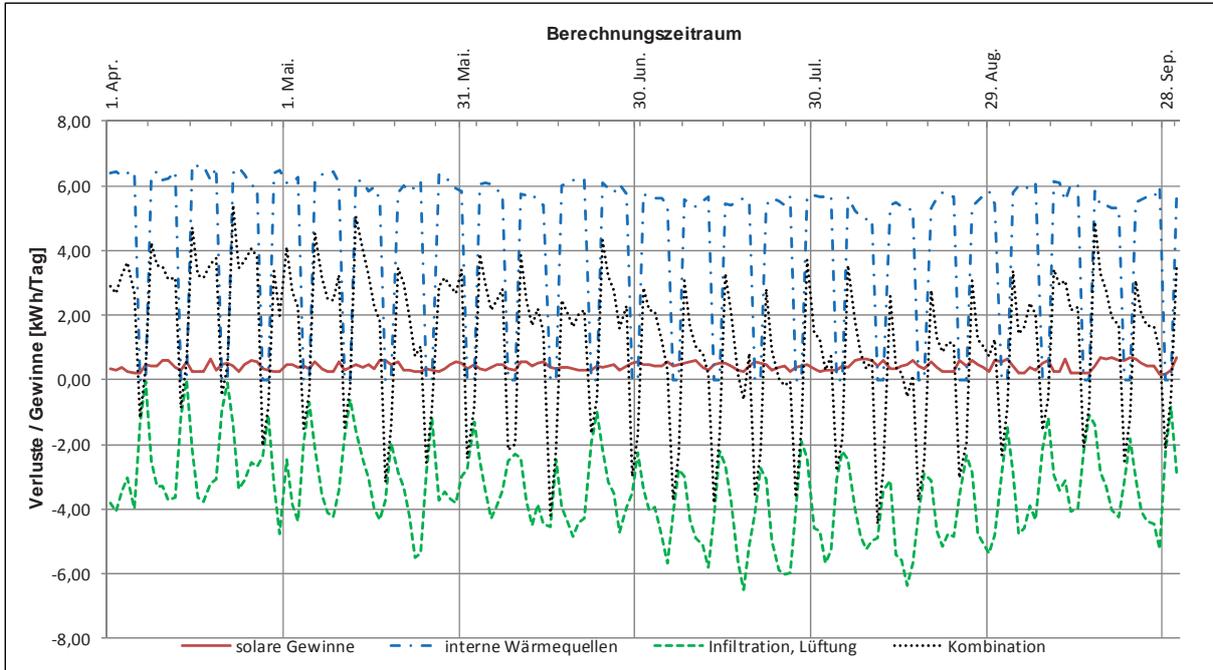
Der Energieeintrag der Solarstrahlung und der internen Wärmequellen bleibt gleich hoch.

Durch die nächtliche Raumlüftung wird die Temperatur im Raum deutlich abgekühlt (siehe Abb. 9-22).

Außerdem wird ersichtlich, welches Kühlungspotential in der Nacht-Außenluft enthalten ist. Im Vergleich zur „Sommer-Berechnung - ohne Nachtlüftung“ können durch die Nachtlüftung zusätzlich 318 kWh Wärmeenergie abgeführt werden.

Simulationsergebnis: **Block 3** Fassaden-Orientierung: **Süden** **-4,2 Grad** (nach innen geneigt)

Vergleich:				Min.	Max.	Summe	
INFILTRATION, LÜFTUNG	Block 3	ohne PCM	Süden	solare Gewinne	0,2	11,05	87,08
	Block 3	ohne PCM	Süden	interne Wärmequellen	0,0	6,65	766,83
	Block 3	ohne PCM	Süden	Infiltration, Lüftung	-6,5	0,00	-637,36



Simulationsergebnis: **Block 3** Fassaden-Orientierung: **Süden** **-4,2 Grad** (nach innen geneigt)

Vergleich:				Min.	Max.	Differenz	
LUFTTEMPERATUR	Block 3	ohne PCM	Süden	ohne Nachtlüftung	19,5	34,3	3,3
	Block 3	ohne PCM	Süden	mit Nachtlüftung	19,0	31,0	

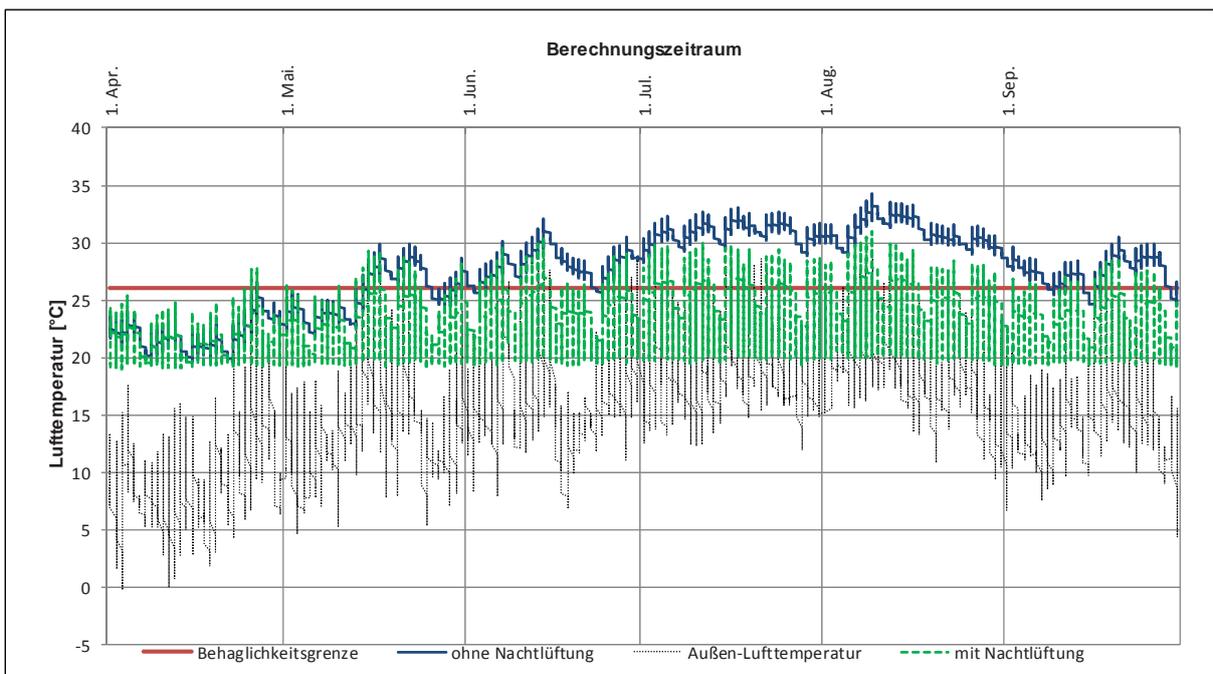


Abb. 9-22: Block 3, Simulation „Gesamter-Sommer“ ohne PCM, mit Nachtlüftung

9.4 Simulation „Gesamter-Sommer“ mit PCM

Bevor diese Berechnung durchgeführt werden kann ist es erforderlich ein geeignetes PCM auszuwählen (siehe Punkt 2.7 Latentwärmespeicher – Einsatz in der Praxis).

Außerdem muss eine Analyse der Gebäudestruktur durchgeführt werden um eine sinnvolle Positionierung des ausgewählten PCM festzulegen.

9.4.1 Auswahl eines geeigneten PCM für die Simulation

Anhand von vier Variantenberechnungen wurden unterschiedliche Aufbauten untersucht, welche sich für den Einsatz eignen könnten.

Der ausgewählte Musterraum wird zu den angrenzenden Räumen von leichten Trennwänden begrenzt. Die Trennwände bestehen aus doppelseitig 1-lagig beplankten Holzplatten mit dazwischen liegender Dämmung. Darüber befindet sich teilweise eine Glastrennwand (siehe Pkt. 9.1.1)

Als geeignete Fläche für den Einsatz von PCM kommen die Außenwand sowie die opaken Flächen der Trennwände in Frage.

Für die Simulation wurde die Annahme getroffen, dass die beiden seitlichen Trennwände und die Außenwand vollflächig mit den folgenden Materialien bekleidet sind (entspricht dem Anteil der opaken Wandflächen):

- Variantenberechnungen – „geeignetes PCM“
 - ✓ BioPCM (M27/Q25) mit GK-Platte (1 Lage)
 - ✓ BioPCM (M27/Q25) mit 2mm Aluminium-Platte
 - ✓ Comfortboard 1-lagig
 - ✓ Comfortboard 2-lagig

Beim eingesetzten BioPCM(M27/Q25) wird der Schmelzpunkt mit 25 Grad angegeben, die Erstarrung findet bei einer Temperatur von 20 Grad statt. [24]

Dem gegenüber steht das Comfortboard bei dem die Schmelztemperatur mit ca. 23 Grad vom Hersteller angegeben wird. [10]

In den Varianten wurde eine Absenkung der Lufttemperatur durch Nachtlüftung bis zur Solltemperatur von 20°C vorgegeben, damit eine vollständige Entladung beider PCM-Materialien stattfindet (siehe Abb. 9-23).

Die Nachtkühlung erfolgt ausschließlich durch Zufuhr von ungekühlter Außenluft.

Als Bemessungszeitraum wurden eine „Typische-Sommerwoche“ von 27. Juli bis 2. August ausgewählt, dadurch soll eine Überdimensionierung des eingesetzten PCM ausgeschlossen werden.

[24] http://www.phasechange.eu/Bibliothek_files/BIOPCM8PgBroSinglePgs.pdf

Simulationsergebnis: **Block 3** Fassaden-Orientierung: **Süden** -4,2 Grad (nach innen geneigt)

Vergleich:		Min.	Max.	Differenz
LUFTTEMPERATUR	Block 3 ohne PCM	19,7	28,0	
	Block 3 mit PCM BioPCM (M27/Q25)mit GK	19,7	27,0	-1,2
	Block 3 mit PCM BioPCM (M27/Q25)mit Aluminium	19,9	26,0	-2,4
	Block 3 mit PCM Comfortboard	19,7	27,2	-1,5
	Block 3 mit PCM Comfortboard 2-lagig	19,8	26,5	-2,4

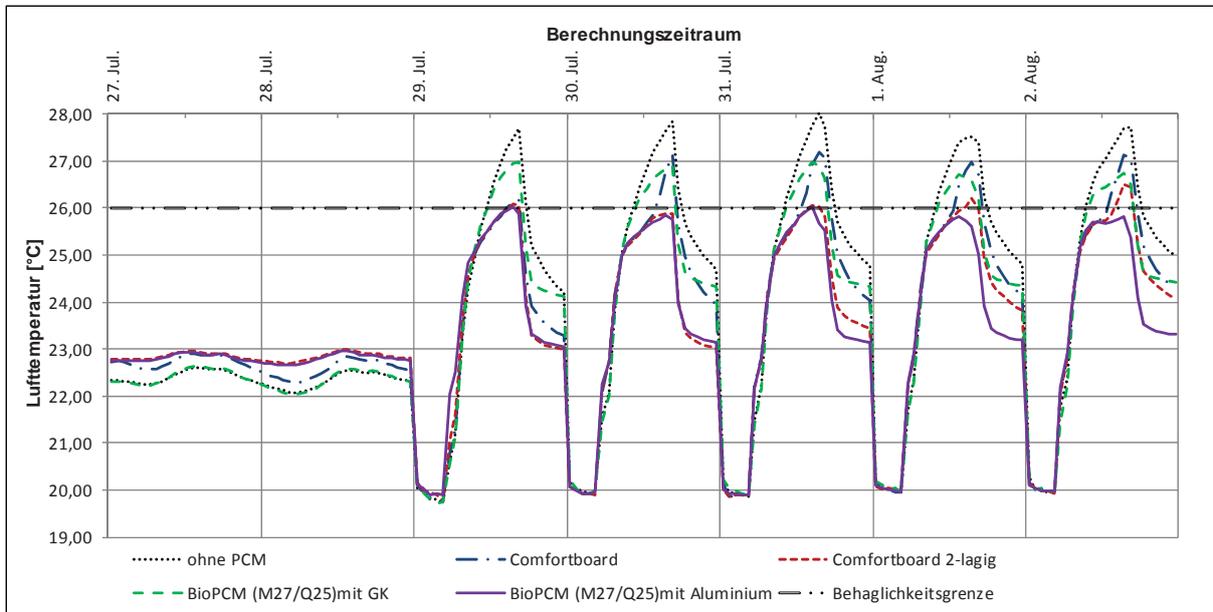


Abb. 9-23 Musterraum (Block 3), Variantenstudie – „geeignetes PCM“

- Durch die Beplankung von Bio-PCM mit einer GK-Platte kann die Raumtemperatur während der Bürozeiten nicht unter die Behaglichkeitsgrenze abgesenkt werden. Dem Raum wird deutlich weniger Wärmeenergie entzogen als bei der Variante mit einer 2mm dicken Aluminium-Bekleidung.
- Die latente Speicherkapazität der Variante „Comfortboard-1-lagig“ reicht ebenfalls nicht aus um die Lufttemperatur auf ein angenehmes Niveau abzusenken.
- Hingegen kann bei der Variante „BioPCM mit 2mm Aluminium“ gegenüber dem Ist-Zustand (ohne PCM) eine maximale Absenkung der Raumlufttemperatur von 2,4 Kelvin erzielt werden. Das Aluminiumblech nützt dem BioPCM durch die hohe thermische Leitfähigkeit bei einem raschen Lade- bzw. Entladungsablauf. Es kommt zu keiner unbehaglichen Überschreitung der Raumtemperatur

Nachteil:

Die großflächige Aluminium-Oberfläche könnte sich negativ auf die Raumakustik oder das Temperaturempfinden hinsichtlich der Strahlungswärme auf den/die BenutzerIn auswirken.

- Bei der Variante „Comfortboard 2-lagig“ kommt es erst am 2. August (fünfter Tag des Bürobetriebes) zu einer geringen Überschreitung auf 26,5°C.

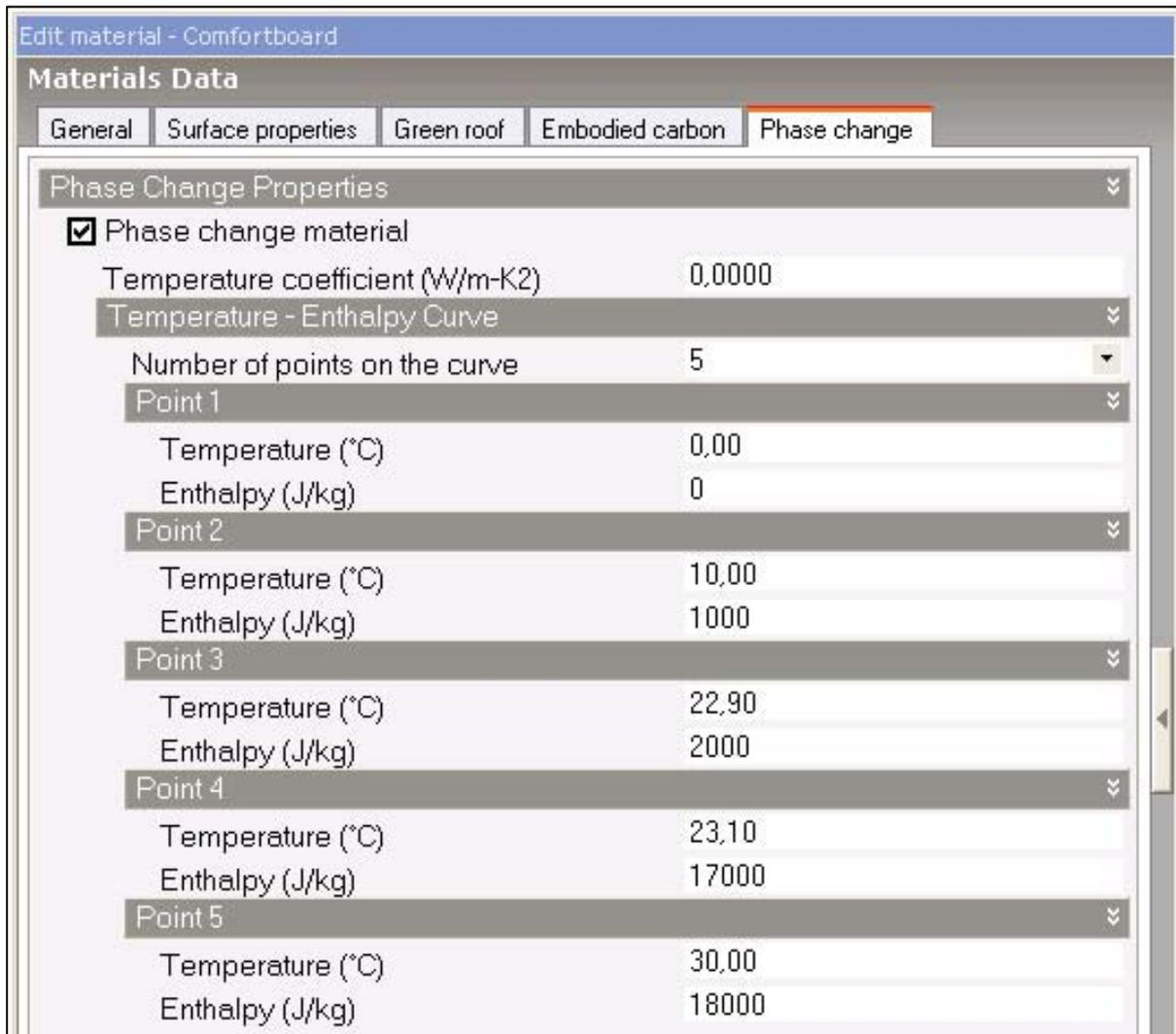
Vorteil:

Hinsichtlich des Nutzungskomforts sind bei dieser Variante keine negativen Auswirkungen zu erwarten.

In der folgenden Berechnung wird die Ausführung „Comfortboard 2-lagig“ weiter untersucht.

Die gesamte latente Wärmekapazität des Comfortboards beträgt 200kJ/m^2 in einem Temperaturbereich von $10\text{-}30^\circ\text{C}$. [10]

In der Simulation wurde die Annahme getroffen, dass ca. 80% dieser Wärmekapazität bei der Schalttemperatur (23°C) aufgenommen werden (siehe Abb. 9-24).



Phase Change Properties

Phase change material

Temperature coefficient (W/m-K2) 0,0000

Temperature - Enthalpy Curve

Number of points on the curve 5

Point 1

Temperature ($^\circ\text{C}$) 0,00

Enthalpy (J/kg) 0

Point 2

Temperature ($^\circ\text{C}$) 10,00

Enthalpy (J/kg) 1000

Point 3

Temperature ($^\circ\text{C}$) 22,90

Enthalpy (J/kg) 2000

Point 4

Temperature ($^\circ\text{C}$) 23,10

Enthalpy (J/kg) 17000

Point 5

Temperature ($^\circ\text{C}$) 30,00

Enthalpy (J/kg) 18000

Abb. 9-24: Material-Bibliothek „Designbuilder“

9.4.2 Variante „Gesamter-Sommer“ mit PCM - mit Nachtlüftung

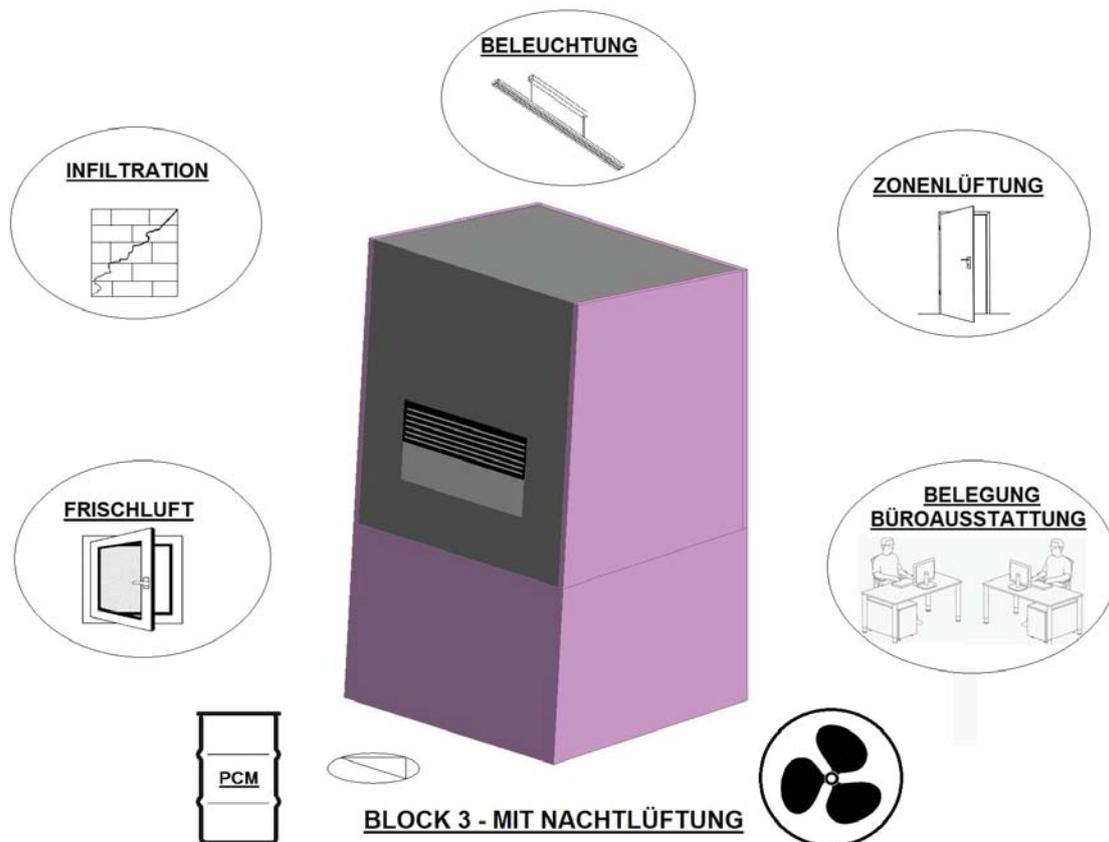


Abb. 9-25: Musterraum (Block 3), Sommer-Simulation, mit PCM - mit Nachtlüftung

Anhand dieser Berechnung soll das Energieeinsparungspotential von PCM gegenüber einer konventionellen Bauweise ermittelt werden.

Für die Simulation wurden folgende Annahmen getroffen:

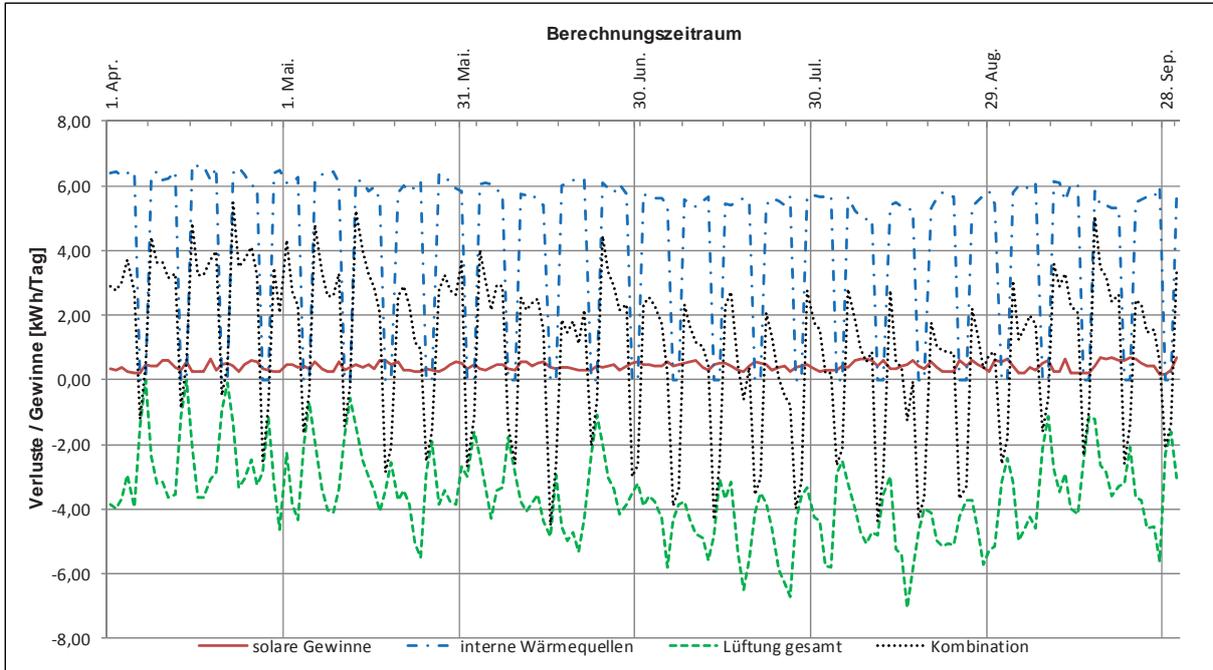
Die Gipskarton-Platte an der Innenseite der Außenwand wird entfernt, stattdessen kommen zwei Lagen „KNAUF-Comfortboard“ [10] mit je 12,5mm Dicke zum Einsatz. An den beiden Trennwänden, die an die Außenwand anschließen wird die Holzplatte durch zwei „Comfortboard“-Platten ersetzt (siehe Pkt. 9.4.1).

Alle anderen Berechnungsparameter entsprechen der „Variante ohne PCM – mit Nachtlüftung“.

Durch die verzögerte Abgabe der latent gespeicherten Energie, beim Abkühlen, werden gegenüber der konventionellen Variante ca. 20 kWh an zusätzlicher Kühlenergie benötigt. Diese zusätzliche Kühlung, durch Außenluftzufuhr, ist erforderlich um die Sollvorgabe von 20°C Raumtemperatur zu erreichen (Vgl. Abb. 9-22 mit Abb. 9-26).

Simulationsergebnis: **Block 3** Fassaden-Orientierung: **Süden** **-4,2 Grad** (nach innen geneigt)

INFILTRATION, FRISCHLUFTZUFUHR, NACHTÜFTUNG	Vergleich:			Min.	Max.	Summe
	Block 3 mit PCM	Süden	solare Gewinne	0,2	11,05	87,08
	Block 3 mit PCM	Süden	interne Wärmequellen	0,0	6,65	766,83
	Block 3 mit PCM	Süden	Lüftung gesamt	-7,1	0,00	-657,91



Simulationsergebnis: **Block 3** Fassaden-Orientierung: **Süden** **-4,2 Grad** (nach innen geneigt)

LUFTTEMPERATUR	Vergleich:			Max.	Max. Differenz
	Block 3 ohne PCM	Süden	mit Nachtlüftung	29,0	3,1
	Block 3 mit PCM	Süden	mit Nachtlüftung	28,1	

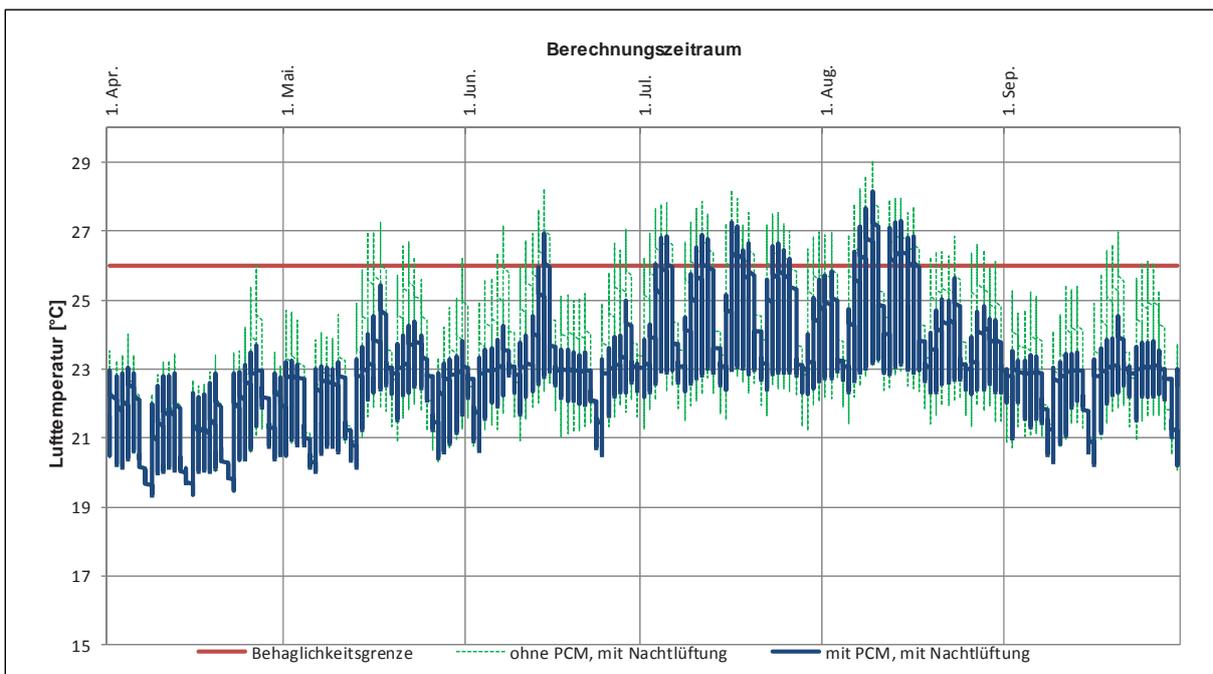


Abb. 9-26: Block 3, Simulation „Gesamter-Sommer“ mit PCM, mit Nachtlüftung

Simulationsergebnis: **Block 3** Fassaden-Orientierung: **Süden** -4,2 Grad (nach innen geneigt)

		Vergleich:		Max.	Max. Differenz
LUFTTEMPERATUR GRÖSSTER PCM-EFFEKT	Block 3 ohne PCM	Süden	mit Nachtlüftung	27,0	3,1
	Block 3 mit PCM	Süden	mit Nachtlüftung	24,0	

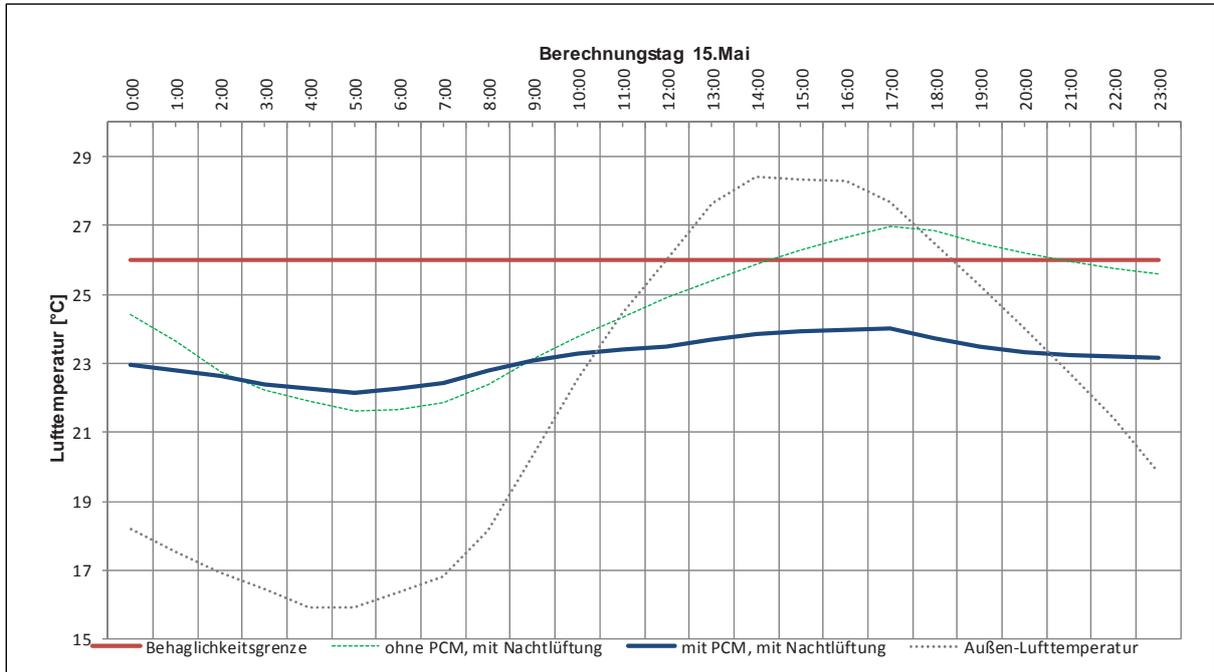


Abb. 9-27: Block 3, Simulation mit PCM - mit Nachtlüftung, größter PCM-Effekt

9.5 Vergleich: „Gesamter-Sommer“ ohne PCM – mit PCM

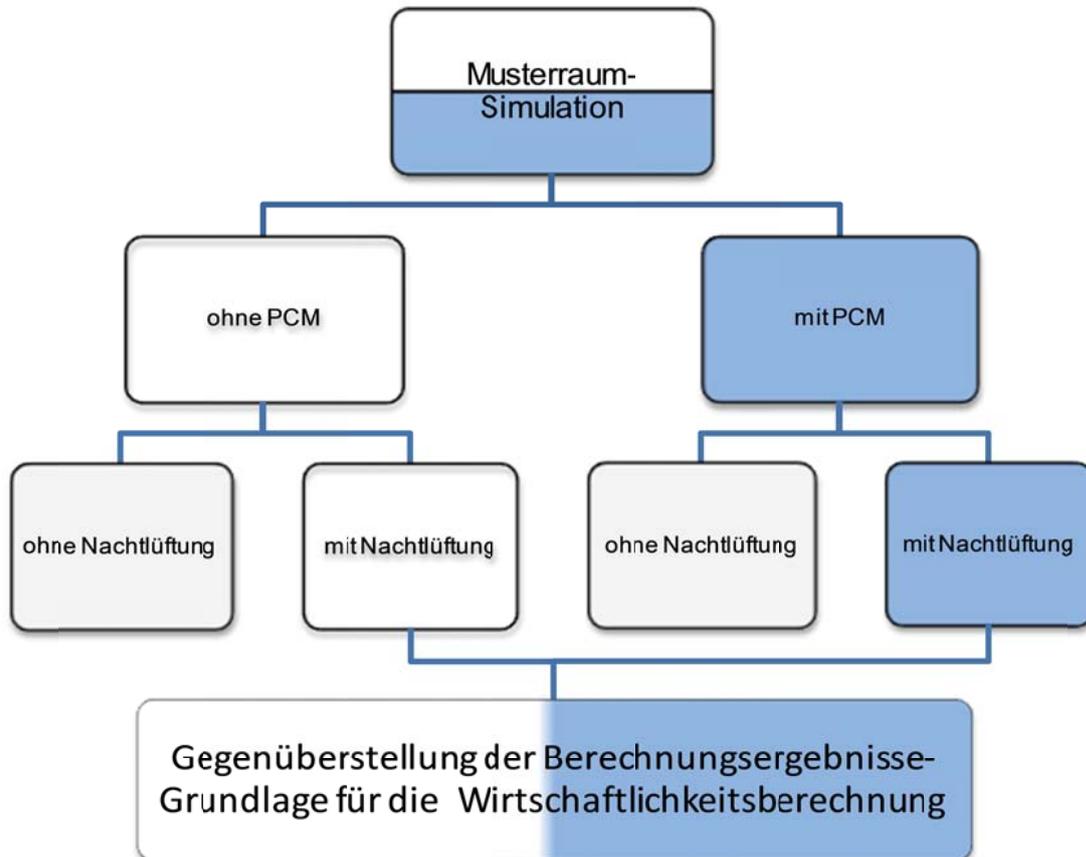


Abb. 9-28: Musterraum (Block 3), Vergleich – „ohne /mit PCM“

Als Grundlage der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden folgende Berechnungen herangezogen:

- Musterraum (Block 3), Sommer-Simulation, ohne PCM - mit Nachtlüftung
- Musterraum (Block 3), Sommer-Simulation, mit PCM - mit Nachtlüftung

Bei der Berechnung „ohne PCM“ kommt es an 92 Tagen zu einer Überschreitung der Behaglichkeitsgrenze. Temperaturüberschreitungen über 26°C, die weniger als 2 Stunden andauern, wurden bei der Ermittlung nicht berücksichtigt.

Durch den Einsatz von PCM kann die Dauer der Überschreitung sowie die Anzahl der Tage (54 Tage) deutlich reduziert werden (siehe Abb. 9-29).

Zu einer Überschreitung kommt es nur noch an länger andauernden Hitzeperioden.

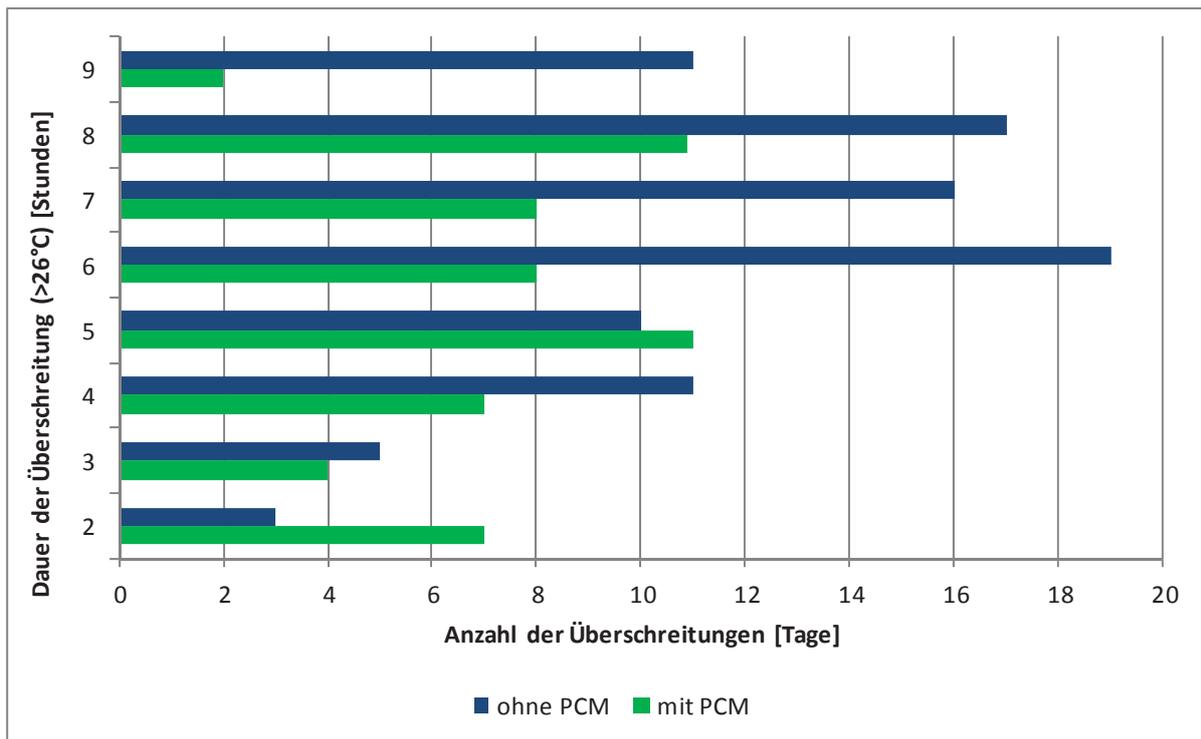


Abb. 9-29: Musterraum, Überschreitungen der Behaglichkeitsgrenze „ohne / mit PCM“

Die Effizienz des eingesetzten PCM wird anhand der Temperaturdifferenz der beiden Berechnungsergebnisse ermittelt. Durch die latente Speicherung der PCM-Variante kann die Raumlufttemperatur über den gesamten Berechnungszeitraum um 2185,1 K abgesenkt werden. Diese Abkühlung der Lufttemperatur muss also nicht durch eine Klimaanlage erwirkt werden.

10 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeit ist ein Maß für Sparsamkeit oder Effizienz und wird als dimensionslose Größe dargestellt.

Die Wirtschaft oder Ökonomie ist die Gesamtheit aller Handlungen, die der planvollen Deckung des menschlichen Bedarfs dienen. Wirtschaften bezieht sich also auf die menschliche wirtschaftliche Aktivität, die (mit dem Ziel einer bestmöglichen Bedürfnisbefriedigung) über den planmäßigen und effizienten Einsatz knapper Ressourcen entscheidet.

Der schonende Umgang mit den vorhandenen Energie-Ressourcen kann sowohl durch erneuerbarer Energiequellen als auch durch den Einsatz alternative Baustoffe erzielt werden. Dazu ist es erforderlich die Energieeffizienz dieser Baustoffe zu berechnen.

Anhand statischer Verfahren mit vereinfachenden Annahmen und Durchschnittswerten für Kapital und Kosten über die betrachteten Jahre können folgende Berechnungen durchgeführt werden.

- Amortisationszeitrechnung

Der Begriff Amortisation bezeichnet einen Prozess, in dem anfängliche Aufwendungen für ein Objekt durch dadurch entstehende Erträge oder Einsparungen gedeckt werden.

Die Dauer dieses Prozesses wird Amortisationszeit genannt

- Kostenvergleichsrechnung

Die Kostenvergleichsrechnung dient zum Vergleich mehrerer Investitionsalternativen. Hierbei werden die Gesamtkosten der Alternativen ermittelt und die kostengünstigste ausgewählt.

- Rentabilitätsrechnung

Die Rentabilität beschreibt das Verhältnis zwischen erzieltm Erfolg (Energie-Einsparung) und eingesetztem Kapital (Materialkosten).

In dieser speziellen Anwendung wird das eingesetzte Kapital in Beziehung zu den eingesparten Betriebskosten gesetzt.

Die Rentabilität ist eine Kennzahl für den Erfolg und wird als Prozentsatz angegeben. [25]

10.1 Energieeinsparung durch verringerten Kühlbedarf

Die Temperaturdifferenz wurde durch den Vergleich der Simulationsberechnungen „ohne PCM /mit PCM – mit Nachtlüftung“ (gemäß Punkt 9.5) ermittelt.

Durch die latente Speicherung der PCM-Variante kann die Raumlufttemperatur über den gesamten Berechnungszeitraum um 2185,1 K abgesenkt werden. Diese Abkühlung der Lufttemperatur muss also nicht durch eine Klimaanlage erwirkt werden.

[25] Wöhe G., Döring U.; Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 24. Auflage, München, 2010

- Welche Energiemenge ist erforderlich die Lufttemperatur des gesamten Raumvolumens um die errechnete Temperaturdifferenz abzusenken?

Die erforderliche Wärmemenge für das Erwärmen oder Abkühlen eines Stoffes lässt sich wie folgt berechnen:

$$Q = c * \rho * V * \Delta T [J] \quad \text{(Formel 5)}$$

- Q... Wärmemenge[Joule]
- c... spezifische Wärmekapazität [J/kgK]
- ρ... Dichte [kg/m³]
- Δt... Temperaturdifferenz [K]

Bei der Umrechnung in Kilowattstunden wurden folgende Konstanten bzw. Umrechnungsfaktoren verwendet:

- Dichte der Luft bei 20°C = 1,2041 kg/m³
- spezifische Wärmekapazität der Luft bei 20°C = 1,005 KJ/(kg*K)
- 1 KJ $\hat{=}$ 0,000278 kWh

1) ohne PCM	1) mit PCM	Temperatur- differenz	Dichte Rho (20°C)	Volumen	spezif. Wärme- kapazität "c" (20°C)	2) Energie
K	K	K	* kg/m ³ *	m ³	* kJ/(kg*K) =	1 kJ $\hat{=}$ 0,000278 kWh
82086,9	79901,8	2185,1	* 1,2041 *	97,01	* 1,005 =	256518,5 $\hat{=}$ 71,31 kWh

1) Summe der stündlichen Temperturen im Berechnungszeitraum vom 1. April bis 30.September

2) ohne Berücksichtigung der Hilfsenergie für zusätzliche Pumpen, etc.

Somit können durch den Einsatz von PCM jährlich 71,3 kWh an Kühlungsenergie eingespart werden.

Die errechneten Einsparungen an Kilowattstunden Kühlungsenergie sind nicht mit den tatsächlichen Einsparungskosten (Stromkosten) zu verwechseln, da diese vom Wirkungsgrad der Kühlanlage abhängig sind.

Der Wirkungsgrad von Klimaanlage wird in EER angegeben. EER – Energy Efficiency Ratio beschreibt das Verhältnis der erbrachten Kälteleistung zur eingesetzten Energie.

Geräte der Energieeffizienzklasse A verfügen über einen EER von mindestens 3,2.

Bei einem mittleren Strompreis für österreichische Haushalte (Stand: März 2014) von 20,8 ct/kWh [26] errechnet sich eine Energiekosten-Einsparung von 4,63 € pro Jahr.

[26] <http://oesterreichsenergie.at/daten-fakten/statistik/Strompreis.html>

Dieser vernachlässigbaren Einsparung an Energiekosten stehen den Investitions- und Wartungskosten gegenüber.

Die Ermittlung der Investitionskosten wurde anhand einer Kalkulation (K7-Blatt) durchgeführt. Als Materialkosten wurde der Richtwert des Herstellers, bezogen auf die Liefermenge, angenommen.

PREISERMITTLUNG		institut für baubetrieb + bauwirtschaft  TUG		Formblatt K7		
Bau:	Firma:	Datum:	04.05.2014	Seite		
Angebot Nr.:		Preisbasis:	05.2014			
Pos.-Nr., Menge, Einheit, Positionsstichwort, Kostenentwicklung je Einheit	Std/E	Lohn	Sonstiges	Einheitspreis		
Herstellen einer 2-lagigen Gipskarton-Beplankung						
Materialkosten: 60 €/m ²			60,00			
1-Lage GK-Platten verschrauben, spachteln						
Aufwandswert: 0,5 h/m ²	0,50					
MLk: 35 €/h		17,50				
GZ: 15% auf Lohn	0,50	20,13				
10% auf Sonstiges			66,00			
Positionspreis:				77,50		
Menge 125 m ²		2515,63	8250,00			
Gesamtkosten:				10765,63		

Abb. 10-1: PCM-Investitionskostenermittlung, K7-Blatt

Im Gegensatz zur Kühlung mit einer Klimaanlage entstehen durch den Einsatz von PCM keine Wartungskosten.

Für die Kostenermittlung einer Luft- Klimaanlage mit WRG (Wärme- Rückgewinnung) und freie (Nacht-)Kühlung werden folgende Richtwerte angenommen: [27]

- Investitionskosten 305,0 €/m²
- Energiekosten 15,8 €/m²
- Wartung-und Instandhaltungskosten 4,1 €/m²

[27] Recknagel H., Sprenger E., Schramek E.R.; „Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik“, 76. Auflage Vulkan-Verlag, 2013

Bei einer Nettonraumfläche von 19,8m² entstehen Gesamtkosten von 6039,0 € bei der Anschaffung einer Klimaanlage. Die Kosten für Energie, Wartung- und Instandhaltung betragen 473,2 € pro Jahr.

Mit diesen Kenngrößen und der Annahme einer 25 jährigen Lebensdauer der Klimaanlage wurde eine Kostenvergleichsberechnung durchgeführt.

Kostenvergleichsrechnung:					
		Klimaanlage	PCM	Vergleich	
		[€/m ²]	[€/m ²]	in%	
Investitionskosten		305,00	490,00	161%	
laufende Kosten über 25 Jahren		1195,00	0,00	-	
Summe:		1500,00	490,00	33%	

Anhand dieser Berechnung wird ersichtlich, dass die PCM-Variante, nach einer Laufzeit von 25 Jahren, nur 33% der Kosten einer Klimaanlage verursacht.

10.2 Amortisationsberechnung

Die Amortisationsberechnung hat ergeben, dass sich die anfangs höheren Investitionskosten bereits der PCM-Variante ab dem 13. Jahr rentieren.

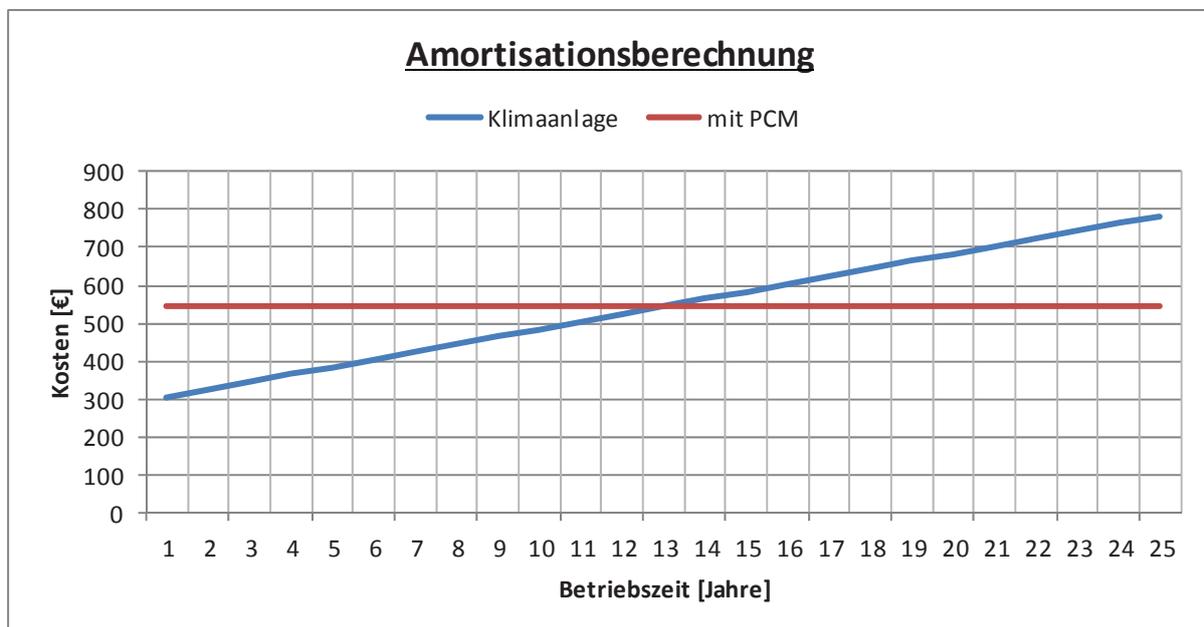


Abb. 10-2: Amortisationsberechnung: Klimaanlage im Vergleich zur PCM-Variante

11 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist die Analyse von thermischen Gebäudesimulationsprogrammen bezüglich der Genauigkeit der Berechnungsergebnisse. Außerdem wurden Untersuchungen hinsichtlich der Tauglichkeit zur Berechnung von PCM sowie eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt.

Zuvor war es erforderlich eine Recherche über die Grundfunktionen von Gebäude-Simulationsprogrammen durchzuführen um danach eine Auswahl der Software für die Validierungs-Berechnungen zu treffen.

Um die Eignung der verwendeten Software zu überprüfen, wurden 3 Beispiele der VDI-Richtlinie 6020 nachgerechnet (siehe Pkt. 8.4). Dabei wurden die Mindestanforderungen an Rechenverfahren zur Gebäudesimulation hinsichtlich der verwendeten Algorithmen und Parameter getestet.

Es stellte sich heraus, dass die Ergebnisse der Simulationen mit den Referenzvorgaben sehr gut übereinstimmten. Dadurch war gewährleistet, dass die getesteten Grundfunktions- Algorithmen genau rechnen.

In weiterer Folge wurden durch Variantenberechnungen eines Musterraumes sämtliche Einflüsse auf die Lufttemperatur (siehe Pkt. 9.2) untersucht. Dadurch sollte gezeigt werden, welche äußeren und inneren Lasten hauptsächlich für die sommerliche Überwärmung des Raumes verantwortlich sind. Anschließend konnten sämtliche Einflüsse und deren gegenseitige Wechselwirkungen in einer Simulation über den Berechnungszeitraum vom 1. April bis 30. September dargestellt werden.

Bei der Berechnungs-Variante „ohne PCM – mit Nachtlüftung“ stellte sich heraus, dass die Lufttemperatur an 92 Tagen (Abb. 9-29) über die Behaglichkeitsgrenze ($>26^{\circ}\text{C}$) ansteigt.

Nachdem häufige Überschreitungen der Raumtemperatur auftreten eignete sich dieser Raum bestens um die Funktionstüchtigkeit von PCM zu testen.

In Kapitel 2.7 wurde das Wirkungsprinzip von Latentwärmespeicher und deren Einsatz in der Praxis beschrieben.

Für die Überprüfung der Tauglichkeit zur Berechnung von PCM wurde zunächst eine Auswahl eines geeigneten PCM für die Simulation getroffen.

Die Eignungsprüfung hat ergeben, dass eine 2-lagige Beplankung mit „KNAUF-Comfortboard“ GK-Platten die besten Eigenschaften für den Einsatz aufweisen, ohne dass dabei nachteilige Auswirkungen auf den NutzerInnenkomfort zu erwarten sind (siehe Pkt. 9.4.1).

Die Simulationssoftware „DesignBuilder“ ermöglicht dem/der AnwenderIn einige PCM-Produkte aus einer Material-Bibliothek auszuwählen. Darin sind die Kennwerte der Enthalpie bereits definiert. Außerdem können der Bibliothek zusätzliche PCM-Materialien hinzugefügt werden (Abb. 9-24).

Durch den Einsatz von PCM konnte die Lufttemperatur zu den Spitzenbelastungszeiten deutlich abgesenkt werden, wodurch die Überschreitungen auf 54 Tage reduziert wurden (siehe Abb. 9-29).

Anzumerken ist weiters, dass der größte PCM-Effekt am 15. Mai eine Absenkung der Lufttemperatur von 3,1 K bewirkt hat.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass dem/der BenutzerIn der überprüften Software „DesignBuilder“ eine gut strukturierte Oberfläche zur Dateneingabe bereitgestellt wird.

Wichtig dabei war die Möglichkeit der freien Editierung von Bauteilen, Randbedingungen und Regelungen der Haustechnik-Komponenten.

Bei der Validierung als auch bei der Überprüfung der Tauglichkeit zur Berechnung von PCM hat die thermische Gebäude-Simulationssoftware sehr gute Ergebnisse geliefert.

12 Literaturverzeichnis

- [1] FISCHER, H.-M.; STOHNER, M.; HOMANN, M.; FREYMUTH, H.; RICHTER, E.; HÄUPL, P.: „Lehrbuch der Bauphysik“, Wiesbaden, Vieweg+Teubner, 2008
- [2] WILLEMS, W.: „Formeln und Tabellen Bauphysik, 2. aktual. und erweiterte Auflage“, Wiesbaden, Vieweg+Teubner, 2010
- [3] KRAFT, S.; KUHNERT, N.; UHLIG, G.: „Archplus Material“, Aachen, 12/2004

- [4] HOFMANN, A.: „Latentwärmespeicher für trassenlose Wärmezeugung“, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Berichte aus Energie und Umweltforschung, Wien, 2008
- [5] CABEZA L.; HADORN, J. C.: “Storage techniques with Phase Change Materials”, Thermal energy storage for solar and low energy buildings, Spain, 2005
- [6] VÖLKER, C.: „Untersuchung hinsichtlich des Einflusses von PCM auf die Raumtemperatur“, Diplomarbeit an der Bauhaus Universität Weimar, 2005
- [7] STREICHER, W.: „Fortschrittliche Wärmespeicher“, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Berichte aus Energie und Umweltforschung, Wien, 2007
- [8] LEONARD, J.: „Phase Change Materials“, Bachelorarbeit FH-Joanneum, Graz, 2006

- [9] SCHNIEDERS, J.: „Einfluss von Wärmedämmung und Phasenwechselmaterialien auf den Energiebedarf und CO₂-Ausstoß in verschiedenen europäischen Klimata“, Passiv-Haus Institut, Darmstadt, 2006
- [10] <http://www.knauf.ch/content.cfm?nav=39&content=796>, (27.04.2014)

- [11] <http://greenwisestrategies.com/sustainability-leed/what-is-leed> (27.04.2014)

- [12] <http://www.designbuilder.co.uk/content/view/43/64/>

- [13] http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm

- [14] <http://www.gebsimu.de/>

- [15] <http://www.valentin-software.com/produkte/pcm/58/pcm-express>

- [16] http://www.transsolar.com/__software/docs/trnsys/trnsys_uebersicht_de.htm
- [17] <http://www.wufi.de/>
- [18] VDI 6020: Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation Gebäudesimulation, 05/2001
- [19] ROUVEL, L.: Thermische Gebäudesimulation GEBSIMU, München, 2011
- [20] TOURSOUGAS, K.: Diplomarbeit - Thermische Simulationen in der Fassadentechnik im Rahmen des LQG-Projektes, Graz, FH Joanneum, 2011
- [21] DesignBuilder: "User`s manual 2.1", DesignBuilder Software Ltd., 2009
- [22] DWD - Deutscher Wetterdienst: „Wetterdatensatz – TRY 05 Würzburg“, Offenbach(GER), 2012
- [23] ÖNORM EN 13363-1: Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades, 09/2007
- [24] http://www.phasechange.eu/Bibliotheek_files/BIOPCM8PgBroSinglePgs.pdf
- [25] Wöhe G., Döring U.; Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Vahlen 24. Auflage, München, 2010
- [26] <http://oesterreichsenergie.at/daten-fakten/statistik/Strompreis.html>
- [27] Recknagel H., Sprenger E., Schramek E.R.; „Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik“, 76. Auflage Vulkan-Verlag, 2013

13 Anhang A

13.1 TRY 05 Würzburg

„Die Klimadatei basiert auf dem Testreferenzjahr des Deutschen Wetterdienstes; BMFT-FB-T 86-051; 1986. Der DWD weist jedoch ausdrücklich daraufhin, dass die Nutzung der enthaltenen Regendaten für Bauteilbeurteilung eine Zweckentfremdung der Daten darstellt, die ohne Zustimmung des DWD erfolgt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass man bei der Verwendung dieser Daten für die Bauteilbeurteilung auf der sicheren Seite liegt.“

```

TRY5: FRANKEN UND NOERDLICHES BADEN-WUERTEMBERG           (KLIMAREGION 5)
STATION: WUERZBURG-STEIN           WMO-NR. 10655
LAGE: 49.80 GRAD N.<- B.  9.90 GRAD O.<- L. 259 METER UEBER NN
DATUM DER ERSTELLUNG: NOV. 1984  AENDERUNGSNUMMERN: 0-0

FORMAT(I1, 3I2, 1X, F4.2, 1X, I3, 2(1X,F4.1), 1X, I2, 1X, F4.1, 1X,
F6.1, 1X, F5.1, 1X, F4.2, 1X, I4, 1X, I4, 1X, I7, 1X, I4, 1X, I4)
REIHENFOLGE DER PARAMETER:
AENDERUNGSNUMMER/TAG/MONAT/STUNDE
BEDECKUNG IN ACHEL (0.0 ... 1.0)           <-!
WINDRICHTUNG, N UEBER 0 POSITIV           <GRAD!
WINDGESCHWINDIGKEIT, SKALARES MITTEL     <M/S!
WINDGESCHWINDIGKEIT, VEKTORIELLES MITTEL <M/S!
WETTER ZUM TERMIN (DWD-SCHLUESSEL)      <-!
NIEDERSCHLAG                             <MM/H!
LUFTDRUCK AUF STATIONSSTAEHE             <HPA!
LUFTTEMPERATUR                           <'C!
RELATIVE LUFTFEUCHTE (0.0 ... 1.0)       <-!
DIREKTE SONNENSTRAHLUNG AUF HORIZONTALER FLAECHE <W/M**2!
DIFFUSE HIMMELSTRAHLUNG AUF HORIZONTALER FLAECHE <W/M**2!
HELLIGKEIT AUF HORIZONTALER FLAECHE     <LUX!
LANGWELIGE AUSSTRAHLUNG AUF HORIZONTALER FLAECHE <W/M**2!
ATMOSPHAERISCHE GEGENSTRAHLUNG AUF HORIZONTALER FLAECHE <W/M**2!

0 1 1 1 1.00 270  2.6  1.5 26  0.1  980.8  0.7 0.93  0  0  -286 283
0 1 1 2 1.00 330  1.5  1.0   0.0  981.5  0.6 0.94  0  0  -286 283
0 1 1 3 1.00 270  2.6  1.5   0.0  982.3  0.7 0.94  0  0  -286 283
.
.
.
0311224 1.00 280  4.1  4.1   0.1  980.4  1.0 0.90  0  0  -288 284

```

13.2 Kategorien „Dynamische Auswahl“ inside adaptive convection algorithm

#	Zone Air Flow Regime	IB-M's #	Surface orientation and heat flow direction	Keywords for Applicable Model Equation Sources
1	Simple Buoyancy	A3	Vertical Walls	FohannoPolidoriVerticalWall* AlamdariHammondVerticalWall ASHRAEVerticalWall
2			Stable Horizontal	AlamdariHammondStableHorizontal* WaltonStableHorizontalOrTilt
3			Unstable Horizontal	AlamdariHammondUnstableHorizontal* WaltonUnstableHorizontalOrTilt
4			Stable Tilted	WaltonStableHorizontalOrTilt*
5			Unstable Tilted	WaltonUnstableHorizontalOrTilt*
6			Windows	ISO15099Windows*
7	In-floor Heating or In-ceiling Cooling	A1	Vertical Walls	KhalifaEq3WallAwayFromHeat* FohannoPolidoriVerticalWall AlamdariHammondVerticalWall ASHRAEVerticalWall
8			Stable Horizontal	AlamdariHammondStableHorizontal* WaltonStableHorizontalOrTilt
9			Unstable Horizontal	KhalifaEq4CeilingAwayFromHeat* AlamdariHammondUnstableHorizontal WaltonUnstableHorizontalOrTilt
10			Heated Floor	AwbiHattonHeatedFloor* WaltonUnstableHorizontalOrTilt AlamdariHammondUnstableHorizontal
11			Chilled Ceiling	KaradagChilledCeiling* WaltonUnstableHorizontalOrTilt
12			Stable Tilted	WaltonStableHorizontalOrTilt*
13			Unstable Tilted	WaltonUnstableHorizontalOrTilt*
14			Windows	ISO15099Windows*
15	Wall Panel Heating	A2	Vertical Walls (non-heated)	KhalifaEq6NonHeatedWalls* FohannoPolidoriVerticalWall ASHRAEVerticalWall
16			Heated Wall	AwbiHattonHeatedWall*
17			Stable Horizontal	AlamdariHammondStableHorizontal* WaltonStableHorizontalOrTilt

#	Zone Air Flow Regime	IB-M's #	Surface orientation and heat flow direction	Keywords for Applicable Model Equation Sources
18			Unstable Horizontal	KhalifaEq7Ceiling* AlamdariHammondUnstableHorizontal WaltonUnstableHorizontalOrTilt
19			Stable Tilted	WaltonStableHorizontalOrTilt*
20			Unstable Tilted	WaltonUnstableHorizontalOrTilt*
21			Windows	ISO15099Windows*
22	Convective Zone Heater	B	Vertical Walls not near heater	FohannoPolidoriVerticalWall* KhalifaEq6NonHeatedWalls KhalifaEq3WallAwayFromHeat AlamdariHammondVerticalWall ASHRAEVerticalWall
23			Vertical Walls near heater	KhalifaEq5WallNearHeat*
24			Stable Horizontal	AlamdariHammondStableHorizontal* WaltonStableHorizontalOrTilt
25			Unstable Horizontal	KhalifaEq7Ceiling* KhalifaEq4CeilingAwayFromHeat WaltonUnstableHorizontalOrTilt
26			Stable Tilted	WaltonStableHorizontalOrTilt*
27			Unstable Tilted	WaltonUnstableHorizontalOrTilt*
28			Windows	ISO15099Windows*
29	Mechanical Central Air Diffuser	C	Walls	GoldsteinNovoselacCeilingDiffuserWalls* FisherPedersenCeilingDiffuserWalls
30			Ceiling	FisherPedersenCeilingDiffuserCeiling*
31			Floor	GoldsteinNovoselacCeilingDiffuserFloor* FisherPedersenCeilingDiffuserFloor
32			Windows	GoldsteinNovoselacCeilingDiffuserWindow* ISO15099Windows
33	Mechanical Zone Fan Circulation	D	Walls	KhalifaEq3WallAwayFromHeat*
34			Stable Horizontal	AlamdariHammondStableHorizontal* WaltonStableHorizontalOrTilt
35			Unstable Horizontal	KhalifaEq4CeilingAwayFromHeat* WaltonUnstableHorizontalOrTilt
36			Stable Tilted	WaltonStableHorizontalOrTilt*
37			Unstable Tilted	WaltonUnstableHorizontalOrTilt*
38			Windows	GoldsteinNovoselacCeilingDiffuserWindow* ISO15099Windows
39	Mixed	E	Assisting Flow Walls	BeausoleilMorrisonMixedAssistedWall*

#	Zone Air Flow Regime	IB-M's #	Surface orientation and heat flow direction	Keywords for Applicable Model Equation Sources
40			Opposing Flow Walls	BeausoleilMorrisonMixedOpposingWall*
41			Stable Floor	BeausoleilMorrisonMixedStableFloor*
42			Unstable Floor	BeausoleilMorrisonMixedUnstableFloor*
43			Stable Ceiling	BeausoleilMorrisonMixedStableCeiling*
44			Unstable Ceiling	BeausoleilMorrisonMixedUnstableCeiling*
45			Windows	GoldsteinNovoselacCeilingDiffuserWindow* ISO15099Windows

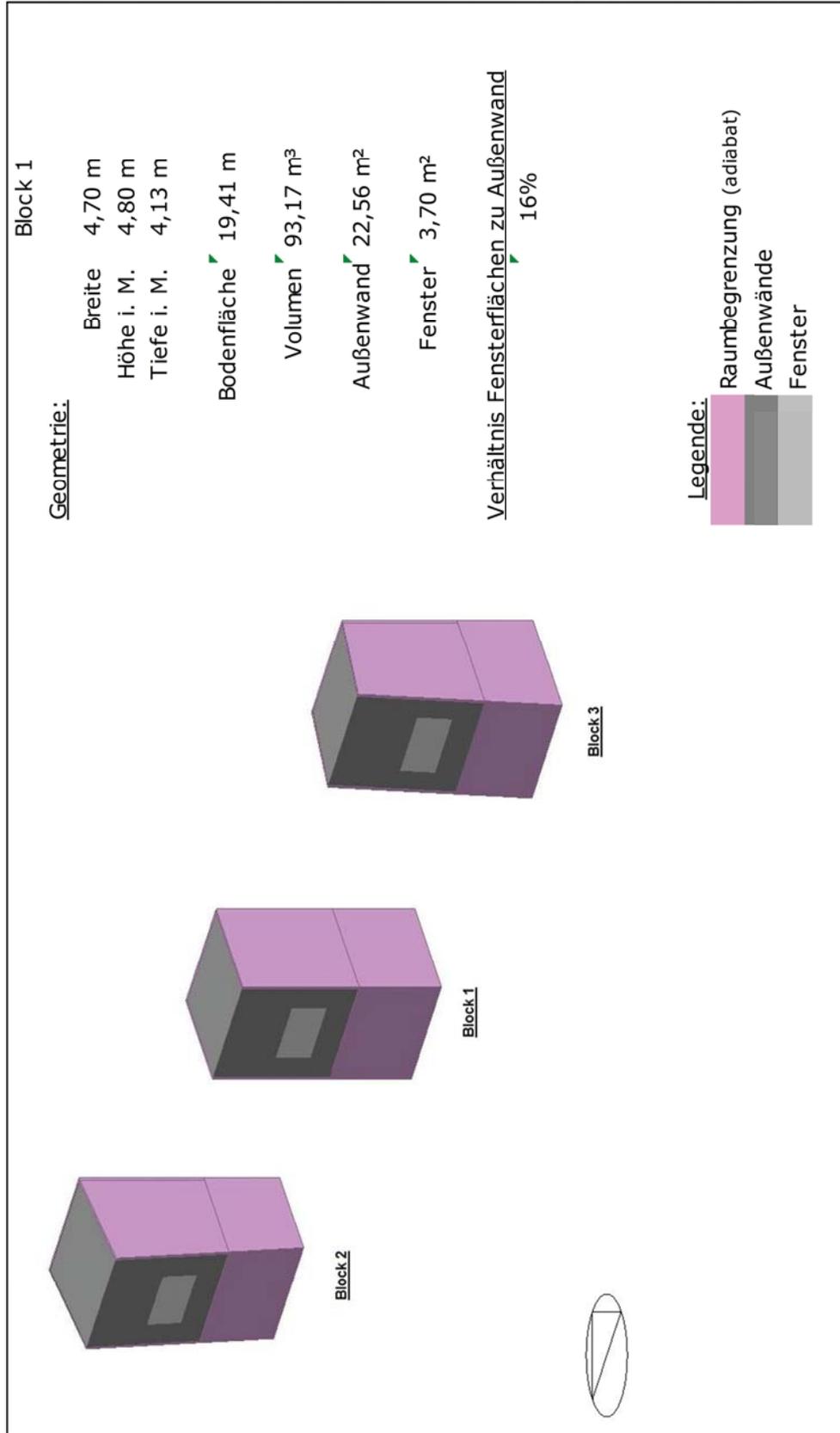
* Indicates the default selection for h_c model equation.

14.2 Einfluss der Fassadeneigung auf die Raumtemperatur

3d Modell:

Fassaden-Orientierung: **Süden**

		Neigung:			Min.	Max.	Mittelwert	Summe	Differenz
EINFLUSS DER FASSADENEIGUNG - SOMMERBEMESSUNG	Block 1	ohne PCM	0 Grad						
	Block 2	ohne PCM	+4,2 Grad						
	Block 3	ohne PCM	-4,2 Grad						



Berechnungsergebnis: Fassaden-Orientierung: **Süden**

Neigung:

SommerbemessungTyp: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne Block 1	Lufttemperatur Block 1	Solare Gewinne Block 2	Lufttemperatur Block 2	Solare Gewinne Block 3	Lufttemperatur Block 3
		kW	°C	kW	°C	kW	°C
03.08.2014	1:00	0,00	22,2	0,00	22,2	0,00	22,3
03.08.2014	2:00	0,00	22,0	0,00	21,9	0,00	22,0
03.08.2014	3:00	0,00	21,7	0,00	21,7	0,00	21,8
03.08.2014	4:00	0,00	21,5	0,00	21,4	0,00	21,5
03.08.2014	5:00	0,00	21,2	0,00	21,2	0,00	21,3
03.08.2014	6:00	0,01	21,0	0,01	21,0	0,01	21,1
03.08.2014	7:00	0,02	20,9	0,02	20,8	0,02	20,9
03.08.2014	8:00	0,04	20,8	0,03	20,8	0,04	20,9
03.08.2014	9:00	0,06	20,8	0,05	20,8	0,06	20,9
03.08.2014	10:00	0,07	21,1	0,07	21,0	0,08	21,2
03.08.2014	11:00	0,09	21,6	0,08	21,5	0,10	21,7
03.08.2014	12:00	0,10	22,1	0,09	22,0	0,11	22,2
03.08.2014	13:00	0,10	22,7	0,09	22,6	0,11	22,8
03.08.2014	14:00	0,09	23,2	0,08	23,1	0,10	23,4
03.08.2014	15:00	0,08	23,7	0,07	23,6	0,09	23,8
03.08.2014	16:00	0,06	24,0	0,05	23,9	0,07	24,2
03.08.2014	17:00	0,04	24,2	0,04	24,1	0,04	24,3
03.08.2014	18:00	0,02	24,1	0,02	24,1	0,02	24,2
03.08.2014	19:00	0,01	24,0	0,01	23,9	0,01	24,1
03.08.2014	20:00	0,00	23,7	0,00	23,6	0,00	23,8
03.08.2014	21:00	0,00	23,4	0,00	23,3	0,00	23,5
03.08.2014	22:00	0,00	23,1	0,00	23,0	0,00	23,1
03.08.2014	23:00	0,00	22,8	0,00	22,7	0,00	22,8
04.08.2014	0:00	0,00	22,5	0,00	22,4	0,00	22,5
04.08.2014	1:00	0,00	22,2	0,00	22,1	0,00	22,2
04.08.2014	2:00	0,00	21,9	0,00	21,9	0,00	22,0
04.08.2014	3:00	0,00	21,7	0,00	21,7	0,00	21,8
04.08.2014	4:00	0,00	21,5	0,00	21,5	0,00	21,6
04.08.2014	5:00	0,00	21,4	0,00	21,3	0,00	21,4
04.08.2014	6:00	0,01	21,3	0,01	21,2	0,01	21,3
04.08.2014	7:00	0,02	21,3	0,02	21,2	0,03	21,3
04.08.2014	8:00	0,04	21,4	0,04	21,3	0,05	21,4
04.08.2014	9:00	0,07	21,6	0,06	21,6	0,08	21,7
04.08.2014	10:00	0,09	22,2	0,08	22,1	0,11	22,3
04.08.2014	11:00	0,12	22,9	0,11	22,8	0,15	23,0

Berechnungsergebnis: Fassaden-Orientierung: **Süden**

Neigung:

SommerbemessungTyp: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne Block 1	Lufttemperatur Block 1	Solare Gewinne Block 2	Lufttemperatur Block 2	Solare Gewinne Block 3	Lufttemperatur Block 3
		kW	°C	kW	°C	kW	°C
04.08.2014	12:00	0,15	23,7	0,13	23,5	0,17	23,8
04.08.2014	13:00	0,16	24,4	0,14	24,2	0,18	24,6
04.08.2014	14:00	0,16	25,0	0,14	24,8	0,19	25,2
04.08.2014	15:00	0,14	25,5	0,12	25,3	0,16	25,7
04.08.2014	16:00	0,09	25,9	0,08	25,6	0,11	26,1
04.08.2014	17:00	0,05	26,1	0,05	26,0	0,06	26,3
04.08.2014	18:00	0,03	26,2	0,02	26,1	0,03	26,4
04.08.2014	19:00	0,01	26,0	0,01	25,9	0,01	26,2
04.08.2014	20:00	0,00	25,4	0,00	25,3	0,00	25,5
04.08.2014	21:00	0,00	24,8	0,00	24,7	0,00	24,9
04.08.2014	22:00	0,00	24,2	0,00	24,2	0,00	24,4
04.08.2014	23:00	0,00	23,8	0,00	23,7	0,00	23,9
05.08.2014	0:00	0,00	23,4	0,00	23,3	0,00	23,5
05.08.2014	1:00	0,00	23,0	0,00	22,9	0,00	23,1
05.08.2014	2:00	0,00	22,7	0,00	22,6	0,00	22,7
05.08.2014	3:00	0,00	22,3	0,00	22,2	0,00	22,4
05.08.2014	4:00	0,00	22,0	0,00	21,9	0,00	22,0
05.08.2014	5:00	0,00	21,6	0,00	21,6	0,00	21,7
05.08.2014	6:00	0,01	21,3	0,01	21,3	0,01	21,4
05.08.2014	7:00	0,03	21,2	0,03	21,1	0,03	21,3
05.08.2014	8:00	0,05	21,4	0,05	21,3	0,06	21,5
05.08.2014	9:00	0,09	22,0	0,08	21,9	0,11	22,2
05.08.2014	10:00	0,14	23,1	0,12	23,0	0,17	23,3
05.08.2014	11:00	0,16	24,3	0,14	24,1	0,19	24,5
05.08.2014	12:00	0,14	25,2	0,13	25,0	0,17	25,4
05.08.2014	13:00	0,11	25,7	0,10	25,5	0,12	25,9
05.08.2014	14:00	0,10	26,1	0,09	25,9	0,12	26,3
05.08.2014	15:00	0,10	26,3	0,09	26,2	0,12	26,6
05.08.2014	16:00	0,08	26,5	0,07	26,3	0,09	26,7
05.08.2014	17:00	0,05	26,5	0,05	26,4	0,06	26,7
05.08.2014	18:00	0,03	26,4	0,03	26,3	0,03	26,6
05.08.2014	19:00	0,01	26,2	0,01	26,1	0,01	26,4
05.08.2014	20:00	0,00	25,9	0,00	25,8	0,00	26,0
05.08.2014	21:00	0,00	25,5	0,00	25,4	0,00	25,6
05.08.2014	22:00	0,00	25,1	0,00	25,0	0,00	25,2

Berechnungsergebnis: Fassaden-Orientierung: **Süden**

Neigung:

SommerbemessungTyp: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne Block 1	Lufttemperatur Block 1	Solare Gewinne Block 2	Lufttemperatur Block 2	Solare Gewinne Block 3	Lufttemperatur Block 3
		kW	°C	kW	°C	kW	°C
05.08.2014	23:00	0,00	24,7	0,00	24,6	0,00	24,8
06.08.2014	0:00	0,00	24,3	0,00	24,2	0,00	24,4
06.08.2014	1:00	0,00	23,9	0,00	23,8	0,00	24,0
06.08.2014	2:00	0,00	23,5	0,00	23,4	0,00	23,6
06.08.2014	3:00	0,00	23,1	0,00	23,0	0,00	23,1
06.08.2014	4:00	0,00	22,6	0,00	22,6	0,00	22,7
06.08.2014	5:00	0,00	22,2	0,00	22,2	0,00	22,3
06.08.2014	6:00	0,01	21,9	0,01	21,8	0,01	22,0
06.08.2014	7:00	0,03	21,7	0,03	21,6	0,03	21,8
06.08.2014	8:00	0,05	21,9	0,05	21,8	0,06	22,0
06.08.2014	9:00	0,09	22,6	0,07	22,5	0,10	22,8
06.08.2014	10:00	0,14	23,8	0,12	23,6	0,18	24,0
06.08.2014	11:00	0,20	25,1	0,17	24,9	0,25	25,4
06.08.2014	12:00	0,24	26,2	0,20	25,9	0,29	26,6
06.08.2014	13:00	0,24	27,0	0,20	26,6	0,29	27,4
06.08.2014	14:00	0,21	27,5	0,17	27,1	0,26	27,9
06.08.2014	15:00	0,15	27,8	0,12	27,4	0,19	28,3
06.08.2014	16:00	0,09	28,2	0,08	27,8	0,11	28,6
06.08.2014	17:00	0,05	28,6	0,04	28,2	0,06	28,9
06.08.2014	18:00	0,03	28,8	0,03	28,6	0,03	29,2
06.08.2014	19:00	0,01	28,8	0,01	28,6	0,01	29,1
06.08.2014	20:00	0,00	28,4	0,00	28,3	0,00	28,7
06.08.2014	21:00	0,00	27,8	0,00	27,7	0,00	28,1
06.08.2014	22:00	0,00	27,2	0,00	27,1	0,00	27,4
06.08.2014	23:00	0,00	26,5	0,00	26,4	0,00	26,7
07.08.2014	0:00	0,00	25,8	0,00	25,8	0,00	26,0
07.08.2014	1:00	0,00	25,2	0,00	25,1	0,00	25,4
07.08.2014	2:00	0,00	24,7	0,00	24,6	0,00	24,8
07.08.2014	3:00	0,00	24,1	0,00	24,0	0,00	24,3
07.08.2014	4:00	0,00	23,6	0,00	23,5	0,00	23,8
07.08.2014	5:00	0,00	23,2	0,00	23,1	0,00	23,3
07.08.2014	6:00	0,01	22,8	0,01	22,7	0,01	22,9
07.08.2014	7:00	0,03	22,6	0,03	22,5	0,03	22,7
07.08.2014	8:00	0,05	22,8	0,04	22,7	0,05	22,9
07.08.2014	9:00	0,08	23,5	0,07	23,4	0,10	23,7

Berechnungsergebnis: Fassaden-Orientierung: **Süden**

Neigung:

SommerbemessungTyp: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne Block 1	Lufttemperatur Block 1	Solare Gewinne Block 2	Lufttemperatur Block 2	Solare Gewinne Block 3	Lufttemperatur Block 3
		kW	°C	kW	°C	kW	°C
07.08.2014	10:00	0,14	24,7	0,11	24,4	0,18	24,9
07.08.2014	11:00	0,20	25,8	0,16	25,5	0,25	26,2
07.08.2014	12:00	0,24	26,8	0,19	26,4	0,29	27,2
07.08.2014	13:00	0,24	27,5	0,20	27,1	0,29	28,0
07.08.2014	14:00	0,20	28,0	0,17	27,5	0,25	28,5
07.08.2014	15:00	0,15	28,4	0,12	28,0	0,18	28,9
07.08.2014	16:00	0,09	28,8	0,07	28,4	0,11	29,2
07.08.2014	17:00	0,05	29,0	0,04	28,7	0,05	29,5
07.08.2014	18:00	0,03	29,3	0,03	28,9	0,03	29,6
07.08.2014	19:00	0,01	29,2	0,01	28,9	0,01	29,5
07.08.2014	20:00	0,00	28,8	0,00	28,6	0,00	29,1
07.08.2014	21:00	0,00	28,2	0,00	28,0	0,00	28,5
07.08.2014	22:00	0,00	27,5	0,00	27,4	0,00	27,8
07.08.2014	23:00	0,00	26,9	0,00	26,8	0,00	27,2
08.08.2014	0:00	0,00	26,3	0,00	26,2	0,00	26,6
08.08.2014	1:00	0,00	25,8	0,00	25,6	0,00	26,0
08.08.2014	2:00	0,00	25,2	0,00	25,1	0,00	25,4
08.08.2014	3:00	0,00	24,7	0,00	24,6	0,00	24,9
08.08.2014	4:00	0,00	24,2	0,00	24,1	0,00	24,4
08.08.2014	5:00	0,00	23,7	0,00	23,6	0,00	23,9
08.08.2014	6:00	0,01	23,3	0,01	23,2	0,01	23,5
08.08.2014	7:00	0,03	23,0	0,03	22,9	0,03	23,2
08.08.2014	8:00	0,05	23,2	0,04	23,0	0,05	23,4
08.08.2014	9:00	0,08	23,8	0,07	23,7	0,10	24,0
08.08.2014	10:00	0,14	24,8	0,11	24,6	0,18	25,1
08.08.2014	11:00	0,20	25,9	0,16	25,6	0,25	26,3
08.08.2014	12:00	0,23	26,8	0,19	26,5	0,29	27,3
08.08.2014	13:00	0,24	27,5	0,19	27,1	0,29	28,0
08.08.2014	14:00	0,20	28,0	0,17	27,5	0,25	28,6
08.08.2014	15:00	0,15	28,4	0,12	28,0	0,18	29,0
08.08.2014	16:00	0,09	28,7	0,07	28,3	0,11	29,3
08.08.2014	17:00	0,05	29,0	0,04	28,6	0,05	29,4
08.08.2014	18:00	0,03	29,2	0,03	28,8	0,03	29,5
08.08.2014	19:00	0,01	29,1	0,01	28,8	0,01	29,5
08.08.2014	20:00	0,00	28,8	0,00	28,6	0,00	29,1

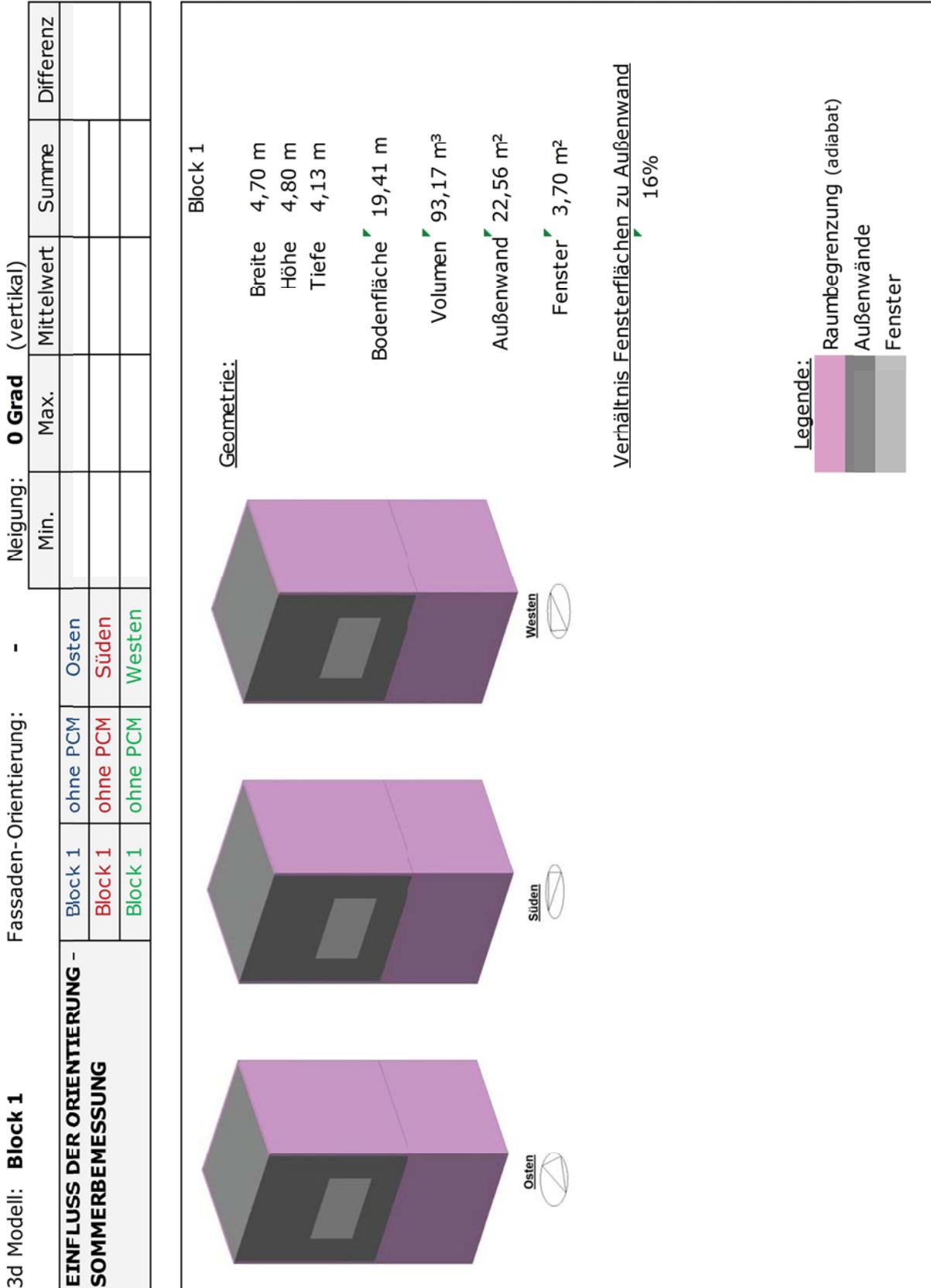
Berechnungsergebnis: Fassaden-Orientierung: **Süden**

Neigung:

SommerbemessungTyp: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne Block 1	Lufttemperatur Block 1	Solare Gewinne Block 2	Lufttemperatur Block 2	Solare Gewinne Block 3	Lufttemperatur Block 3
		kW	°C	kW	°C	kW	°C
08.08.2014	21:00	0,00	28,2	0,00	28,1	0,00	28,5
08.08.2014	22:00	0,00	27,6	0,00	27,5	0,00	27,9
08.08.2014	23:00	0,00	27,0	0,00	26,9	0,00	27,2
09.08.2014	0:00	0,00	26,4	0,00	26,2	0,00	26,6
09.08.2014	1:00	0,00	25,8	0,00	25,7	0,00	26,0
09.08.2014	2:00	0,00	25,3	0,00	25,2	0,00	25,5
09.08.2014	3:00	0,00	24,8	0,00	24,7	0,00	25,0
09.08.2014	4:00	0,00	24,3	0,00	24,2	0,00	24,5
09.08.2014	5:00	0,00	23,9	0,00	23,8	0,00	24,1
09.08.2014	6:00	0,01	23,6	0,01	23,5	0,01	23,8
09.08.2014	7:00	0,03	23,4	0,02	23,3	0,03	23,6
09.08.2014	8:00	0,05	23,6	0,04	23,5	0,05	23,8
09.08.2014	9:00	0,08	24,4	0,07	24,2	0,10	24,6
09.08.2014	10:00	0,14	25,6	0,12	25,4	0,18	25,9
09.08.2014	11:00	0,20	26,9	0,17	26,6	0,25	27,3
09.08.2014	12:00	0,24	28,0	0,20	27,6	0,29	28,4
09.08.2014	13:00	0,24	28,7	0,20	28,3	0,29	29,2
09.08.2014	14:00	0,21	29,1	0,17	28,7	0,26	29,6
09.08.2014	15:00	0,15	29,4	0,12	29,0	0,19	29,9
09.08.2014	16:00	0,09	29,7	0,07	29,3	0,11	30,2
09.08.2014	17:00	0,05	29,9	0,04	29,6	0,05	30,4
09.08.2014	18:00	0,03	30,1	0,03	29,8	0,03	30,5
09.08.2014	19:00	0,01	30,1	0,01	29,8	0,01	30,4
09.08.2014	20:00	0,00	29,6	0,00	29,4	0,00	30,0
09.08.2014	21:00	0,00	29,0	0,00	28,9	0,00	29,3
09.08.2014	22:00	0,00	28,4	0,00	28,2	0,00	28,7
09.08.2014	23:00	0,00	27,7	0,00	27,6	0,00	28,0
10.08.2014	0:00	0,00	27,1	0,00	26,9	0,00	27,3
Min.		0,00	20,8	0,00	20,8	0,00	20,9
Max.		0,24	30,1	0,20	29,8	0,29	30,5
Summe:		8,99		7,70		10,89	

14.3 Variation der Orientierung



Berechnungsergebnis **Block 1**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **0 Grad (vertikal)****Sommerbemessung**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne Osten	Lufttemperatur Osten	Solare Gewinne Süden	Lufttemperatur Süden	Solare Gewinne Westen	Lufttemperatur Westen
		kW	°C	kW	°C	kW	°C
03.08.2014	1:00	0,00	22,20	0,00	22,22	0,00	22,24
03.08.2014	2:00	0,00	21,93	0,00	21,95	0,00	21,97
03.08.2014	3:00	0,00	21,69	0,00	21,71	0,00	21,73
03.08.2014	4:00	0,00	21,47	0,00	21,49	0,00	21,50
03.08.2014	5:00	0,00	21,22	0,00	21,23	0,00	21,24
03.08.2014	6:00	0,01	21,00	0,01	21,01	0,01	21,02
03.08.2014	7:00	0,02	20,90	0,02	20,90	0,02	20,91
03.08.2014	8:00	0,05	20,85	0,04	20,83	0,04	20,84
03.08.2014	9:00	0,07	20,90	0,06	20,85	0,05	20,85
03.08.2014	10:00	0,08	21,16	0,07	21,12	0,07	21,11
03.08.2014	11:00	0,09	21,57	0,09	21,58	0,07	21,57
03.08.2014	12:00	0,08	22,06	0,10	22,13	0,08	22,12
03.08.2014	13:00	0,08	22,60	0,10	22,70	0,08	22,71
03.08.2014	14:00	0,07	23,14	0,09	23,24	0,09	23,29
03.08.2014	15:00	0,07	23,64	0,08	23,71	0,08	23,80
03.08.2014	16:00	0,05	23,99	0,06	24,03	0,07	24,14
03.08.2014	17:00	0,04	24,15	0,04	24,17	0,05	24,29
03.08.2014	18:00	0,02	24,12	0,02	24,14	0,03	24,23
03.08.2014	19:00	0,01	23,94	0,01	23,96	0,01	24,03
03.08.2014	20:00	0,00	23,66	0,00	23,69	0,00	23,74
03.08.2014	21:00	0,00	23,36	0,00	23,38	0,00	23,43
03.08.2014	22:00	0,00	23,05	0,00	23,08	0,00	23,12
03.08.2014	23:00	0,00	22,74	0,00	22,76	0,00	22,80
04.08.2014	0:00	0,00	22,44	0,00	22,46	0,00	22,49
04.08.2014	1:00	0,00	22,16	0,00	22,18	0,00	22,20
04.08.2014	2:00	0,00	21,91	0,00	21,93	0,00	21,95
04.08.2014	3:00	0,00	21,69	0,00	21,71	0,00	21,72
04.08.2014	4:00	0,00	21,52	0,00	21,53	0,00	21,54
04.08.2014	5:00	0,00	21,38	0,00	21,39	0,00	21,40
04.08.2014	6:00	0,01	21,28	0,01	21,29	0,01	21,30
04.08.2014	7:00	0,03	21,26	0,02	21,26	0,02	21,27
04.08.2014	8:00	0,07	21,40	0,04	21,35	0,04	21,36
04.08.2014	9:00	0,09	21,73	0,07	21,64	0,06	21,65
04.08.2014	10:00	0,11	22,27	0,09	22,18	0,07	22,16
04.08.2014	11:00	0,11	22,90	0,12	22,90	0,08	22,85

Berechnungsergebnis **Block 1**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **0 Grad (vertikal)****Sommerbemessung**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne Osten	Lufttemperatur Osten	Solare Gewinne Süden	Lufttemperatur Süden	Solare Gewinne Westen	Lufttemperatur Westen
		kW	°C	kW	°C	kW	°C
04.08.2014	12:00	0,09	23,51	0,15	23,67	0,08	23,59
04.08.2014	13:00	0,08	24,09	0,16	24,37	0,09	24,28
04.08.2014	14:00	0,08	24,69	0,16	24,95	0,14	24,98
04.08.2014	15:00	0,08	25,28	0,14	25,47	0,21	25,77
04.08.2014	16:00	0,06	25,83	0,09	25,85	0,26	26,57
04.08.2014	17:00	0,05	26,27	0,05	26,13	0,18	26,94
04.08.2014	18:00	0,03	26,42	0,03	26,22	0,06	26,80
04.08.2014	19:00	0,01	26,20	0,01	26,01	0,01	26,39
04.08.2014	20:00	0,00	25,56	0,00	25,41	0,00	25,70
04.08.2014	21:00	0,00	24,88	0,00	24,77	0,00	25,02
04.08.2014	22:00	0,00	24,33	0,00	24,25	0,00	24,47
04.08.2014	23:00	0,00	23,87	0,00	23,80	0,00	23,99
05.08.2014	0:00	0,00	23,43	0,00	23,40	0,00	23,56
05.08.2014	1:00	0,00	23,04	0,00	23,01	0,00	23,16
05.08.2014	2:00	0,00	22,66	0,00	22,65	0,00	22,78
05.08.2014	3:00	0,00	22,31	0,00	22,31	0,00	22,43
05.08.2014	4:00	0,00	21,96	0,00	21,97	0,00	22,07
05.08.2014	5:00	0,00	21,62	0,00	21,63	0,00	21,73
05.08.2014	6:00	0,04	21,35	0,01	21,34	0,01	21,43
05.08.2014	7:00	0,18	21,54	0,03	21,20	0,03	21,29
05.08.2014	8:00	0,26	22,12	0,05	21,39	0,05	21,50
05.08.2014	9:00	0,29	22,88	0,09	22,05	0,06	22,17
05.08.2014	10:00	0,24	23,61	0,14	23,14	0,07	23,23
05.08.2014	11:00	0,15	24,25	0,16	24,30	0,08	24,41
05.08.2014	12:00	0,09	24,95	0,14	25,20	0,08	25,45
05.08.2014	13:00	0,08	25,58	0,11	25,71	0,08	26,15
05.08.2014	14:00	0,08	26,05	0,10	26,05	0,10	26,57
05.08.2014	15:00	0,07	26,37	0,10	26,34	0,12	26,88
05.08.2014	16:00	0,06	26,57	0,08	26,49	0,14	27,11
05.08.2014	17:00	0,05	26,65	0,05	26,52	0,12	27,18
05.08.2014	18:00	0,03	26,58	0,03	26,43	0,08	27,05
05.08.2014	19:00	0,01	26,37	0,01	26,22	0,02	26,71
05.08.2014	20:00	0,00	26,03	0,00	25,89	0,00	26,27
05.08.2014	21:00	0,00	25,62	0,00	25,50	0,00	25,81
05.08.2014	22:00	0,00	25,21	0,00	25,09	0,00	25,37

Berechnungsergebnis **Block 1**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **0 Grad (vertikal)****Sommerbemessung**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne Osten	Lufttemperatur Osten	Solare Gewinne Süden	Lufttemperatur Süden	Solare Gewinne Westen	Lufttemperatur Westen
		kW	°C	kW	°C	kW	°C
05.08.2014	23:00	0,00	24,80	0,00	24,69	0,00	24,93
06.08.2014	0:00	0,00	24,39	0,00	24,28	0,00	24,49
06.08.2014	1:00	0,00	23,98	0,00	23,88	0,00	24,06
06.08.2014	2:00	0,00	23,57	0,00	23,47	0,00	23,63
06.08.2014	3:00	0,00	23,15	0,00	23,06	0,00	23,21
06.08.2014	4:00	0,00	22,73	0,00	22,65	0,00	22,78
06.08.2014	5:00	0,00	22,32	0,00	22,24	0,00	22,36
06.08.2014	6:00	0,04	21,99	0,01	21,88	0,01	21,99
06.08.2014	7:00	0,18	22,12	0,03	21,70	0,03	21,81
06.08.2014	8:00	0,27	22,72	0,05	21,90	0,04	22,02
06.08.2014	9:00	0,31	23,56	0,09	22,63	0,06	22,78
06.08.2014	10:00	0,27	24,38	0,14	23,82	0,06	23,93
06.08.2014	11:00	0,17	25,07	0,20	25,12	0,07	25,17
06.08.2014	12:00	0,09	25,73	0,24	26,25	0,07	26,31
06.08.2014	13:00	0,07	26,46	0,24	27,02	0,08	27,18
06.08.2014	14:00	0,07	27,17	0,21	27,48	0,16	27,94
06.08.2014	15:00	0,06	27,87	0,15	27,85	0,26	28,80
06.08.2014	16:00	0,05	28,58	0,09	28,21	0,32	29,60
06.08.2014	17:00	0,04	29,18	0,05	28,56	0,30	30,10
06.08.2014	18:00	0,03	29,54	0,03	28,84	0,19	30,05
06.08.2014	19:00	0,01	29,52	0,01	28,84	0,05	29,53
06.08.2014	20:00	0,00	29,09	0,00	28,44	0,00	28,86
06.08.2014	21:00	0,00	28,41	0,00	27,83	0,00	28,15
06.08.2014	22:00	0,00	27,66	0,00	27,16	0,00	27,45
06.08.2014	23:00	0,00	26,92	0,00	26,49	0,00	26,76
07.08.2014	0:00	0,00	26,21	0,00	25,84	0,00	26,10
07.08.2014	1:00	0,00	25,54	0,00	25,24	0,00	25,47
07.08.2014	2:00	0,00	24,93	0,00	24,67	0,00	24,89
07.08.2014	3:00	0,00	24,37	0,00	24,14	0,00	24,35
07.08.2014	4:00	0,00	23,84	0,00	23,64	0,00	23,84
07.08.2014	5:00	0,00	23,36	0,00	23,17	0,00	23,37
07.08.2014	6:00	0,04	22,98	0,01	22,79	0,01	22,97
07.08.2014	7:00	0,20	23,11	0,03	22,59	0,03	22,77
07.08.2014	8:00	0,32	23,80	0,05	22,79	0,04	23,00
07.08.2014	9:00	0,35	24,67	0,08	23,53	0,05	23,76

Berechnungsergebnis **Block 1**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **0 Grad (vertikal)****Sommerbemessung**Typ: **ohne PCM**

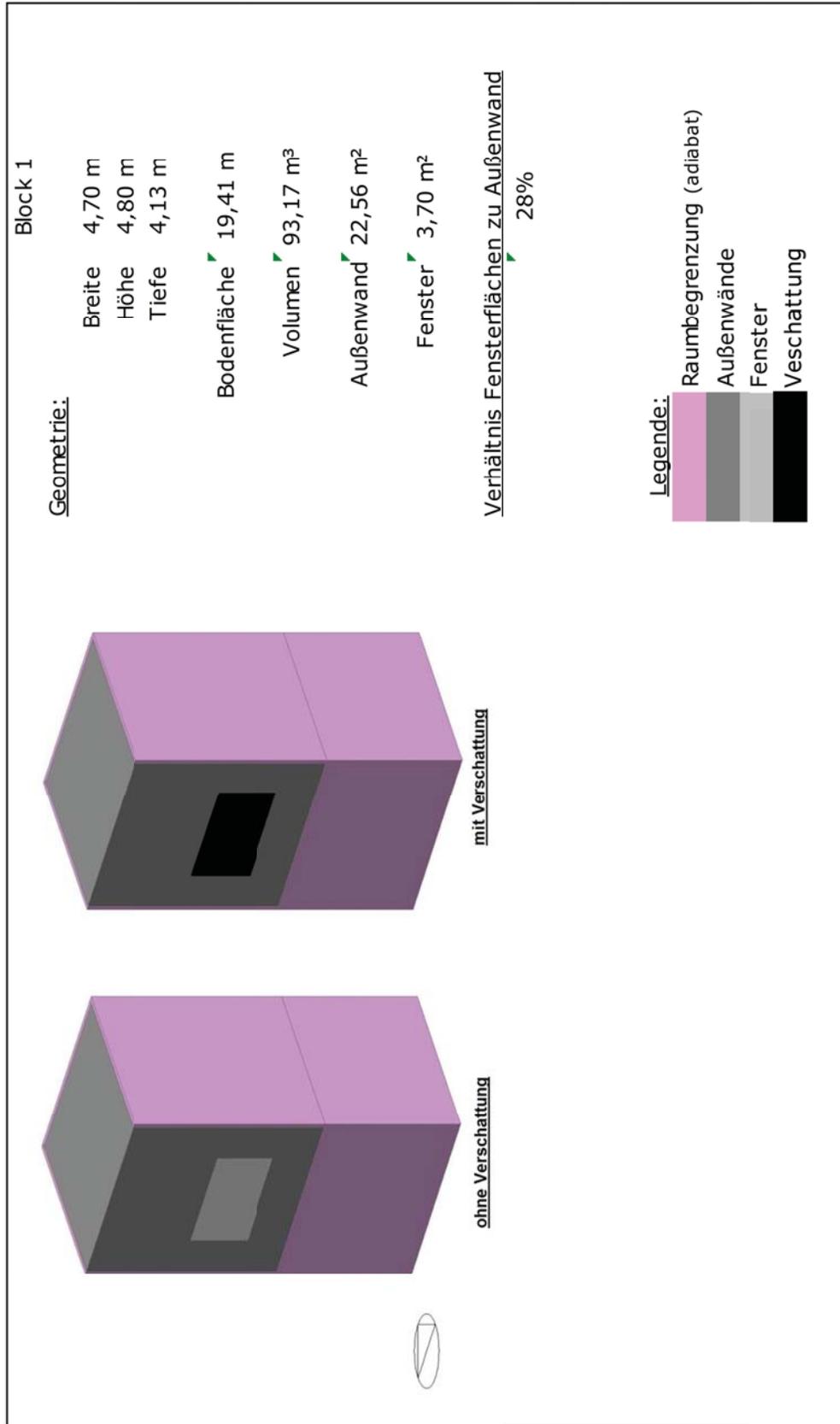
Datum	Zeit	Solare Gewinne Osten	Lufttemperatur Osten	Solare Gewinne Süden	Lufttemperatur Süden	Solare Gewinne Westen	Lufttemperatur Westen
		kW	°C	kW	°C	kW	°C
07.08.2014	10:00	0,28	25,39	0,14	24,65	0,05	24,85
07.08.2014	11:00	0,16	25,86	0,20	25,81	0,06	25,92
07.08.2014	12:00	0,08	26,31	0,24	26,81	0,06	26,86
07.08.2014	13:00	0,07	26,96	0,24	27,52	0,08	27,64
07.08.2014	14:00	0,06	27,66	0,20	27,99	0,15	28,39
07.08.2014	15:00	0,06	28,38	0,15	28,40	0,26	29,29
07.08.2014	16:00	0,05	29,06	0,09	28,75	0,33	30,09
07.08.2014	17:00	0,04	29,57	0,05	29,05	0,32	30,58
07.08.2014	18:00	0,03	29,83	0,03	29,25	0,21	30,52
07.08.2014	19:00	0,01	29,77	0,01	29,20	0,05	29,96
07.08.2014	20:00	0,00	29,35	0,00	28,79	0,00	29,26
07.08.2014	21:00	0,00	28,69	0,00	28,19	0,00	28,56
07.08.2014	22:00	0,00	27,98	0,00	27,54	0,00	27,88
07.08.2014	23:00	0,00	27,29	0,00	26,91	0,00	27,24
08.08.2014	0:00	0,00	26,65	0,00	26,32	0,00	26,63
08.08.2014	1:00	0,00	26,05	0,00	25,76	0,00	26,05
08.08.2014	2:00	0,00	25,48	0,00	25,23	0,00	25,50
08.08.2014	3:00	0,00	24,94	0,00	24,71	0,00	24,97
08.08.2014	4:00	0,00	24,41	0,00	24,20	0,00	24,46
08.08.2014	5:00	0,00	23,91	0,00	23,72	0,00	23,96
08.08.2014	6:00	0,04	23,50	0,01	23,29	0,01	23,52
08.08.2014	7:00	0,19	23,56	0,03	23,04	0,03	23,27
08.08.2014	8:00	0,32	24,16	0,05	23,17	0,04	23,41
08.08.2014	9:00	0,35	24,94	0,08	23,80	0,05	24,08
08.08.2014	10:00	0,28	25,61	0,14	24,82	0,05	25,05
08.08.2014	11:00	0,16	26,03	0,20	25,91	0,06	26,02
08.08.2014	12:00	0,08	26,41	0,23	26,85	0,06	26,86
08.08.2014	13:00	0,06	26,99	0,24	27,54	0,08	27,57
08.08.2014	14:00	0,06	27,65	0,20	28,01	0,15	28,29
08.08.2014	15:00	0,06	28,34	0,15	28,41	0,26	29,17
08.08.2014	16:00	0,05	28,96	0,09	28,74	0,33	29,97
08.08.2014	17:00	0,04	29,40	0,05	29,00	0,32	30,46
08.08.2014	18:00	0,03	29,63	0,03	29,16	0,21	30,43
08.08.2014	19:00	0,01	29,58	0,01	29,12	0,05	29,91
08.08.2014	20:00	0,00	29,22	0,00	28,76	0,00	29,28

Berechnungsergebnis **Block 1**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **0 Grad (vertikal)****Sommerbemessung**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne Osten	Lufttemperatur Osten	Solare Gewinne Süden	Lufttemperatur Süden	Solare Gewinne Westen	Lufttemperatur Westen
		kW	°C	kW	°C	kW	°C
08.08.2014	21:00	0,00	28,64	0,00	28,22	0,00	28,64
08.08.2014	22:00	0,00	27,98	0,00	27,61	0,00	27,99
08.08.2014	23:00	0,00	27,31	0,00	26,98	0,00	27,34
09.08.2014	0:00	0,00	26,66	0,00	26,38	0,00	26,71
09.08.2014	1:00	0,00	26,06	0,00	25,81	0,00	26,13
09.08.2014	2:00	0,00	25,51	0,00	25,29	0,00	25,59
09.08.2014	3:00	0,00	25,01	0,00	24,80	0,00	25,09
09.08.2014	4:00	0,00	24,54	0,00	24,35	0,00	24,62
09.08.2014	5:00	0,00	24,11	0,00	23,93	0,00	24,20
09.08.2014	6:00	0,03	23,77	0,01	23,58	0,01	23,84
09.08.2014	7:00	0,17	23,86	0,03	23,40	0,03	23,65
09.08.2014	8:00	0,28	24,48	0,05	23,61	0,04	23,87
09.08.2014	9:00	0,32	25,36	0,08	24,39	0,05	24,68
09.08.2014	10:00	0,27	26,16	0,14	25,63	0,06	25,88
09.08.2014	11:00	0,17	26,84	0,20	26,93	0,07	27,10
09.08.2014	12:00	0,09	27,43	0,24	28,01	0,07	28,13
09.08.2014	13:00	0,07	28,05	0,24	28,72	0,08	28,85
09.08.2014	14:00	0,07	28,62	0,21	29,11	0,16	29,44
09.08.2014	15:00	0,06	29,19	0,15	29,40	0,26	30,17
09.08.2014	16:00	0,05	29,76	0,09	29,66	0,33	30,89
09.08.2014	17:00	0,04	30,26	0,05	29,92	0,30	31,32
09.08.2014	18:00	0,03	30,56	0,03	30,12	0,18	31,22
09.08.2014	19:00	0,01	30,51	0,01	30,05	0,04	30,68
09.08.2014	20:00	0,00	30,08	0,00	29,64	0,00	30,03
09.08.2014	21:00	0,00	29,44	0,00	29,04	0,00	29,36
09.08.2014	22:00	0,00	28,73	0,00	28,38	0,00	28,69
09.08.2014	23:00	0,00	28,02	0,00	27,71	0,00	28,01
10.08.2014	0:00	0,00	27,32	0,00	27,06	0,00	27,34
Min.		0,00	20,9	0,00	20,8	0,00	20,8
Max.		0,35	30,6	0,24	30,1	0,33	31,3
Summe:		10,05		8,99		9,83	

14.4 Einfluss der Verschattung

3d Modell: Block 1	Fassaden-Orientierung: Süden		Neigung: 0 Grad		(vertikal)	
	Typ:		Süd ohne Verschattung		Min.	Max.
	Block 1	ohne PCM	Süden mit Verschattung			
EINFLUSS DER FENSTERVERSCHATTUNG - SOMMERBEMESSUNG		Block 1	ohne PCM			
		Block 1	ohne PCM			



Außenliegender Sonnenschutz in Kombination mit Verglasung

Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades nach ÖNORM EN 13363-1

Teil1: Vereinfachtes Berechnungsverfahren

Verglasung:	Sonnenschutzvorrichtung:
$t_v = 0,54$	$t_{v,B} = 0,12$
$r_v = 0,12$	$r'_{v,B} = 0,55$
$g = 0,27$	
$U_g = 1,00 \text{ [W/(m}^2\text{K)]}$	

Fc Faktor = $g_{total} / g =$	0,26
---	-------------

Angenommen wird, dass Transmissions- und Reflexionsgrad für Licht mit den entsprechenden Werten für Solarenergie übereinstimmen.

- t_v ... Lichttransmissionsgrad der Verglasung
- $t_{v,B}$... Lichttransmissionsgrad des Sonnenschutzes
- U_g ... Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung
- g ... Gesamtenergiedurchlaßgrad
- r_v ... Lichtreflexionsgrad der Seite der Verglasung, die der Sonnenschutzvorrichtung zugewandt ist
- $r'_{v,B}$... Lichtreflexionsgrad der Seite der Sonnenschutzvorrichtung, die der Verglasung zugewandt ist
- Fc Faktor... Abminderungsfaktor, beschreibt die Wirksamkeit des Sonnenschutzes

$g_{total} = t_{e,B} * g + a_{e,B} * (G/G_2) + t_{e,B} * (1-g) * (G/G_1):$	0,07
--	------

$G = [(1/U_g) + (1/G_1)] * 0,77$

mit $G_1 = 5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$; $G_2 = 10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

G ... Wärmewirkleitwert $[\text{W/m}^2\text{K}]$

g_{total} ... Gesamtenergiedurchlaßgrad für Solarstrahlung für eine Verglasung und einen außenliegenden Sonnenschutz

Außenliegender Sonnenschutz in Kombination mit Verglasung

PRODUKTDATENBLATT



Für die neue Fenstergeneration ab Mai 2013

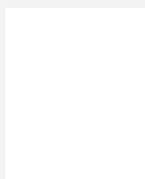
MHL

Haltekrallen-Markisette
manuelle Bedienung



Die Abbildung ist eine neutrale Illustration. Materialien werden in diesem Produktdatenblatt beschrieben.

FUNKTIONEN



TECHNISCHE WERTE

-  **Hitzeschutz**
Reduziert Hitze bis zu 74%*
-  **Wärmedämmung**
NEIN
-  **Einbruchshemmend**
NEIN
-  **Lärmreduktion**
NEIN
-  **Verdunkelung**
Bis zu 14% transparent**
-  **Lichtregulierung**
NEIN
-  **Sichtschutz**
Eingeschränkt
-  **Insektenschutz**
NEIN

Alle Messungen und Kalkulationen basieren auf den internationalen Standards ISO 15099 und EN 13363-2. Das verwendete Kalkulationstool WinSLT ist zertifiziert von IFT Rosenheim. Dieses Produkt ist CE-gekennzeichnet. Das bedeutet, dass es mit den betreffenden EU-Richtlinien übereinstimmt.

Neue Fenstergeneration + Stoff 5060	70	56	60
Abminderungsfaktor F_c	0,28	0,26	0,43
Lichtdurchlass τ (**)	0,14	0,12	0,10

Stand: März 2014

Änderungen vorbehalten.

Quelle: <http://www.velux.at/de-AT/Documents/PDF/Produktdatenblätter/>

Berechnungsergebnis **Block 1** Fassaden-Orientierung: **Süden**
 Neigung: **0 Grad** (vertikal)
 Sommerbemessung Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne Block 1 ohne Verschattung	Luft-temperatur Block 1 ohne Verschattung	Solare Gewinne Block 1 mit Verschattung	Luft-temperatur Block 1 mit Verschattung
		kW	°C	kW	°C
03.08.2014	1:00	0,00	22,22	0,00	22,22
03.08.2014	2:00	0,00	21,95	0,00	21,95
03.08.2014	3:00	0,00	21,71	0,00	21,71
03.08.2014	4:00	0,00	21,49	0,00	21,49
03.08.2014	5:00	0,00	21,23	0,00	21,23
03.08.2014	6:00	0,01	21,01	0,01	21,01
03.08.2014	7:00	0,02	20,90	0,02	20,90
03.08.2014	8:00	0,04	20,83	0,04	20,83
03.08.2014	9:00	0,06	20,85	0,06	20,85
03.08.2014	10:00	0,07	21,12	0,07	21,12
03.08.2014	11:00	0,09	21,58	0,09	21,58
03.08.2014	12:00	0,10	22,13	0,10	22,13
03.08.2014	13:00	0,10	22,70	0,10	22,70
03.08.2014	14:00	0,09	23,24	0,09	23,24
03.08.2014	15:00	0,08	23,71	0,08	23,71
03.08.2014	16:00	0,06	24,03	0,06	24,03
03.08.2014	17:00	0,04	24,17	0,04	24,17
03.08.2014	18:00	0,02	24,14	0,02	24,14
03.08.2014	19:00	0,01	23,96	0,01	23,96
03.08.2014	20:00	0,00	23,69	0,00	23,69
03.08.2014	21:00	0,00	23,38	0,00	23,38
03.08.2014	22:00	0,00	23,08	0,00	23,08
03.08.2014	23:00	0,00	22,76	0,00	22,76
04.08.2014	0:00	0,00	22,46	0,00	22,46
04.08.2014	1:00	0,00	22,18	0,00	22,18
04.08.2014	2:00	0,00	21,93	0,00	21,93
04.08.2014	3:00	0,00	21,71	0,00	21,71
04.08.2014	4:00	0,00	21,53	0,00	21,53
04.08.2014	5:00	0,00	21,39	0,00	21,39
04.08.2014	6:00	0,01	21,29	0,01	21,29
04.08.2014	7:00	0,02	21,26	0,02	21,26
04.08.2014	8:00	0,04	21,35	0,04	21,35
04.08.2014	9:00	0,07	21,64	0,07	21,64
04.08.2014	10:00	0,09	22,18	0,09	22,18
04.08.2014	11:00	0,12	22,90	0,12	22,90

Berechnungsergebnis **Block 1** Fassaden-Orientierung: **Süden**
 Neigung: **0 Grad** (vertikal)
 Sommerbemessung Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne Block 1 ohne Verschattung	Luft-temperatur Block 1 ohne Verschattung	Solare Gewinne Block 1 mit Verschattung	Luft-temperatur Block 1 mit Verschattung
		kW	°C	kW	°C
04.08.2014	12:00	0,15	23,67	0,15	23,67
04.08.2014	13:00	0,16	24,37	0,16	24,37
04.08.2014	14:00	0,16	24,95	0,16	24,95
04.08.2014	15:00	0,14	25,47	0,14	25,47
04.08.2014	16:00	0,09	25,85	0,09	25,85
04.08.2014	17:00	0,05	26,13	0,05	26,13
04.08.2014	18:00	0,03	26,22	0,03	26,22
04.08.2014	19:00	0,01	26,01	0,01	26,01
04.08.2014	20:00	0,00	25,41	0,00	25,41
04.08.2014	21:00	0,00	24,77	0,00	24,77
04.08.2014	22:00	0,00	24,25	0,00	24,25
04.08.2014	23:00	0,00	23,80	0,00	23,80
05.08.2014	0:00	0,00	23,40	0,00	23,40
05.08.2014	1:00	0,00	23,01	0,00	23,01
05.08.2014	2:00	0,00	22,65	0,00	22,65
05.08.2014	3:00	0,00	22,31	0,00	22,31
05.08.2014	4:00	0,00	21,97	0,00	21,97
05.08.2014	5:00	0,00	21,63	0,00	21,63
05.08.2014	6:00	0,01	21,34	0,01	21,34
05.08.2014	7:00	0,03	21,20	0,03	21,20
05.08.2014	8:00	0,05	21,39	0,01	21,35
05.08.2014	9:00	0,09	22,05	0,01	21,89
05.08.2014	10:00	0,14	23,14	0,02	22,75
05.08.2014	11:00	0,16	24,30	0,02	23,67
05.08.2014	12:00	0,14	25,20	0,02	24,41
05.08.2014	13:00	0,11	25,71	0,01	24,88
05.08.2014	14:00	0,10	26,05	0,01	25,20
05.08.2014	15:00	0,10	26,34	0,01	25,45
05.08.2014	16:00	0,08	26,49	0,01	25,61
05.08.2014	17:00	0,05	26,52	0,01	25,69
05.08.2014	18:00	0,03	26,43	0,03	25,72
05.08.2014	19:00	0,01	26,22	0,01	25,62
05.08.2014	20:00	0,00	25,89	0,00	25,37
05.08.2014	21:00	0,00	25,50	0,00	25,04
05.08.2014	22:00	0,00	25,09	0,00	24,68

Berechnungsergebnis **Block 1** Fassaden-Orientierung: **Süden**
 Neigung: **0 Grad** (vertikal)
 Sommerbemessung Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne Block 1 ohne Verschattung	Luft-temperatur Block 1 ohne Verschattung	Solare Gewinne Block 1 mit Verschattung	Luft-temperatur Block 1 mit Verschattung
		kW	°C	kW	°C
05.08.2014	23:00	0,00	24,69	0,00	24,32
06.08.2014	0:00	0,00	24,28	0,00	23,95
06.08.2014	1:00	0,00	23,88	0,00	23,57
06.08.2014	2:00	0,00	23,47	0,00	23,19
06.08.2014	3:00	0,00	23,06	0,00	22,80
06.08.2014	4:00	0,00	22,65	0,00	22,40
06.08.2014	5:00	0,00	22,24	0,00	22,01
06.08.2014	6:00	0,01	21,88	0,01	21,66
06.08.2014	7:00	0,03	21,70	0,03	21,50
06.08.2014	8:00	0,05	21,90	0,01	21,66
06.08.2014	9:00	0,09	22,63	0,01	22,30
06.08.2014	10:00	0,14	23,82	0,02	23,27
06.08.2014	11:00	0,20	25,12	0,02	24,26
06.08.2014	12:00	0,24	26,25	0,03	25,05
06.08.2014	13:00	0,24	27,02	0,03	25,55
06.08.2014	14:00	0,21	27,48	0,03	25,87
06.08.2014	15:00	0,15	27,85	0,02	26,26
06.08.2014	16:00	0,09	28,21	0,01	26,76
06.08.2014	17:00	0,05	28,56	0,01	27,27
06.08.2014	18:00	0,03	28,84	0,03	27,72
06.08.2014	19:00	0,01	28,84	0,01	27,86
06.08.2014	20:00	0,00	28,44	0,00	27,58
06.08.2014	21:00	0,00	27,83	0,00	27,06
06.08.2014	22:00	0,00	27,16	0,00	26,46
06.08.2014	23:00	0,00	26,49	0,00	25,85
07.08.2014	0:00	0,00	25,84	0,00	25,26
07.08.2014	1:00	0,00	25,24	0,00	24,69
07.08.2014	2:00	0,00	24,67	0,00	24,16
07.08.2014	3:00	0,00	24,14	0,00	23,66
07.08.2014	4:00	0,00	23,64	0,00	23,18
07.08.2014	5:00	0,00	23,17	0,00	22,74
07.08.2014	6:00	0,01	22,79	0,01	22,37
07.08.2014	7:00	0,03	22,59	0,03	22,19
07.08.2014	8:00	0,05	22,79	0,01	22,38
07.08.2014	9:00	0,08	23,53	0,01	23,05

Berechnungsergebnis **Block 1** Fassaden-Orientierung: **Süden**
 Neigung: **0 Grad** (vertikal)
 Sommerbemessung Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne Block 1 ohne Verschattung	Luft-temperatur Block 1 ohne Verschattung	Solare Gewinne Block 1 mit Verschattung	Luft-temperatur Block 1 mit Verschattung
		kW	°C	kW	°C
07.08.2014	10:00	0,14	24,65	0,02	23,98
07.08.2014	11:00	0,20	25,81	0,03	24,83
07.08.2014	12:00	0,24	26,81	0,03	25,49
07.08.2014	13:00	0,24	27,52	0,03	25,92
07.08.2014	14:00	0,20	27,99	0,03	26,26
07.08.2014	15:00	0,15	28,40	0,02	26,69
07.08.2014	16:00	0,09	28,75	0,01	27,19
07.08.2014	17:00	0,05	29,05	0,01	27,66
07.08.2014	18:00	0,03	29,25	0,03	28,02
07.08.2014	19:00	0,01	29,20	0,01	28,12
07.08.2014	20:00	0,00	28,79	0,00	27,82
07.08.2014	21:00	0,00	28,19	0,00	27,31
07.08.2014	22:00	0,00	27,54	0,00	26,74
07.08.2014	23:00	0,00	26,91	0,00	26,18
08.08.2014	0:00	0,00	26,32	0,00	25,64
08.08.2014	1:00	0,00	25,76	0,00	25,13
08.08.2014	2:00	0,00	25,23	0,00	24,63
08.08.2014	3:00	0,00	24,71	0,00	24,14
08.08.2014	4:00	0,00	24,20	0,00	23,66
08.08.2014	5:00	0,00	23,72	0,00	23,20
08.08.2014	6:00	0,01	23,29	0,01	22,80
08.08.2014	7:00	0,03	23,04	0,03	22,56
08.08.2014	8:00	0,05	23,17	0,01	22,67
08.08.2014	9:00	0,08	23,80	0,01	23,25
08.08.2014	10:00	0,14	24,82	0,02	24,07
08.08.2014	11:00	0,20	25,91	0,03	24,84
08.08.2014	12:00	0,23	26,85	0,03	25,44
08.08.2014	13:00	0,24	27,54	0,03	25,86
08.08.2014	14:00	0,20	28,01	0,03	26,20
08.08.2014	15:00	0,15	28,41	0,02	26,63
08.08.2014	16:00	0,09	28,74	0,01	27,11
08.08.2014	17:00	0,05	29,00	0,01	27,53
08.08.2014	18:00	0,03	29,16	0,03	27,86
08.08.2014	19:00	0,01	29,12	0,01	27,97
08.08.2014	20:00	0,00	28,76	0,00	27,73

Berechnungsergebnis **Block 1** Fassaden-Orientierung: **Süden**
 Neigung: **0 Grad** (vertikal)

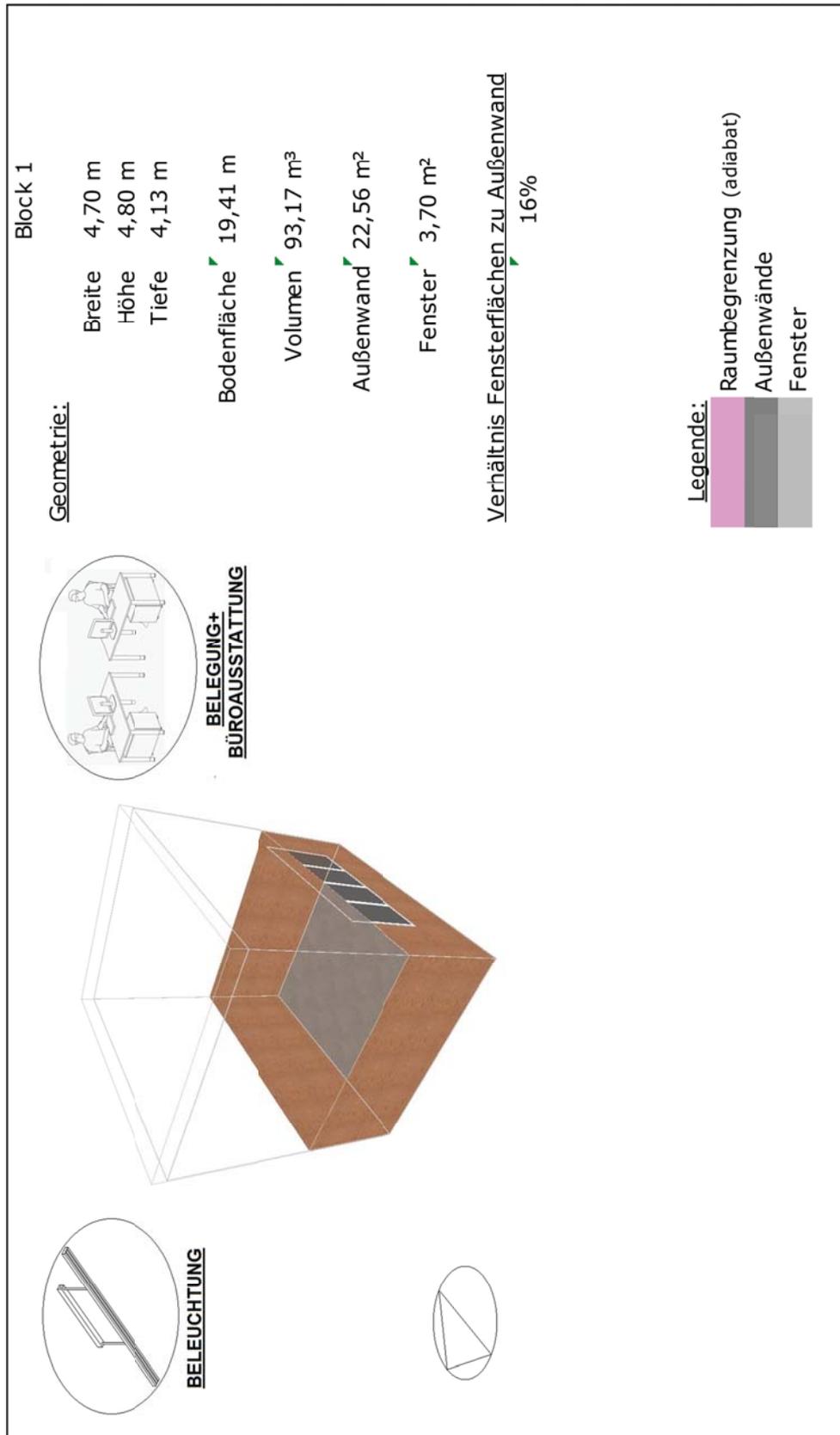
Sommerbemessung Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne Block 1 ohne Verschattung	Luft-temperatur Block 1 ohne Verschattung	Solare Gewinne Block 1 mit Verschattung	Luft-temperatur Block 1 mit Verschattung
		kW	°C	kW	°C
08.08.2014	21:00	0,00	28,22	0,00	27,28
08.08.2014	22:00	0,00	27,61	0,00	26,75
08.08.2014	23:00	0,00	26,98	0,00	26,19
09.08.2014	0:00	0,00	26,38	0,00	25,64
09.08.2014	1:00	0,00	25,81	0,00	25,12
09.08.2014	2:00	0,00	25,29	0,00	24,63
09.08.2014	3:00	0,00	24,80	0,00	24,18
09.08.2014	4:00	0,00	24,35	0,00	23,75
09.08.2014	5:00	0,00	23,93	0,00	23,37
09.08.2014	6:00	0,01	23,58	0,01	23,04
09.08.2014	7:00	0,03	23,40	0,03	22,88
09.08.2014	8:00	0,05	23,61	0,01	23,07
09.08.2014	9:00	0,08	24,39	0,01	23,78
09.08.2014	10:00	0,14	25,63	0,02	24,81
09.08.2014	11:00	0,20	26,93	0,02	25,80
09.08.2014	12:00	0,24	28,01	0,03	26,55
09.08.2014	13:00	0,24	28,72	0,03	26,98
09.08.2014	14:00	0,21	29,11	0,03	27,24
09.08.2014	15:00	0,15	29,40	0,02	27,56
09.08.2014	16:00	0,09	29,66	0,01	27,98
09.08.2014	17:00	0,05	29,92	0,01	28,40
09.08.2014	18:00	0,03	30,12	0,03	28,77
09.08.2014	19:00	0,01	30,05	0,01	28,86
09.08.2014	20:00	0,00	29,64	0,00	28,56
09.08.2014	21:00	0,00	29,04	0,00	28,06
09.08.2014	22:00	0,00	28,38	0,00	27,47
09.08.2014	23:00	0,00	27,71	0,00	26,87
10.08.2014	0:00	0,00	27,06	0,00	26,27
Min.		0,00	20,8	0,00	20,8
Max.		0,24	30,1	0,16	28,9
Summe:		8,99		3,13	

14.5 Einfluss „interne Wärmequellen“

3d Modell: Block 1	Fassaden-Orientierung: Süden		Neigung: 0 Grad		(vertikal)	
	Block 1	ohne PCM	Süden	interne Gewinne	Mittelwert	Summe

INTERNE WÄRMEQUELLEN



Berechnungsergebnis **Block 1**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **0 Grad (vertikal)****Sommerbemessung**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Lufttemperatur sol. Gew.	Interne Gewinne	Lufttemperatur Int. Gew.	Kombi sol. + int. Gew.	Lufttemperatur Kombi
		kW	°C	kW	°C	kW	°C
03.08.2014	1:00	0,00	22,22	0,00	22,22	0,00	22,22
03.08.2014	2:00	0,00	21,95	0,00	21,95	0,00	21,95
03.08.2014	3:00	0,00	21,71	0,00	21,71	0,00	21,71
03.08.2014	4:00	0,00	21,49	0,00	21,49	0,00	21,49
03.08.2014	5:00	0,00	21,23	0,00	21,23	0,00	21,23
03.08.2014	6:00	0,01	21,01	0,00	21,01	0,01	21,01
03.08.2014	7:00	0,02	20,90	0,00	20,90	0,02	20,90
03.08.2014	8:00	0,04	20,83	0,00	20,83	0,04	20,83
03.08.2014	9:00	0,06	20,85	0,00	20,85	0,06	20,85
03.08.2014	10:00	0,07	21,12	0,00	21,12	0,07	21,12
03.08.2014	11:00	0,09	21,58	0,00	21,58	0,09	21,58
03.08.2014	12:00	0,10	22,13	0,00	22,13	0,10	22,13
03.08.2014	13:00	0,10	22,70	0,00	22,70	0,10	22,70
03.08.2014	14:00	0,09	23,24	0,00	23,24	0,09	23,24
03.08.2014	15:00	0,08	23,71	0,00	23,71	0,08	23,71
03.08.2014	16:00	0,06	24,03	0,00	24,03	0,06	24,03
03.08.2014	17:00	0,04	24,17	0,00	24,17	0,04	24,17
03.08.2014	18:00	0,02	24,14	0,00	24,14	0,02	24,14
03.08.2014	19:00	0,01	23,96	0,00	23,96	0,01	23,96
03.08.2014	20:00	0,00	23,69	0,00	23,69	0,00	23,69
03.08.2014	21:00	0,00	23,38	0,00	23,38	0,00	23,38
03.08.2014	22:00	0,00	23,08	0,00	23,08	0,00	23,08
03.08.2014	23:00	0,00	22,76	0,00	22,76	0,00	22,76
04.08.2014	0:00	0,00	22,46	0,00	22,46	0,00	22,46
04.08.2014	1:00	0,00	22,18	0,00	22,18	0,00	22,18
04.08.2014	2:00	0,00	21,93	0,00	21,93	0,00	21,93
04.08.2014	3:00	0,00	21,71	0,00	21,71	0,00	21,71
04.08.2014	4:00	0,00	21,53	0,00	21,53	0,00	21,53
04.08.2014	5:00	0,00	21,39	0,00	21,39	0,00	21,39
04.08.2014	6:00	0,01	21,29	0,00	21,29	0,01	21,29
04.08.2014	7:00	0,02	21,26	0,00	21,26	0,02	21,26
04.08.2014	8:00	0,04	21,35	0,00	21,35	0,04	21,35
04.08.2014	9:00	0,07	21,64	0,00	21,64	0,07	21,64
04.08.2014	10:00	0,09	22,18	0,00	22,18	0,09	22,18
04.08.2014	11:00	0,12	22,90	0,00	22,90	0,12	22,90

Berechnungsergebnis **Block 1**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **0 Grad (vertikal)****Sommerbemessung**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Luft-temperatur sol. Gew.	Interne Gewinne	Luft-temperatur Int. Gew.	Kombi sol. + int. Gew.	Luft-temperatur Kombi
		kW	°C	kW	°C	kW	°C
04.08.2014	12:00	0,15	23,67	0,00	23,67	0,15	23,67
04.08.2014	13:00	0,16	24,37	0,00	24,37	0,16	24,37
04.08.2014	14:00	0,16	24,95	0,00	24,95	0,16	24,95
04.08.2014	15:00	0,14	25,47	0,00	25,47	0,14	25,47
04.08.2014	16:00	0,09	25,85	0,00	25,85	0,09	25,85
04.08.2014	17:00	0,05	26,13	0,00	26,13	0,05	26,13
04.08.2014	18:00	0,03	26,22	0,00	26,22	0,03	26,22
04.08.2014	19:00	0,01	26,01	0,00	26,01	0,01	26,01
04.08.2014	20:00	0,00	25,41	0,00	25,41	0,00	25,41
04.08.2014	21:00	0,00	24,77	0,00	24,77	0,00	24,77
04.08.2014	22:00	0,00	24,25	0,00	24,25	0,00	24,25
04.08.2014	23:00	0,00	23,80	0,00	23,80	0,00	23,80
05.08.2014	0:00	0,00	23,40	0,00	23,40	0,00	23,40
05.08.2014	1:00	0,00	23,01	0,00	23,01	0,00	23,01
05.08.2014	2:00	0,00	22,65	0,00	22,65	0,00	22,65
05.08.2014	3:00	0,00	22,31	0,00	22,31	0,00	22,31
05.08.2014	4:00	0,00	21,97	0,00	21,97	0,00	21,97
05.08.2014	5:00	0,00	21,63	0,00	21,63	0,00	21,63
05.08.2014	6:00	0,01	21,34	0,00	21,34	0,01	21,34
05.08.2014	7:00	0,03	21,20	0,00	21,20	0,03	21,20
05.08.2014	8:00	0,05	21,39	0,63	23,99	0,68	24,07
05.08.2014	9:00	0,09	22,05	0,62	25,65	0,70	25,89
05.08.2014	10:00	0,14	23,14	0,60	26,85	0,74	27,32
05.08.2014	11:00	0,16	24,30	0,59	28,04	0,75	28,76
05.08.2014	12:00	0,14	25,20	0,58	29,09	0,72	29,97
05.08.2014	13:00	0,11	25,71	0,57	29,88	0,68	30,81
05.08.2014	14:00	0,10	26,05	0,56	30,45	0,67	31,40
05.08.2014	15:00	0,10	26,34	0,56	30,90	0,66	31,88
05.08.2014	16:00	0,08	26,49	0,55	31,23	0,63	32,21
05.08.2014	17:00	0,05	26,52	0,55	31,48	0,60	32,38
05.08.2014	18:00	0,03	26,43	0,00	29,70	0,03	30,50
05.08.2014	19:00	0,01	26,22	0,00	28,42	0,01	29,11
05.08.2014	20:00	0,00	25,89	0,00	27,78	0,00	28,38
05.08.2014	21:00	0,00	25,50	0,00	27,16	0,00	27,69
05.08.2014	22:00	0,00	25,09	0,00	26,58	0,00	27,05

Berechnungsergebnis **Block 1**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **0 Grad (vertikal)****Sommerbemessung**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Lufttemperatur sol. Gew.	Interne Gewinne	Lufttemperatur Int. Gew.	Kombi sol. + int. Gew.	Lufttemperatur Kombi
		kW	°C	kW	°C	kW	°C
05.08.2014	23:00	0,00	24,69	0,00	26,02	0,00	26,45
06.08.2014	0:00	0,00	24,28	0,00	25,49	0,00	25,88
06.08.2014	1:00	0,00	23,88	0,00	24,98	0,00	25,34
06.08.2014	2:00	0,00	23,47	0,00	24,49	0,00	24,82
06.08.2014	3:00	0,00	23,06	0,00	24,01	0,00	24,32
06.08.2014	4:00	0,00	22,65	0,00	23,54	0,00	23,82
06.08.2014	5:00	0,00	22,24	0,00	23,07	0,00	23,34
06.08.2014	6:00	0,01	21,88	0,00	22,68	0,01	22,93
06.08.2014	7:00	0,03	21,70	0,00	22,46	0,03	22,70
06.08.2014	8:00	0,05	21,90	0,62	25,16	0,67	25,46
06.08.2014	9:00	0,09	22,63	0,60	26,83	0,69	27,26
06.08.2014	10:00	0,14	23,82	0,59	28,05	0,73	28,71
06.08.2014	11:00	0,20	25,12	0,58	29,22	0,78	30,22
06.08.2014	12:00	0,24	26,25	0,57	30,23	0,80	31,56
06.08.2014	13:00	0,24	27,02	0,56	30,98	0,80	32,58
06.08.2014	14:00	0,21	27,48	0,55	31,54	0,76	33,28
06.08.2014	15:00	0,15	27,85	0,54	32,07	0,69	33,81
06.08.2014	16:00	0,09	28,21	0,54	32,65	0,63	34,26
06.08.2014	17:00	0,05	28,56	0,53	33,22	0,58	34,65
06.08.2014	18:00	0,03	28,84	0,00	31,87	0,03	33,15
06.08.2014	19:00	0,01	28,84	0,00	31,06	0,01	32,19
06.08.2014	20:00	0,00	28,44	0,00	30,41	0,00	31,41
06.08.2014	21:00	0,00	27,83	0,00	29,61	0,00	30,51
06.08.2014	22:00	0,00	27,16	0,00	28,78	0,00	29,60
06.08.2014	23:00	0,00	26,49	0,00	27,98	0,00	28,72
07.08.2014	0:00	0,00	25,84	0,00	27,22	0,00	27,90
07.08.2014	1:00	0,00	25,24	0,00	26,52	0,00	27,16
07.08.2014	2:00	0,00	24,67	0,00	25,88	0,00	26,47
07.08.2014	3:00	0,00	24,14	0,00	25,28	0,00	25,84
07.08.2014	4:00	0,00	23,64	0,00	24,72	0,00	25,25
07.08.2014	5:00	0,00	23,17	0,00	24,21	0,00	24,71
07.08.2014	6:00	0,01	22,79	0,00	23,77	0,01	24,25
07.08.2014	7:00	0,03	22,59	0,00	23,54	0,03	24,00
07.08.2014	8:00	0,05	22,79	0,61	26,20	0,66	26,69
07.08.2014	9:00	0,08	23,53	0,59	27,84	0,67	28,44

Berechnungsergebnis **Block 1**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **0 Grad (vertikal)****Sommerbemessung**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Luft-temperatur sol. Gew.	Interne Gewinne	Luft-temperatur Int. Gew.	Kombi sol. + int. Gew.	Luft-temperatur Kombi
		kW	°C	kW	°C	kW	°C
07.08.2014	10:00	0,14	24,65	0,58	29,01	0,72	29,82
07.08.2014	11:00	0,20	25,81	0,57	30,06	0,76	31,19
07.08.2014	12:00	0,24	26,81	0,56	30,94	0,79	32,40
07.08.2014	13:00	0,24	27,52	0,55	31,62	0,79	33,35
07.08.2014	14:00	0,20	27,99	0,54	32,18	0,75	34,05
07.08.2014	15:00	0,15	28,40	0,53	32,75	0,68	34,60
07.08.2014	16:00	0,09	28,75	0,53	33,32	0,61	35,03
07.08.2014	17:00	0,05	29,05	0,52	33,85	0,57	35,36
07.08.2014	18:00	0,03	29,25	0,00	32,42	0,03	33,80
07.08.2014	19:00	0,01	29,20	0,00	31,55	0,01	32,78
07.08.2014	20:00	0,00	28,79	0,00	30,88	0,00	31,99
07.08.2014	21:00	0,00	28,19	0,00	30,09	0,00	31,09
07.08.2014	22:00	0,00	27,54	0,00	29,28	0,00	30,20
07.08.2014	23:00	0,00	26,91	0,00	28,51	0,00	29,36
08.08.2014	0:00	0,00	26,32	0,00	27,81	0,00	28,60
08.08.2014	1:00	0,00	25,76	0,00	27,16	0,00	27,90
08.08.2014	2:00	0,00	25,23	0,00	26,54	0,00	27,24
08.08.2014	3:00	0,00	24,71	0,00	25,96	0,00	26,61
08.08.2014	4:00	0,00	24,20	0,00	25,39	0,00	26,02
08.08.2014	5:00	0,00	23,72	0,00	24,85	0,00	25,45
08.08.2014	6:00	0,01	23,29	0,00	24,38	0,01	24,95
08.08.2014	7:00	0,03	23,04	0,00	24,08	0,03	24,63
08.08.2014	8:00	0,05	23,17	0,61	26,64	0,65	27,22
08.08.2014	9:00	0,08	23,80	0,59	28,20	0,67	28,88
08.08.2014	10:00	0,14	24,82	0,58	29,29	0,72	30,18
08.08.2014	11:00	0,20	25,91	0,57	30,27	0,76	31,46
08.08.2014	12:00	0,23	26,85	0,56	31,09	0,79	32,62
08.08.2014	13:00	0,24	27,54	0,55	31,74	0,78	33,52
08.08.2014	14:00	0,20	28,01	0,54	32,29	0,74	34,21
08.08.2014	15:00	0,15	28,41	0,53	32,85	0,68	34,75
08.08.2014	16:00	0,09	28,74	0,53	33,41	0,61	35,17
08.08.2014	17:00	0,05	29,00	0,52	33,90	0,57	35,47
08.08.2014	18:00	0,03	29,16	0,00	32,42	0,03	33,85
08.08.2014	19:00	0,01	29,12	0,00	31,55	0,01	32,83
08.08.2014	20:00	0,00	28,76	0,00	30,93	0,00	32,09

Berechnungsergebnis **Block 1**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **0 Grad (vertikal)****Sommerbemessung**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Lufttemperatur sol. Gew.	Interne Gewinne	Lufttemperatur Int. Gew.	Kombi sol. + int. Gew.	Lufttemperatur Kombi
		kW	°C	kW	°C	kW	°C
08.08.2014	21:00	0,00	28,22	0,00	30,19	0,00	31,25
08.08.2014	22:00	0,00	27,61	0,00	29,41	0,00	30,38
08.08.2014	23:00	0,00	26,98	0,00	28,65	0,00	29,55
09.08.2014	0:00	0,00	26,38	0,00	27,94	0,00	28,78
09.08.2014	1:00	0,00	25,81	0,00	27,28	0,00	28,07
09.08.2014	2:00	0,00	25,29	0,00	26,67	0,00	27,42
09.08.2014	3:00	0,00	24,80	0,00	26,11	0,00	26,83
09.08.2014	4:00	0,00	24,35	0,00	25,60	0,00	26,28
09.08.2014	5:00	0,00	23,93	0,00	25,13	0,00	25,78
09.08.2014	6:00	0,01	23,58	0,00	24,74	0,01	25,36
09.08.2014	7:00	0,03	23,40	0,00	24,51	0,03	25,11
09.08.2014	8:00	0,05	23,61	0,60	27,14	0,65	27,76
09.08.2014	9:00	0,08	24,39	0,58	28,80	0,67	29,53
09.08.2014	10:00	0,14	25,63	0,57	30,04	0,71	30,99
09.08.2014	11:00	0,20	26,93	0,55	31,19	0,76	32,46
09.08.2014	12:00	0,24	28,01	0,54	32,15	0,78	33,74
09.08.2014	13:00	0,24	28,72	0,53	32,83	0,77	34,67
09.08.2014	14:00	0,21	29,11	0,53	33,30	0,73	35,27
09.08.2014	15:00	0,15	29,40	0,52	33,75	0,67	35,70
09.08.2014	16:00	0,09	29,66	0,51	34,24	0,60	36,07
09.08.2014	17:00	0,05	29,92	0,51	34,72	0,56	36,38
09.08.2014	18:00	0,03	30,12	0,00	33,32	0,03	34,91
09.08.2014	19:00	0,01	30,05	0,00	32,46	0,01	33,83
09.08.2014	20:00	0,00	29,64	0,00	31,80	0,00	33,03
09.08.2014	21:00	0,00	29,04	0,00	31,01	0,00	32,13
09.08.2014	22:00	0,00	28,38	0,00	30,19	0,00	31,22
09.08.2014	23:00	0,00	27,71	0,00	29,39	0,00	30,34
10.08.2014	0:00	0,00	27,06	0,00	28,63	0,00	29,52
Min.		0,00	20,8	0,00	20,8	0,00	20,8
Max.		0,24	30,1	0,63	34,7	0,80	36,4
Summe:		8,99		28,09		37,07	

14.6 Einfluss der „Lüftung“

3d Modell: Block 1	Fassaden-Orientierung: Süden		Neigung: 0 Grad (vertikal)		Differenz	
	Block 1	ohne PCM	Min.	Max.		Summe
	Süden					
INFILTRATION, LÜFTUNG						

ZONENLÜFTUNG

INFILTRATION

FRISCHLUFT

Block 1

Geometrie:

- Breite 4,70 m
- Höhe 4,80 m
- Tiefe 4,13 m
- Bodenfläche 19,41 m²
- Volumen 93,17 m³
- Außenwand 22,56 m²
- Fenster 3,70 m²

Verhältnis Fensterflächen zu Außenwand 16%

Legende:

- Raumbegrenzung (adiabat)
- Außenwände
- Fenster

Berechnungsergebnis **Block 1**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **0 Grad (vertikal)****Infiltration, Lüftung**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Lufttemperatur sol. Gew.	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion	Lufttemperatur Kombi
		kW	°C	kW	kW	kW	°C
03.08.2014	1:00	0,00	21,91	0,00	0,00	0,00	21,91
03.08.2014	2:00	0,00	21,67	0,00	0,00	0,00	21,67
03.08.2014	3:00	0,00	21,44	0,00	0,00	0,00	21,44
03.08.2014	4:00	0,00	21,23	0,00	0,00	0,00	21,23
03.08.2014	5:00	0,00	20,98	0,00	0,00	0,00	20,98
03.08.2014	6:00	0,00	20,77	0,00	0,00	0,00	20,77
03.08.2014	7:00	0,01	20,64	0,00	0,00	0,01	20,64
03.08.2014	8:00	0,01	20,54	0,00	0,00	0,01	20,54
03.08.2014	9:00	0,02	20,50	0,00	0,00	0,02	20,50
03.08.2014	10:00	0,02	20,70	0,00	0,00	0,02	20,70
03.08.2014	11:00	0,03	21,07	0,00	0,00	0,03	21,07
03.08.2014	12:00	0,03	21,54	0,00	0,00	0,03	21,54
03.08.2014	13:00	0,03	22,06	0,00	0,00	0,03	22,06
03.08.2014	14:00	0,03	22,56	0,00	0,00	0,03	22,56
03.08.2014	15:00	0,02	23,02	0,00	0,00	0,02	23,02
03.08.2014	16:00	0,02	23,36	0,00	0,00	0,02	23,36
03.08.2014	17:00	0,01	23,54	0,00	0,00	0,01	23,54
03.08.2014	18:00	0,01	23,56	0,00	0,00	0,01	23,56
03.08.2014	19:00	0,00	23,43	0,00	0,00	0,00	23,43
03.08.2014	20:00	0,00	23,21	0,00	0,00	0,00	23,21
03.08.2014	21:00	0,00	22,96	0,00	0,00	0,00	22,96
03.08.2014	22:00	0,00	22,69	0,00	0,00	0,00	22,69
03.08.2014	23:00	0,00	22,41	0,00	0,00	0,00	22,41
04.08.2014	0:00	0,00	22,13	0,00	0,00	0,00	22,13
04.08.2014	1:00	0,00	21,87	0,00	0,00	0,00	21,87
04.08.2014	2:00	0,00	21,63	0,00	0,00	0,00	21,63
04.08.2014	3:00	0,00	21,43	0,00	0,00	0,00	21,43
04.08.2014	4:00	0,00	21,26	0,00	0,00	0,00	21,26
04.08.2014	5:00	0,00	21,13	0,00	0,00	0,00	21,13
04.08.2014	6:00	0,00	21,04	0,00	0,00	0,00	21,04
04.08.2014	7:00	0,01	20,99	0,00	0,00	0,01	20,99
04.08.2014	8:00	0,01	21,04	0,00	0,00	0,01	21,04
04.08.2014	9:00	0,02	21,26	0,00	0,00	0,02	21,26
04.08.2014	10:00	0,03	21,69	0,00	0,00	0,03	21,69
04.08.2014	11:00	0,04	22,29	0,00	0,00	0,04	22,29

Berechnungsergebnis **Block 1**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **0 Grad (vertikal)****Infiltration, Lüftung**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Lufttemperatur sol. Gew.	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion	Lufttemperatur Kombi
		kW	°C	kW	kW	kW	°C
04.08.2014	12:00	0,04	22,93	0,00	0,00	0,04	22,93
04.08.2014	13:00	0,05	23,50	0,00	0,00	0,05	23,50
04.08.2014	14:00	0,05	23,99	0,00	0,00	0,05	23,99
04.08.2014	15:00	0,04	24,46	0,00	0,00	0,04	24,46
04.08.2014	16:00	0,03	24,90	0,00	0,00	0,03	24,90
04.08.2014	17:00	0,02	25,26	0,00	0,00	0,02	25,26
04.08.2014	18:00	0,01	25,43	0,00	0,00	0,01	25,43
04.08.2014	19:00	0,00	25,31	0,00	0,00	0,00	25,31
04.08.2014	20:00	0,00	24,79	0,00	0,00	0,00	24,79
04.08.2014	21:00	0,00	24,21	0,00	0,00	0,00	24,21
04.08.2014	22:00	0,00	23,74	0,00	0,00	0,00	23,74
04.08.2014	23:00	0,00	23,34	0,00	0,00	0,00	23,34
05.08.2014	0:00	0,00	22,97	0,00	0,00	0,00	22,97
05.08.2014	1:00	0,00	22,61	0,00	0,00	0,00	22,61
05.08.2014	2:00	0,00	22,27	0,00	0,00	0,00	22,27
05.08.2014	3:00	0,00	21,95	0,00	0,00	0,00	21,95
05.08.2014	4:00	0,00	21,63	0,00	0,00	0,00	21,63
05.08.2014	5:00	0,00	21,30	0,00	0,00	0,00	21,30
05.08.2014	6:00	0,00	21,01	0,00	0,00	0,00	21,01
05.08.2014	7:00	0,01	20,86	0,00	0,00	0,01	20,86
05.08.2014	8:00	0,02	21,02	0,00	-0,07	-0,06	20,72
05.08.2014	9:00	0,03	21,63	0,00	0,00	0,03	21,51
05.08.2014	10:00	0,05	22,57	0,00	0,03	0,08	22,71
05.08.2014	11:00	0,05	23,55	0,00	0,03	0,08	23,81
05.08.2014	12:00	0,04	24,34	0,00	0,02	0,06	24,54
05.08.2014	13:00	0,03	24,83	0,00	0,01	0,04	24,99
05.08.2014	14:00	0,03	25,17	0,00	0,01	0,04	25,29
05.08.2014	15:00	0,03	25,43	0,00	0,01	0,04	25,54
05.08.2014	16:00	0,02	25,60	0,00	0,01	0,03	25,72
05.08.2014	17:00	0,02	25,68	0,00	0,00	0,02	25,76
05.08.2014	18:00	0,01	25,65	0,00	0,00	0,01	25,70
05.08.2014	19:00	0,00	25,52	0,00	0,00	0,00	25,56
05.08.2014	20:00	0,00	25,27	0,00	0,00	0,00	25,30
05.08.2014	21:00	0,00	24,94	0,00	0,00	0,00	24,97
05.08.2014	22:00	0,00	24,58	0,00	0,00	0,00	24,61

Berechnungsergebnis **Block 1**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **0 Grad (vertikal)****Infiltration, Lüftung**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Lufttemperatur sol. Gew.	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion	Lufttemperatur Kombi
		kW	°C	kW	kW	kW	°C
05.08.2014	23:00	0,00	24,22	0,00	0,00	0,00	24,24
06.08.2014	0:00	0,00	23,84	0,00	0,00	0,00	23,87
06.08.2014	1:00	0,00	23,46	0,00	0,00	0,00	23,49
06.08.2014	2:00	0,00	23,08	0,00	0,00	0,00	23,10
06.08.2014	3:00	0,00	22,69	0,00	0,00	0,00	22,71
06.08.2014	4:00	0,00	22,29	0,00	0,00	0,00	22,31
06.08.2014	5:00	0,00	21,90	0,00	0,00	0,00	21,91
06.08.2014	6:00	0,00	21,55	0,00	0,00	0,00	21,56
06.08.2014	7:00	0,01	21,35	0,00	0,00	0,01	21,36
06.08.2014	8:00	0,02	21,52	0,00	-0,08	-0,07	21,21
06.08.2014	9:00	0,04	22,21	0,00	-0,02	0,02	22,05
06.08.2014	10:00	0,05	23,26	0,00	0,02	0,07	23,30
06.08.2014	11:00	0,07	24,32	0,00	0,02	0,09	24,47
06.08.2014	12:00	0,07	25,18	0,00	0,02	0,09	25,32
06.08.2014	13:00	0,07	25,74	0,00	0,01	0,09	25,89
06.08.2014	14:00	0,07	26,11	0,00	0,02	0,08	26,26
06.08.2014	15:00	0,05	26,52	0,00	0,01	0,07	26,66
06.08.2014	16:00	0,04	27,01	0,00	0,01	0,04	27,13
06.08.2014	17:00	0,02	27,50	0,00	-0,01	0,01	27,53
06.08.2014	18:00	0,01	27,87	0,00	0,00	0,01	27,89
06.08.2014	19:00	0,00	27,98	0,00	0,00	0,00	28,01
06.08.2014	20:00	0,00	27,72	0,00	0,00	0,00	27,75
06.08.2014	21:00	0,00	27,20	0,00	0,00	0,00	27,23
06.08.2014	22:00	0,00	26,58	0,00	0,00	0,00	26,61
06.08.2014	23:00	0,00	25,95	0,00	0,00	0,00	25,98
07.08.2014	0:00	0,00	25,34	0,00	0,00	0,00	25,36
07.08.2014	1:00	0,00	24,76	0,00	0,00	0,00	24,78
07.08.2014	2:00	0,00	24,21	0,00	0,00	0,00	24,23
07.08.2014	3:00	0,00	23,70	0,00	0,00	0,00	23,72
07.08.2014	4:00	0,00	23,22	0,00	0,00	0,00	23,24
07.08.2014	5:00	0,00	22,77	0,00	0,00	0,00	22,79
07.08.2014	6:00	0,00	22,38	0,00	0,00	0,00	22,40
07.08.2014	7:00	0,01	22,17	0,00	0,00	0,01	22,18
07.08.2014	8:00	0,02	22,35	0,00	-0,10	-0,08	21,98
07.08.2014	9:00	0,04	23,07	0,00	-0,04	0,00	22,79

Berechnungsergebnis **Block 1**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **0 Grad (vertikal)****Infiltration, Lüftung**Typ: **ohne PCM**

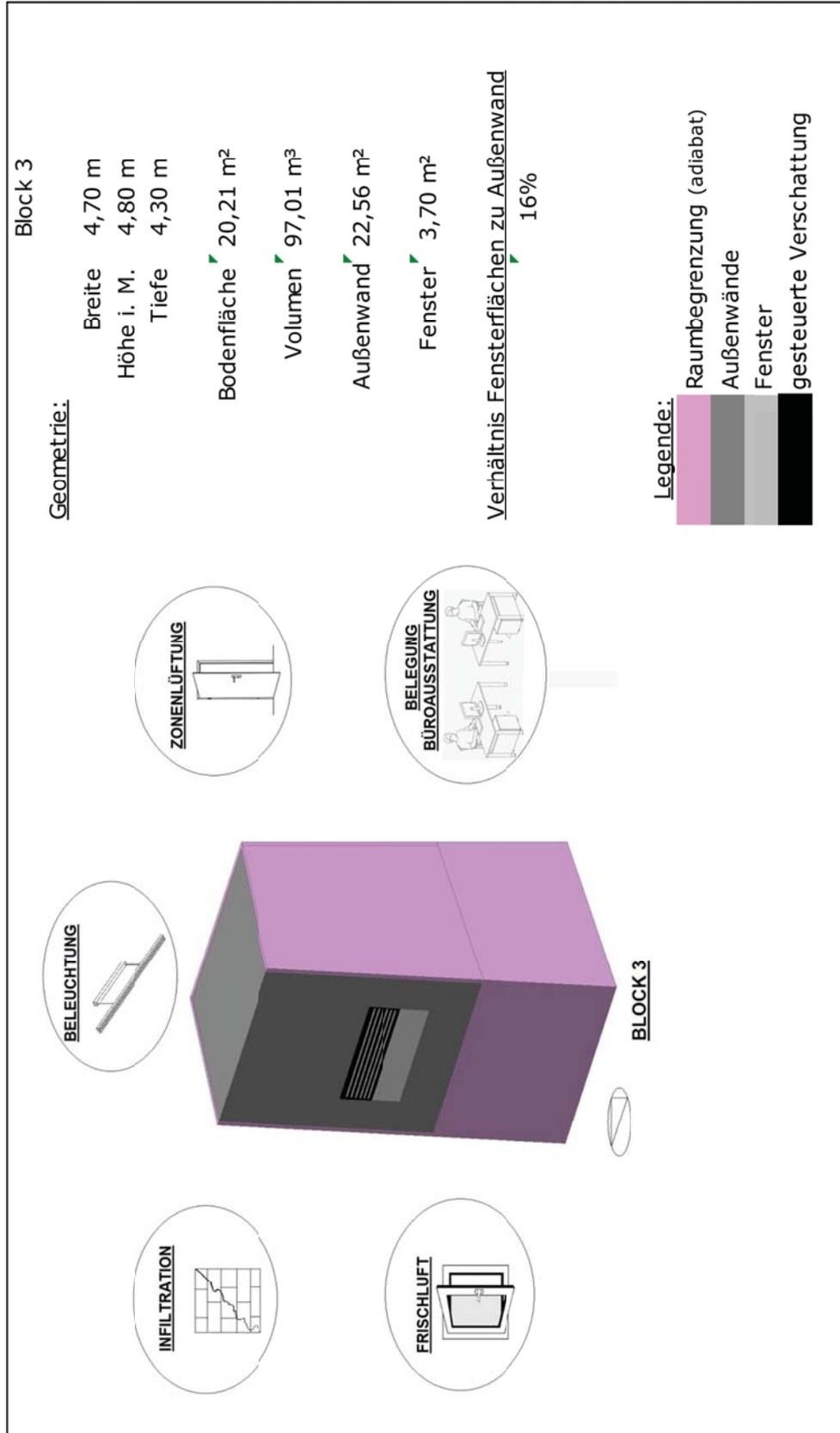
Datum	Zeit	Solare Gewinne	Lufttemperatur sol. Gew.	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion	Lufttemperatur Kombi
		kW	°C	kW	kW	kW	°C
07.08.2014	10:00	0,05	24,06	0,00	0,00	0,05	23,95
07.08.2014	11:00	0,07	24,99	0,00	0,01	0,08	25,00
07.08.2014	12:00	0,07	25,71	0,00	0,01	0,08	25,75
07.08.2014	13:00	0,07	26,20	0,00	0,02	0,09	26,31
07.08.2014	14:00	0,07	26,58	0,00	0,02	0,09	26,73
07.08.2014	15:00	0,05	27,03	0,00	0,01	0,07	27,17
07.08.2014	16:00	0,04	27,53	0,00	0,01	0,05	27,65
07.08.2014	17:00	0,02	27,96	0,00	-0,01	0,01	27,99
07.08.2014	18:00	0,01	28,25	0,00	0,00	0,01	28,26
07.08.2014	19:00	0,00	28,31	0,00	0,00	0,00	28,33
07.08.2014	20:00	0,00	28,03	0,00	0,00	0,00	28,05
07.08.2014	21:00	0,00	27,52	0,00	0,00	0,00	27,54
07.08.2014	22:00	0,00	26,92	0,00	0,00	0,00	26,94
07.08.2014	23:00	0,00	26,34	0,00	0,00	0,00	26,35
08.08.2014	0:00	0,00	25,78	0,00	0,00	0,00	25,80
08.08.2014	1:00	0,00	25,25	0,00	0,00	0,00	25,27
08.08.2014	2:00	0,00	24,74	0,00	0,00	0,00	24,75
08.08.2014	3:00	0,00	24,24	0,00	0,00	0,00	24,25
08.08.2014	4:00	0,00	23,76	0,00	0,00	0,00	23,77
08.08.2014	5:00	0,00	23,29	0,00	0,00	0,00	23,30
08.08.2014	6:00	0,00	22,86	0,00	0,00	0,00	22,87
08.08.2014	7:00	0,01	22,59	0,00	0,00	0,01	22,60
08.08.2014	8:00	0,02	22,70	0,00	-0,16	-0,15	22,14
08.08.2014	9:00	0,04	23,32	0,00	-0,08	-0,04	22,84
08.08.2014	10:00	0,05	24,21	0,00	-0,02	0,04	23,95
08.08.2014	11:00	0,07	25,05	0,00	0,01	0,07	24,98
08.08.2014	12:00	0,07	25,71	0,00	0,02	0,09	25,74
08.08.2014	13:00	0,07	26,19	0,00	0,03	0,10	26,34
08.08.2014	14:00	0,07	26,56	0,00	0,03	0,10	26,83
08.08.2014	15:00	0,05	27,01	0,00	0,03	0,08	27,27
08.08.2014	16:00	0,04	27,48	0,00	0,02	0,06	27,73
08.08.2014	17:00	0,02	27,87	0,00	0,01	0,03	28,06
08.08.2014	18:00	0,01	28,13	0,00	0,00	0,01	28,20
08.08.2014	19:00	0,00	28,19	0,00	0,00	0,00	28,25
08.08.2014	20:00	0,00	27,97	0,00	0,00	0,00	28,02

Berechnungsergebnis **Block 1**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **0 Grad (vertikal)****Infiltration, Lüftung**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Lufttemperatur sol. Gew.	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion	Lufttemperatur Kombi
		kW	°C	kW	kW	kW	°C
08.08.2014	21:00	0,00	27,52	0,00	0,00	0,00	27,56
08.08.2014	22:00	0,00	26,96	0,00	0,00	0,00	27,00
08.08.2014	23:00	0,00	26,38	0,00	0,00	0,00	26,41
09.08.2014	0:00	0,00	25,81	0,00	0,00	0,00	25,84
09.08.2014	1:00	0,00	25,27	0,00	0,00	0,00	25,29
09.08.2014	2:00	0,00	24,77	0,00	0,00	0,00	24,79
09.08.2014	3:00	0,00	24,31	0,00	0,00	0,00	24,32
09.08.2014	4:00	0,00	23,87	0,00	0,00	0,00	23,89
09.08.2014	5:00	0,00	23,48	0,00	0,00	0,00	23,49
09.08.2014	6:00	0,00	23,13	0,00	0,00	0,00	23,15
09.08.2014	7:00	0,01	22,94	0,00	0,00	0,01	22,95
09.08.2014	8:00	0,02	23,12	0,00	-0,08	-0,06	22,82
09.08.2014	9:00	0,04	23,88	0,00	-0,01	0,02	23,73
09.08.2014	10:00	0,05	24,97	0,00	0,02	0,07	25,04
09.08.2014	11:00	0,07	26,03	0,00	0,03	0,09	26,22
09.08.2014	12:00	0,07	26,85	0,00	0,02	0,09	27,02
09.08.2014	13:00	0,07	27,34	0,00	0,02	0,09	27,54
09.08.2014	14:00	0,07	27,63	0,00	0,02	0,09	27,84
09.08.2014	15:00	0,05	27,97	0,00	0,01	0,07	28,14
09.08.2014	16:00	0,04	28,37	0,00	0,01	0,04	28,50
09.08.2014	17:00	0,02	28,77	0,00	-0,01	0,00	28,80
09.08.2014	18:00	0,01	29,06	0,00	0,00	0,01	29,09
09.08.2014	19:00	0,00	29,11	0,00	0,00	0,00	29,15
09.08.2014	20:00	0,00	28,82	0,00	0,00	0,00	28,86
09.08.2014	21:00	0,00	28,30	0,00	0,00	0,00	28,34
09.08.2014	22:00	0,00	27,70	0,00	0,00	0,00	27,73
09.08.2014	23:00	0,00	27,08	0,00	0,00	0,00	27,11
10.08.2014	0:00	0,00	26,46	0,00	0,00	0,00	26,49
Min.		0,00	20,5	0,00	-0,16	-0,15	20,5
Max.		0,07	29,1	0,00	0,03	0,10	29,1
Summe:		2,98		0,00	-0,13	2,84	

14.7 Simulation – „Gesamter-Sommer“ ohne PCM, ohne NL

3d Modell: Block 3	Fassaden-Orientierung: Süden		Neigung: -4,2 Grad (nach innen geneigt)					
	Block 3	ohne PCM	Süden	Min.	Max.	Mittelwert	Summe	Differenz
	MUSTERRAUM - GANZJAHRESSIMULATION							



Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
01.04.2014		22,90	4,11	-0,37	26,65		
02.04.2014		22,70	4,11	-0,35	26,45		
03.04.2014		22,59	4,19	-0,12	26,66		
04.04.2014		23,26	3,96	0,61	27,83		
05.04.2014		23,11	3,98	-0,36	26,73		
06.04.2014		21,55	0,20	0,00	21,75		
07.04.2014		20,41	0,47	0,00	20,87		
08.04.2014		21,30	4,34	-0,19	25,44		
09.04.2014		21,69	4,28	-0,28	25,69		
10.04.2014		22,06	4,44	-0,27	26,23		
11.04.2014		22,14	4,44	-0,49	26,09		
12.04.2014		22,36	4,19	0,04	26,59		
13.04.2014		20,96	0,28	0,00	21,24		
14.04.2014		20,14	0,55	0,00	20,69		
15.04.2014		21,44	4,13	0,59	26,16		
16.04.2014		21,47	4,14	-0,30	25,31		
17.04.2014		21,38	4,17	-0,28	25,27		
18.04.2014		21,52	4,51	-0,26	25,77		
19.04.2014		22,08	4,12	0,54	26,74		
20.04.2014		20,88	0,47	0,00	21,35		
21.04.2014		20,13	0,53	0,00	20,66		
22.04.2014		21,87	4,21	1,26	27,34		
23.04.2014		22,50	4,03	0,37	26,90		
24.04.2014		23,10	4,21	0,53	27,84		
25.04.2014		24,41	4,17	1,23	29,80		
26.04.2014		25,67	3,98	1,27	30,93		
27.04.2014		24,42	0,36	0,00	24,78		
28.04.2014		23,59	0,29	0,00	23,88		
29.04.2014		24,10	3,89	-0,33	27,66		
30.04.2014		23,36	4,01	-0,99	26,38		
01.05.2014		24,42	4,05	0,99	29,46		
02.05.2014		24,76	4,08	0,07	28,91		
03.05.2014		24,83	3,95	0,01	28,79		
04.05.2014		23,42	0,42	0,00	23,84		
05.05.2014		22,46	0,32	0,00	22,79		

Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
06.05.2014		23,62	4,25	0,24	28,11		
07.05.2014		24,21	3,99	-0,03	28,17		
08.05.2014		24,34	3,89	-0,22	28,01		
09.05.2014		24,22	3,92	-0,33	27,80		
10.05.2014		24,67	4,16	0,21	29,03		
11.05.2014		23,65	0,31	0,00	23,96		
12.05.2014		23,03	0,38	0,00	23,41		
13.05.2014		24,98	3,97	1,36	30,31		
14.05.2014		26,30	3,75	1,41	31,46		
15.05.2014		27,67	3,68	1,72	33,07		
16.05.2014		28,44	3,50	1,18	33,11		
17.05.2014		29,00	3,70	0,87	33,57		
18.05.2014		27,82	0,58	0,00	28,40		
19.05.2014		27,13	0,46	0,00	27,58		
20.05.2014		27,90	3,83	0,21	31,94		
21.05.2014		28,71	3,45	0,88	33,04		
22.05.2014		29,17	3,40	0,71	33,28		
23.05.2014		28,91	3,44	-0,09	32,27		
24.05.2014		28,34	3,53	-0,47	31,39		
25.05.2014		26,71	0,33	0,00	27,04		
26.05.2014		25,47	0,29	0,00	25,76		
27.05.2014		25,27	3,87	-0,91	28,23		
28.05.2014		25,67	3,85	-0,06	29,46		
29.05.2014		26,17	3,92	0,15	30,24		
30.05.2014		26,57	4,00	-0,13	30,44		
31.05.2014		27,75	3,78	0,89	32,42		
01.06.2014		26,67	0,32	0,00	26,99		
02.06.2014		25,79	0,46	0,00	26,26		
03.06.2014		26,84	3,72	0,33	30,88		
04.06.2014		27,43	3,62	0,44	31,49		
05.06.2014		27,54	3,71	0,05	31,30		
06.06.2014		28,23	3,68	0,82	32,73		
07.06.2014		29,27	3,54	1,27	34,08		
08.06.2014		28,40	0,35	0,00	28,75		
09.06.2014		27,45	0,30	0,00	27,75		

Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
10.06.2014		28,28	3,75	0,61	32,63		
11.06.2014		29,16	3,65	0,70	33,51		
12.06.2014		29,67	3,47	0,51	33,64		
13.06.2014		30,43	3,48	0,98	34,89		
14.06.2014		31,33	3,37	1,17	35,87		
15.06.2014		30,24	0,37	0,00	30,60		
16.06.2014		29,18	0,35	0,00	29,53		
17.06.2014		28,66	3,61	-0,71	31,56		
18.06.2014		28,27	3,64	-0,53	31,38		
19.06.2014		27,92	3,67	-0,56	31,02		
20.06.2014		27,81	3,60	-0,35	31,05		
21.06.2014		27,77	3,60	-0,20	31,17		
22.06.2014		26,56	0,28	0,00	26,85		
23.06.2014		25,75	0,44	0,00	26,19		
24.06.2014		27,08	3,71	0,52	31,30		
25.06.2014		27,95	3,68	0,55	32,17		
26.06.2014		28,82	3,63	0,84	33,29		
27.06.2014		29,09	3,43	0,32	32,85		
28.06.2014		29,73	3,47	0,94	34,15		
29.06.2014		28,80	0,52	0,00	29,32		
30.06.2014		28,57	0,57	0,00	29,14		
01.07.2014		29,58	3,54	0,15	33,27		
02.07.2014		30,13	3,50	0,39	34,01		
03.07.2014		30,98	3,31	1,04	35,33		
04.07.2014		31,36	3,27	0,44	35,06		
05.07.2014		31,52	3,39	0,34	35,25		
06.07.2014		30,50	0,42	0,00	30,92		
07.07.2014		29,80	0,48	0,00	30,28		
08.07.2014		30,58	3,49	0,30	34,37		
09.07.2014		31,10	3,46	0,27	34,83		
10.07.2014		31,58	3,41	0,37	35,37		
11.07.2014		31,98	3,17	0,66	35,82		
12.07.2014		31,83	3,13	0,08	35,05		
13.07.2014		30,66	0,46	0,00	31,12		
14.07.2014		29,97	0,49	0,00	30,47		

Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
15.07.2014		31,31	3,35	0,94	35,61		
16.07.2014		32,21	3,16	0,80	36,17		
17.07.2014		32,35	3,04	0,41	35,80		
18.07.2014		31,73	3,14	-0,39	34,47		
19.07.2014		31,72	3,26	0,21	35,19		
20.07.2014		31,03	0,56	0,00	31,59		
21.07.2014		30,67	0,50	0,00	31,17		
22.07.2014		31,73	3,26	0,67	35,67		
23.07.2014		31,96	3,08	0,34	35,37		
24.07.2014		31,90	3,21	0,10	35,20		
25.07.2014		31,85	3,24	-0,29	34,81		
26.07.2014		31,47	3,16	-0,27	34,36		
27.07.2014		30,28	0,40	0,00	30,68		
28.07.2014		29,38	0,44	0,00	29,82		
29.07.2014		30,44	3,42	0,66	34,53		
30.07.2014		30,89	3,29	0,27	34,45		
31.07.2014		31,03	3,18	0,30	34,51		
01.08.2014		30,98	3,23	0,10	34,30		
02.08.2014		30,98	3,21	0,20	34,40		
03.08.2014		29,88	0,29	0,00	30,17		
04.08.2014		29,28	0,41	0,00	29,69		
05.08.2014		30,65	3,32	1,00	34,97		
06.08.2014		31,53	3,43	0,66	35,62		
07.08.2014		32,29	3,35	0,50	36,15		
08.08.2014		32,86	3,28	0,44	36,58		
09.08.2014		33,46	3,18	0,63	37,27		
10.08.2014		32,43	0,41	0,00	32,85		
11.08.2014		31,78	0,59	0,00	32,38		
12.08.2014		32,70	3,02	0,71	36,42		
13.08.2014		32,71	3,05	0,14	35,90		
14.08.2014		32,63	3,18	-0,09	35,72		
15.08.2014		32,41	3,26	-0,39	35,28		
16.08.2014		32,38	3,37	-0,31	35,44		
17.08.2014		31,51	0,43	0,00	31,94		
18.08.2014		30,64	0,35	0,00	30,99		

Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
19.08.2014		30,81	3,54	-0,40	33,96		
20.08.2014		30,82	3,35	-0,31	33,86		
21.08.2014		30,73	3,25	-0,24	33,74		
22.08.2014		30,54	3,25	-0,30	33,49		
23.08.2014		30,84	3,21	0,23	34,28		
24.08.2014		30,04	0,58	0,00	30,63		
25.08.2014		29,59	0,42	0,00	30,01		
26.08.2014		30,42	3,57	0,09	34,07		
27.08.2014		30,68	3,45	-0,29	33,85		
28.08.2014		30,42	3,43	-0,36	33,49		
29.08.2014		29,96	3,35	-0,72	32,59		
30.08.2014		29,78	3,69	-0,56	32,91		
31.08.2014		28,92	0,56	0,00	29,48		
01.09.2014		28,16	0,63	0,00	28,78		
02.09.2014		28,73	3,62	-0,02	32,33		
03.09.2014		28,17	3,53	-1,04	30,66		
04.09.2014		27,81	3,56	-0,56	30,80		
05.09.2014		27,89	3,64	-0,04	31,50		
06.09.2014		27,79	3,59	-0,18	31,20		
07.09.2014		26,66	0,53	0,00	27,19		
08.09.2014		26,07	0,60	0,00	26,67		
09.09.2014		26,53	3,67	-0,18	30,03		
10.09.2014		26,76	3,67	-0,07	30,36		
11.09.2014		27,33	3,99	0,02	31,34		
12.09.2014		27,63	3,54	-0,08	31,09		
13.09.2014		27,69	3,52	-0,06	31,16		
14.09.2014		26,23	0,20	0,00	26,43		
15.09.2014		25,00	0,23	0,00	25,22		
16.09.2014		26,41	3,83	0,90	31,14		
17.09.2014		27,38	4,00	0,38	31,76		
18.09.2014		28,37	3,83	0,50	32,70		
19.09.2014		28,98	3,85	-0,05	32,79		
20.09.2014		29,65	3,66	0,29	33,60		
21.09.2014		28,68	0,61	0,00	29,29		
22.09.2014		28,01	0,68	0,00	28,69		

Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **ohne PCM**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
23.09.2014		28,55	3,84	-0,22	32,17		
24.09.2014		28,99	3,68	-0,15	32,52		
25.09.2014		29,11	3,56	-0,14	32,53		
26.09.2014		29,07	3,59	-0,27	32,39		
27.09.2014		28,49	3,44	-0,80	31,13		
28.09.2014		26,85	0,17	0,00	27,02		
29.09.2014		25,52	0,29	0,00	25,80		
30.09.2014		25,59	4,25	-0,97	28,86		
Min.		20,13	0,17	-1,04	20,66		
Max.		33,46	4,51	1,72	37,27		
Summe:		5079,69	499,73	23,96	5603,38		

14.8 Simulation – „Gesamter-Sommer“ ohne PCM, mit NL

3d Modell: Block 3	Fassaden-Orientierung: Süden		Neigung: -4,2 Grad (nach innen geneigt)					
	Block 3	ohne PCM	Süden	Min.	Max.	Mittelwert	Summe	Differenz
MUSTERRAUM - GESAMTER SOMMER MIT NACHTLÜFTUNG								

Block 3

Geometrie:

Breite 4,70 m
 Höhe i. M. 4,80 m
 Tiefe 4,30 m

Bodenfläche 20,21 m²
 Volumen 97,01 m³
 Außenwand 22,56 m²
 Fenster 3,70 m²

Verhältnis Fensterflächen zu Außenwand 16%

Legende:

- Raumbegrenzung (adiabat)
- Außenwände
- Fenster
- gesteuerte Verschattung

BLOCK 3 - MIT NACHTLÜFTUNG

Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **ohne PCM - mit Nachlüftung**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
01.04.2014		22,90	4,11	-0,37	26,65		
02.04.2014		22,70	4,11	-0,35	26,45		
03.04.2014		22,59	4,19	-0,12	26,66		
04.04.2014		23,26	3,96	0,61	27,83		
05.04.2014		23,11	3,98	-0,36	26,73		
06.04.2014		21,55	0,20	0,00	21,75		
07.04.2014		20,41	0,47	0,00	20,87		
08.04.2014		21,30	4,34	-0,19	25,44		
09.04.2014		21,69	4,28	-0,28	25,69		
10.04.2014		22,06	4,44	-0,27	26,23		
11.04.2014		22,14	4,44	-0,49	26,09		
12.04.2014		22,36	4,19	0,04	26,59		
13.04.2014		20,96	0,28	0,00	21,24		
14.04.2014		20,14	0,55	0,00	20,69		
15.04.2014		21,44	4,13	0,59	26,16		
16.04.2014		21,47	4,14	-0,30	25,31		
17.04.2014		21,38	4,17	-0,28	25,27		
18.04.2014		21,52	4,51	-0,26	25,77		
19.04.2014		22,08	4,12	0,54	26,74		
20.04.2014		20,88	0,47	0,00	21,35		
21.04.2014		20,13	0,53	0,00	20,66		
22.04.2014		21,87	4,21	1,26	27,34		
23.04.2014		22,50	4,03	0,37	26,90		
24.04.2014		23,10	4,21	0,53	27,84		
25.04.2014		24,41	4,17	1,23	29,80		
26.04.2014		25,67	3,98	1,27	30,93		
27.04.2014		24,42	0,36	0,00	24,78		
28.04.2014		23,59	0,29	0,00	23,88		
29.04.2014		24,10	3,89	-0,33	27,66		
30.04.2014		23,36	4,01	-0,99	26,38		
01.05.2014		24,42	4,05	0,99	29,46		
02.05.2014		24,76	4,08	0,07	28,91		
03.05.2014		24,83	3,95	0,01	28,79		
04.05.2014		23,42	0,42	0,00	23,84		
05.05.2014		22,46	0,32	0,00	22,79		

Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **ohne PCM - mit Nachlüftung**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
06.05.2014		23,62	4,25	0,24	28,11		
07.05.2014		24,21	3,99	-0,03	28,17		
08.05.2014		24,34	3,89	-0,22	28,01		
09.05.2014		24,22	3,92	-0,33	27,80		
10.05.2014		24,67	4,16	0,21	29,03		
11.05.2014		23,65	0,31	0,00	23,96		
12.05.2014		23,03	0,38	0,00	23,41		
13.05.2014		24,98	3,97	1,36	30,31		
14.05.2014		26,30	3,75	1,41	31,46		
15.05.2014		27,67	3,68	1,72	33,07		
16.05.2014		28,44	3,50	1,18	33,11		
17.05.2014		29,00	3,70	0,87	33,57		
18.05.2014		27,82	0,58	0,00	28,40		
19.05.2014		27,13	0,46	0,00	27,58		
20.05.2014		27,90	3,83	0,21	31,94		
21.05.2014		28,71	3,45	0,88	33,04		
22.05.2014		29,17	3,40	0,71	33,28		
23.05.2014		28,91	3,44	-0,09	32,27		
24.05.2014		28,34	3,53	-0,47	31,39		
25.05.2014		26,71	0,33	0,00	27,04		
26.05.2014		25,47	0,29	0,00	25,76		
27.05.2014		25,27	3,87	-0,91	28,23		
28.05.2014		25,67	3,85	-0,06	29,46		
29.05.2014		26,17	3,92	0,15	30,24		
30.05.2014		26,57	4,00	-0,13	30,44		
31.05.2014		27,75	3,78	0,89	32,42		
01.06.2014		26,67	0,32	0,00	26,99		
02.06.2014		25,79	0,46	0,00	26,26		
03.06.2014		26,84	3,72	0,33	30,88		
04.06.2014		27,43	3,62	0,44	31,49		
05.06.2014		27,54	3,71	0,05	31,30		
06.06.2014		28,23	3,68	0,82	32,73		
07.06.2014		29,27	3,54	1,27	34,08		
08.06.2014		28,40	0,35	0,00	28,75		
09.06.2014		27,45	0,30	0,00	27,75		

Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **ohne PCM - mit Nachtlüftung**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
10.06.2014		28,28	3,75	0,61	32,63		
11.06.2014		29,16	3,65	0,70	33,51		
12.06.2014		29,67	3,47	0,51	33,64		
13.06.2014		30,43	3,48	0,98	34,89		
14.06.2014		31,33	3,37	1,17	35,87		
15.06.2014		30,24	0,37	0,00	30,60		
16.06.2014		29,18	0,35	0,00	29,53		
17.06.2014		28,66	3,61	-0,71	31,56		
18.06.2014		28,27	3,64	-0,53	31,38		
19.06.2014		27,92	3,67	-0,56	31,02		
20.06.2014		27,81	3,60	-0,35	31,05		
21.06.2014		27,77	3,60	-0,20	31,17		
22.06.2014		26,56	0,28	0,00	26,85		
23.06.2014		25,75	0,44	0,00	26,19		
24.06.2014		27,08	3,71	0,52	31,30		
25.06.2014		27,95	3,68	0,55	32,17		
26.06.2014		28,82	3,63	0,84	33,29		
27.06.2014		29,09	3,43	0,32	32,85		
28.06.2014		29,73	3,47	0,94	34,15		
29.06.2014		28,80	0,52	0,00	29,32		
30.06.2014		28,57	0,57	0,00	29,14		
01.07.2014		29,58	3,54	0,15	33,27		
02.07.2014		30,13	3,50	0,39	34,01		
03.07.2014		30,98	3,31	1,04	35,33		
04.07.2014		31,36	3,27	0,44	35,06		
05.07.2014		31,52	3,39	0,34	35,25		
06.07.2014		30,50	0,42	0,00	30,92		
07.07.2014		29,80	0,48	0,00	30,28		
08.07.2014		30,58	3,49	0,30	34,37		
09.07.2014		31,10	3,46	0,27	34,83		
10.07.2014		31,58	3,41	0,37	35,37		
11.07.2014		31,98	3,17	0,66	35,82		
12.07.2014		31,83	3,13	0,08	35,05		
13.07.2014		30,66	0,46	0,00	31,12		
14.07.2014		29,97	0,49	0,00	30,47		

Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **ohne PCM - mit Nachlüftung**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
15.07.2014		31,31	3,35	0,94	35,61		
16.07.2014		32,21	3,16	0,80	36,17		
17.07.2014		32,35	3,04	0,41	35,80		
18.07.2014		31,73	3,14	-0,39	34,47		
19.07.2014		31,72	3,26	0,21	35,19		
20.07.2014		31,03	0,56	0,00	31,59		
21.07.2014		30,67	0,50	0,00	31,17		
22.07.2014		31,73	3,26	0,67	35,67		
23.07.2014		31,96	3,08	0,34	35,37		
24.07.2014		31,90	3,21	0,10	35,20		
25.07.2014		31,85	3,24	-0,29	34,81		
26.07.2014		31,47	3,16	-0,27	34,36		
27.07.2014		30,28	0,40	0,00	30,68		
28.07.2014		29,38	0,44	0,00	29,82		
29.07.2014		30,44	3,42	0,66	34,53		
30.07.2014		30,89	3,29	0,27	34,45		
31.07.2014		31,03	3,18	0,30	34,51		
01.08.2014		30,98	3,23	0,10	34,30		
02.08.2014		30,98	3,21	0,20	34,40		
03.08.2014		29,88	0,29	0,00	30,17		
04.08.2014		29,28	0,41	0,00	29,69		
05.08.2014		30,65	3,32	1,00	34,97		
06.08.2014		31,53	3,43	0,66	35,62		
07.08.2014		32,29	3,35	0,50	36,15		
08.08.2014		32,86	3,28	0,44	36,58		
09.08.2014		33,46	3,18	0,63	37,27		
10.08.2014		32,43	0,41	0,00	32,85		
11.08.2014		31,78	0,59	0,00	32,38		
12.08.2014		32,70	3,02	0,71	36,42		
13.08.2014		32,71	3,05	0,14	35,90		
14.08.2014		32,63	3,18	-0,09	35,72		
15.08.2014		32,41	3,26	-0,39	35,28		
16.08.2014		32,38	3,37	-0,31	35,44		
17.08.2014		31,51	0,43	0,00	31,94		
18.08.2014		30,64	0,35	0,00	30,99		

Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **ohne PCM - mit Nachlüftung**

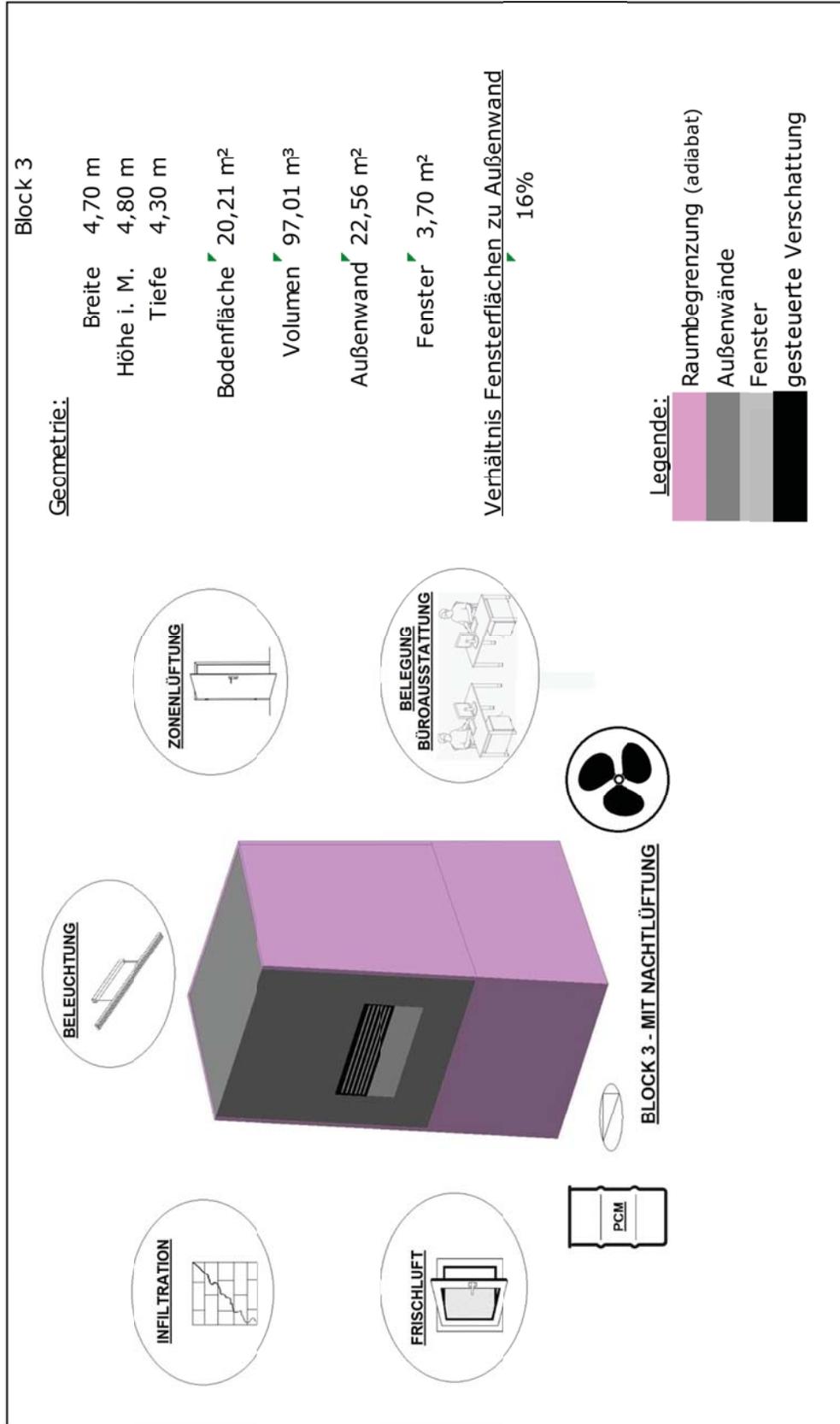
Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
19.08.2014		30,81	3,54	-0,40	33,96		
20.08.2014		30,82	3,35	-0,31	33,86		
21.08.2014		30,73	3,25	-0,24	33,74		
22.08.2014		30,54	3,25	-0,30	33,49		
23.08.2014		30,84	3,21	0,23	34,28		
24.08.2014		30,04	0,58	0,00	30,63		
25.08.2014		29,59	0,42	0,00	30,01		
26.08.2014		30,42	3,57	0,09	34,07		
27.08.2014		30,68	3,45	-0,29	33,85		
28.08.2014		30,42	3,43	-0,36	33,49		
29.08.2014		29,96	3,35	-0,72	32,59		
30.08.2014		29,78	3,69	-0,56	32,91		
31.08.2014		28,92	0,56	0,00	29,48		
01.09.2014		28,16	0,63	0,00	28,78		
02.09.2014		28,73	3,62	-0,02	32,33		
03.09.2014		28,17	3,53	-1,04	30,66		
04.09.2014		27,81	3,56	-0,56	30,80		
05.09.2014		27,89	3,64	-0,04	31,50		
06.09.2014		27,79	3,59	-0,18	31,20		
07.09.2014		26,66	0,53	0,00	27,19		
08.09.2014		26,07	0,60	0,00	26,67		
09.09.2014		26,53	3,67	-0,18	30,03		
10.09.2014		26,76	3,67	-0,07	30,36		
11.09.2014		27,33	3,99	0,02	31,34		
12.09.2014		27,63	3,54	-0,08	31,09		
13.09.2014		27,69	3,52	-0,06	31,16		
14.09.2014		26,23	0,20	0,00	26,43		
15.09.2014		25,00	0,23	0,00	25,22		
16.09.2014		26,41	3,83	0,90	31,14		
17.09.2014		27,38	4,00	0,38	31,76		
18.09.2014		28,37	3,83	0,50	32,70		
19.09.2014		28,98	3,85	-0,05	32,79		
20.09.2014		29,65	3,66	0,29	33,60		
21.09.2014		28,68	0,61	0,00	29,29		
22.09.2014		28,01	0,68	0,00	28,69		

Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **ohne PCM - mit Nachlüftung**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
23.09.2014		28,55	3,84	-0,22	32,17		
24.09.2014		28,99	3,68	-0,15	32,52		
25.09.2014		29,11	3,56	-0,14	32,53		
26.09.2014		29,07	3,59	-0,27	32,39		
27.09.2014		28,49	3,44	-0,80	31,13		
28.09.2014		26,85	0,17	0,00	27,02		
29.09.2014		25,52	0,29	0,00	25,80		
30.09.2014		25,59	4,25	-0,97	28,86		
Min.		20,13	0,17	-1,04	20,66		
Max.		33,46	4,51	1,72	37,27		
Summe:		5079,69	499,73	23,96	5603,38		

14.9 Simulation „Gesamter-Sommer“ mit PCM – mit Nachtlüftung

3d Modell: Block 3	Fassaden-Orientierung: Süden		Neigung: -4,2 Grad (nach innen geneigt)	
	Block 3	mit PCM	Süden	
MUSTERRAUM - MIT PCM				
GESAMTER SOMMER				
MIT NACHTLÜFTUNG				
	Min.	Max.	Mittelwert	Summe



Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **mit PCM - mit Nachtlüftung**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
01.04.2014		0,33	6,40	-3,85	2,88		
02.04.2014		0,31	6,44	-3,98	2,77		
03.04.2014		0,40	6,32	-3,69	3,03		
04.04.2014		0,25	6,42	-2,94	3,72		
05.04.2014		0,22	6,45	-3,94	2,73		
06.04.2014		0,20	0,00	-1,42	-1,22		
07.04.2014		0,47	0,00	0,00	0,47		
08.04.2014		0,44	6,33	-2,38	4,39		
09.04.2014		0,41	6,43	-3,21	3,62		
10.04.2014		0,60	6,18	-3,18	3,61		
11.04.2014		0,60	6,23	-3,66	3,16		
12.04.2014		0,37	6,43	-3,54	3,26		
13.04.2014		0,28	0,00	-1,15	-0,87		
14.04.2014		0,55	0,00	0,00	0,55		
15.04.2014		0,26	6,65	-2,08	4,83		
16.04.2014		0,25	6,63	-3,63	3,25		
17.04.2014		0,27	6,62	-3,65	3,24		
18.04.2014		0,63	6,17	-3,09	3,71		
19.04.2014		0,30	6,56	-2,87	3,99		
20.04.2014		0,47	0,00	-0,97	-0,50		
21.04.2014		0,53	0,00	-0,11	0,42		
22.04.2014		0,41	6,40	-1,33	5,48		
23.04.2014		0,25	6,57	-3,32	3,50		
24.04.2014		0,48	6,34	-3,08	3,73		
25.04.2014		0,59	6,01	-2,48	4,12		
26.04.2014		0,54	5,94	-3,23	3,25		
27.04.2014		0,36	0,00	-2,87	-2,52		
28.04.2014		0,29	0,00	-1,13	-0,85		
29.04.2014		0,23	6,40	-3,19	3,44		
30.04.2014		0,23	6,48	-4,64	2,07		
01.05.2014		0,47	6,09	-2,24	4,32		
02.05.2014		0,49	6,09	-3,86	2,72		
03.05.2014		0,37	6,25	-4,33	2,28		
04.05.2014		0,42	0,00	-2,07	-1,65		
05.05.2014		0,32	0,00	-0,70	-0,38		

Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **mit PCM - mit Nachtlüftung**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
06.05.2014		0,56	6,13	-1,91	4,78		
07.05.2014		0,34	6,36	-3,39	3,31		
08.05.2014		0,24	6,37	-4,04	2,58		
09.05.2014		0,25	6,43	-4,11	2,58		
10.05.2014		0,56	6,08	-3,37	3,27		
11.05.2014		0,31	0,00	-1,74	-1,43		
12.05.2014		0,38	0,00	-0,56	-0,18		
13.05.2014		0,45	6,20	-1,42	5,24		
14.05.2014		0,36	6,13	-2,53	3,96		
15.05.2014		0,45	5,85	-3,01	3,30		
16.05.2014		0,33	5,94	-3,43	2,85		
17.05.2014		0,59	5,56	-4,08	2,07		
18.05.2014		0,58	0,00	-3,42	-2,84		
19.05.2014		0,46	0,00	-2,55	-2,09		
20.05.2014		0,56	5,78	-3,74	2,59		
21.05.2014		0,29	6,03	-3,44	2,87		
22.05.2014		0,30	5,85	-3,87	2,27		
23.05.2014		0,26	5,95	-5,05	1,16		
24.05.2014		0,27	6,14	-5,48	0,92		
25.05.2014		0,33	0,00	-2,84	-2,51		
26.05.2014		0,29	0,00	-1,91	-1,62		
27.05.2014		0,27	6,33	-3,86	2,74		
28.05.2014		0,33	6,31	-3,41	3,22		
29.05.2014		0,47	6,11	-3,79	2,78		
30.05.2014		0,57	5,94	-3,87	2,64		
31.05.2014		0,52	5,85	-2,70	3,68		
01.06.2014		0,32	0,00	-3,01	-2,69		
02.06.2014		0,46	0,00	-1,60	-1,14		
03.06.2014		0,34	6,06	-2,37	4,03		
04.06.2014		0,31	6,10	-3,34	3,07		
05.06.2014		0,39	6,06	-4,31	2,14		
06.06.2014		0,47	5,87	-3,41	2,92		
07.06.2014		0,47	5,74	-3,33	2,88		
08.06.2014		0,35	0,00	-1,76	-1,42		
09.06.2014		0,30	0,00	-2,89	-2,59		

Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **mit PCM - mit Nachtlüftung**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
10.06.2014		0,54	5,77	-3,77	2,54		
11.06.2014		0,54	5,69	-4,08	2,15		
12.06.2014		0,41	5,77	-3,80	2,37		
13.06.2014		0,53	5,52	-3,55	2,51		
14.06.2014		0,54	5,39	-4,37	1,56		
15.06.2014		0,37	0,00	-4,85	-4,49		
16.06.2014		0,35	0,00	-2,94	-2,60		
17.06.2014		0,37	6,03	-4,53	1,86		
18.06.2014		0,36	6,08	-4,97	1,47		
19.06.2014		0,35	6,18	-4,71	1,81		
20.06.2014		0,28	6,15	-5,32	1,11		
21.06.2014		0,29	6,16	-4,29	2,16		
22.06.2014		0,28	0,00	-2,31	-2,03		
23.06.2014		0,44	0,00	-1,10	-0,66		
24.06.2014		0,37	6,09	-2,00	4,47		
25.06.2014		0,43	5,91	-3,03	3,32		
26.06.2014		0,48	5,79	-3,39	2,89		
27.06.2014		0,29	6,03	-4,18	2,14		
28.06.2014		0,44	5,75	-3,84	2,35		
29.06.2014		0,52	0,00	-3,53	-3,01		
30.06.2014		0,57	0,00	-3,20	-2,63		
01.07.2014		0,46	5,77	-3,88	2,34		
02.07.2014		0,48	5,68	-3,59	2,57		
03.07.2014		0,43	5,62	-3,76	2,29		
04.07.2014		0,41	5,62	-4,30	1,73		
05.07.2014		0,54	5,42	-5,79	0,17		
06.07.2014		0,42	0,00	-4,34	-3,92		
07.07.2014		0,48	0,00	-3,85	-3,36		
08.07.2014		0,52	5,56	-3,76	2,32		
09.07.2014		0,56	5,43	-4,35	1,64		
10.07.2014		0,58	5,34	-4,75	1,17		
11.07.2014		0,39	5,55	-4,92	1,02		
12.07.2014		0,31	5,68	-5,57	0,41		
13.07.2014		0,46	0,00	-4,81	-4,34		
14.07.2014		0,49	0,00	-3,06	-2,57		

Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **mit PCM - mit Nachtlüftung**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
15.07.2014		0,51	5,43	-3,68	2,26		
16.07.2014		0,43	5,42	-3,15	2,71		
17.07.2014		0,30	5,51	-5,39	0,42		
18.07.2014		0,27	5,61	-6,48	-0,60		
19.07.2014		0,42	5,50	-5,54	0,38		
20.07.2014		0,56	0,00	-4,12	-3,56		
21.07.2014		0,50	0,00	-3,52	-3,02		
22.07.2014		0,48	5,41	-3,81	2,08		
23.07.2014		0,28	5,62	-4,58	1,32		
24.07.2014		0,38	5,52	-5,88	0,02		
25.07.2014		0,42	5,40	-6,29	-0,47		
26.07.2014		0,26	5,66	-6,70	-0,78		
27.07.2014		0,40	0,00	-4,40	-4,00		
28.07.2014		0,44	0,00	-3,60	-3,16		
29.07.2014		0,46	5,64	-3,36	2,75		
30.07.2014		0,35	5,69	-4,26	1,78		
31.07.2014		0,27	5,68	-4,38	1,57		
01.08.2014		0,30	5,67	-5,75	0,22		
02.08.2014		0,29	5,71	-5,79	0,21		
03.08.2014		0,29	0,00	-2,93	-2,64		
04.08.2014		0,41	0,00	-2,52	-2,12		
05.08.2014		0,40	5,65	-3,23	2,82		
06.08.2014		0,61	5,21	-3,97	1,84		
07.08.2014		0,63	5,04	-4,73	0,94		
08.08.2014		0,62	4,99	-5,07	0,54		
09.08.2014		0,60	4,96	-4,73	0,84		
10.08.2014		0,41	0,00	-4,80	-4,39		
11.08.2014		0,59	0,00	-3,55	-2,95		
12.08.2014		0,34	5,40	-2,99	2,75		
13.08.2014		0,33	5,47	-5,25	0,55		
14.08.2014		0,44	5,35	-5,43	0,37		
15.08.2014		0,49	5,32	-7,07	-1,26		
16.08.2014		0,59	5,22	-5,86	-0,05		
17.08.2014		0,43	0,00	-4,72	-4,29		
18.08.2014		0,35	0,00	-3,99	-3,64		

Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **mit PCM - mit Nachtlüftung**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
19.08.2014		0,57	5,32	-4,12	1,78		
20.08.2014		0,37	5,63	-4,97	1,03		
21.08.2014		0,26	5,77	-5,14	0,90		
22.08.2014		0,24	5,68	-5,07	0,85		
23.08.2014		0,27	5,67	-5,11	0,83		
24.08.2014		0,58	0,00	-4,25	-3,67		
25.08.2014		0,42	0,00	-3,73	-3,31		
26.08.2014		0,58	5,36	-3,74	2,20		
27.08.2014		0,47	5,52	-4,64	1,36		
28.08.2014		0,40	5,69	-5,74	0,35		
29.08.2014		0,25	5,82	-5,28	0,79		
30.08.2014		0,59	5,46	-5,18	0,87		
31.08.2014		0,56	0,00	-3,17	-2,61		
01.09.2014		0,63	0,00	-2,43	-1,80		
02.09.2014		0,43	5,79	-3,15	3,07		
03.09.2014		0,22	6,00	-4,99	1,23		
04.09.2014		0,23	5,99	-4,64	1,57		
05.09.2014		0,36	5,89	-4,25	2,00		
06.09.2014		0,28	6,05	-4,61	1,72		
07.09.2014		0,53	0,00	-2,14	-1,61		
08.09.2014		0,60	0,00	-1,15	-0,55		
09.09.2014		0,24	6,14	-2,78	3,61		
10.09.2014		0,26	6,10	-3,47	2,89		
11.09.2014		0,66	5,53	-2,89	3,29		
12.09.2014		0,22	6,04	-3,99	2,27		
13.09.2014		0,22	6,02	-4,15	2,08		
14.09.2014		0,20	0,00	-2,53	-2,33		
15.09.2014		0,23	0,00	-1,14	-0,91		
16.09.2014		0,44	5,84	-1,23	5,05		
17.09.2014		0,70	5,42	-2,66	3,46		
18.09.2014		0,64	5,42	-2,85	3,21		
19.09.2014		0,70	5,31	-3,61	2,40		
20.09.2014		0,60	5,33	-3,28	2,65		
21.09.2014		0,61	0,00	-3,21	-2,60		
22.09.2014		0,68	0,00	-2,06	-1,38		

Berechnungsergebnis **Block 3**Fassaden-Orientierung: **Süden**Neigung: **-4,2 Grad (innen geneigt)****Gesamter-Sommer**Typ: **mit PCM - mit Nachtlüftung**

Datum	Zeit	Solare Gewinne	Interne Gewinne Belegung	Infiltration, Lüftung	Kombiantion		
		kWh	kWh	kWh	kWh		
23.09.2014		0,63	5,47	-3,64	2,46		
24.09.2014		0,52	5,56	-3,74	2,34		
25.09.2014		0,40	5,66	-4,60	1,47		
26.09.2014		0,42	5,68	-4,54	1,56		
27.09.2014		0,17	5,98	-5,62	0,53		
28.09.2014		0,17	0,00	-2,30	-2,13		
29.09.2014		0,29	0,00	-1,62	-1,33		
30.09.2014		0,70	5,67	-3,03	3,35		
Min.		0,17	0,00	-7,07	-4,49		
Max.		0,70	6,65	0,00	5,48		
Summe:		76,03	766,83	-657,91	184,95		