



Technische Universität Graz  
Fakultät für Bauingenieurwissenschaften

Dejan Lipovčić, BSc

# **Vergleich unterschiedlicher Berechnungsverfahren für die Berechnung der Wärmeströme erdberührter Bauteile**

## **Masterarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades Diplom-Ingenieur  
Masterstudium Bauingenieurwissenschaften – Konstruktiver Ingenieurbau

Eingerichtet an der  
**Technischen Universität Graz**

Betreuer:  
Univ.-Prof. DDr. Peter Kautsch  
Dipl.-Ing. Baumeister Johann Hafellner

Institut für Hochbau

Graz, Oktober 2018



## **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

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

---

Datum

---

Unterschrift



# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Masterarbeit beigetragen haben.

In erster Linie richte ich den größten Dank an meine Eltern Dragutin und Gordana wie auch mein Bruder Goran, die mir mein Studium ermöglicht und mich in jeder Entscheidung unterstützt haben. Besonders danke ich meine Freundin Natasa für ihre grenzenlose Liebe und Geduld.

Des Weiteren möchte ich mich herzlich bei Herrn Univ.-Prof. Peter Kautsch sowie bei Herrn Dipl.-Ing. Baumeister Johann Hafellner für die ausgezeichnete Betreuung bei der Erstellung dieser Masterarbeit bedanken. Abschließend möchte ich einen großen Dank an die Mitarbeiter des Instituts für Hochbau der Technischen Universität Graz richten, die mir immer freundlich, hilfsbereit und aufgeschlossen entgegengekommen sind.

Ein spezieller Dank gilt meinen Freunden und Studienkollegen, die mich immer wieder ermutigten und mit denen ich eine unvergessliche Zeit in Graz erleben durfte.



## Kurzfassung

Ein Gebäude verliert einen nicht zu vernachlässigenden Teil seiner Wärme über die erdberührten Bauteile. Diese Wärmeverluste sind zwar nicht so groß wie jene von den Bauteilen, die an Außenluft angrenzen, dennoch spielen sie eine wichtige Rolle bei der Ermittlung des Gesamtwärmeverlustes eines Gebäudes.

Der Wärmestrom, der von den beheizten Bereichen über die erdberührte Bauteile zur Außenluft fließt, erfährt eine Dämpfung. Den wesentlichen Einfluss auf diese Dämpfung hat die dämmende und speichernde Wirkung des Erdreiches. Deswegen treten zeitliche Verzögerungen auf. Es ist von großer Bedeutung diese Einflüsse bei der Berechnung des Wärmestromes von erdberührten Bauteilen zu berücksichtigen.

In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse der Berechnung von Wärmeverlusten über das Erdreich nach EN ISO 13370 mit jenen aus dreidimensionalen Simulationen verglichen. Die Wärmeverluste für die indirekte Methode mit  $\psi_g$ -Werten nach EN ISO 13370 wurden einerseits anhand von Monatsmitteltemperaturen mit den Formeln, andererseits unter Verwendung sinusförmiger Temperaturschwankung und mit Hilfe von zweidimensionalen Wärmebrückenprogrammen berechnet.

In Rahmen dieser Arbeit wurden drei verschiedene Systeme untersucht und analysiert: nicht unterkellert, konditionierter Keller und unkonditionierter Keller. Weiter wurden für diese Systeme unterschiedliche Bauteilaufbauten definiert. Mit dieser Betrachtungsweise wurden die Einflüsse der wärmetechnischen Qualität der erdberührten Bauteile auf die Wärmeverluste analysiert. Außerdem wurden die Sockeldetails der nicht unterkellerten Systeme in unterschiedlichen Varianten untersucht, um den wesentlichen Einfluss der Einbausituation auf die Wärmeverluste festzustellen.

**Schlagwörter:** Wärmestrom, Wärmeverluste, Bodenplatte auf Erdreich, konditionierter Keller, unkonditionierter Keller



## Abstract

A building loses a not insignificant part of its heat through over the earth-coupled elements. Although these heat losses are not as enormous as those of the elements that are in contact with the outside air, they still play an important role in determining the total heat loss of a building.

The heat flow, which flows from the heated areas via the earth-coupled elements to the outside air, undergoes damping. The main influence on this damping is the large thermal inertia of the ground. That is why the time delays occur. It is very important to consider these influences when calculating the heat flow of earth-coupled elements.

In this thesis, the results of the calculation of heat losses to the ground according to EN ISO 13370 are compared with three-dimensional simulations. The heat losses for the indirect method with  $\psi_g$ -values according to EN ISO 13370 were calculated on the one hand based on median monthly temperatures with the formulas, on the other hand using sinusoidal variations in temperature and with the aid of a two-dimensional thermal bridge programs.

In this work, three different systems were examined and analysed: bottom slab, conditioned basement and unconditioned basement. Furthermore, different component structures were defined for these systems. With this approach, the effects of the thermal quality of the earth-coupled elements on the heat losses were analysed. In addition, the base details of the systems were examined in different variants to determine the major influence of the installation situation on the heat losses.

**Keywords:** heat flow, heat lose, bottom slab, conditioned basement, unconditioned basement



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Bauteile und Modellübersicht</b>	<b>2</b>
2.1	Übersicht der Bauteile	2
2.1.1	<i>Außenwand</i>	3
2.1.2	<i>Kellerwand - konditionierter Keller</i>	4
2.1.3	<i>Kellerwand - unkonditionierter teilweise gedämmter Keller</i>	5
2.1.4	<i>Bodenaufbau 1</i>	6
2.1.5	<i>Bodenaufbau 2</i>	7
2.1.6	<i>Bodenaufbau 3</i>	8
2.1.7	<i>Bodenaufbau bei unkonditionierten Keller</i>	9
2.1.8	<i>Decke des unkonditionierten Kellers 1</i>	10
2.1.9	<i>Decke des unkonditionierten Kellers 2</i>	11
2.1.10	<i>Decke des konditionierten Kellers (Zwischendecke)</i>	12
2.2	Modellübersicht	13
2.3	Zusammenfassung	18
<b>3</b>	<b>Berechnung der Wärmeströme mit <math>\psi_g</math>-Werten laut EN 13370</b>	<b>19</b>
3.1	Allgemeines	19
3.2	Fundamentplatte nicht unterkellert	21
3.3	Konditionierter Keller	22
3.4	Unkonditionierter Keller	24
3.5	Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten $\psi_g$	25
3.6	Randbedingungen für Berechnung	28
3.7	Ergebnisse	30
3.7.1	<i>Allgemeines</i>	30
3.7.2	<i>Nicht unterkellert</i>	31
3.7.3	<i>Konditionierter Keller</i>	36
3.7.4	<i>Unkonditionierter Keller</i>	38
3.8	Zusammenfassung	41
<b>4</b>	<b>Simulationen mit HTflux</b>	<b>42</b>
4.1	Beschreibung des Simulationsmodells	42
4.2	Randbedingungen für die Berechnung und Modellierung	44
4.3	Klimadaten	45
4.3.1	<i>Außenklima</i>	45
4.3.2	<i>Innenklima</i>	47
4.4	Simulationsergebnisse	48
4.4.1	<i>Allgemeines</i>	48
4.4.2	<i>Nicht unterkellert</i>	49
4.4.3	<i>Konditionierter Keller</i>	60
4.4.4	<i>Unkonditionierter Keller</i>	67
4.4.5	<i>Wärmestromverläufe anhand des mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur</i>	73
4.5	Zusammenfassung	80
<b>5</b>	<b>3D Simulationen mit Antherm</b>	<b>81</b>
5.1	Beschreibung des Simulationsmodells	81
5.2	Simulationsergebnisse	83
5.2.1	<i>Allgemeines</i>	83
5.2.2	<i>Nicht unterkellert</i>	84
5.2.3	<i>Konditionierter Keller</i>	90
5.2.4	<i>Unkonditionierter Keller</i>	93
5.1	Zusammenfassung	97
<b>6</b>	<b>Nebenrechnungen und Analyse</b>	<b>98</b>

6.1	Wärmeübergangswiderstand $R_{se}$ an Erdreich .....	98
6.2	Analyse der Bauteile mittels Wärmestromlinien .....	99
6.2.1	<i>Nicht unterkellert</i> .....	99
6.2.2	<i>Konditionierter Keller</i> .....	101
6.2.3	<i>Unkonditionierter Keller</i> .....	102
6.3	Temperaturfaktor $f_{Rsi}$ .....	104
6.4	Zusammenfassung .....	106
<b>7</b>	<b>Vergleich der Berechnungsergebnisse .....</b>	<b>107</b>
7.1	Erkenntnisse .....	107
7.1.1	<i>Nicht unterkellert</i> .....	109
7.1.2	<i>Konditionierter Keller</i> .....	112
7.1.3	<i>Unkonditionierter Keller</i> .....	113
7.2	Zusammenfassung .....	114
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>115</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>117</b>
<b>10</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>119</b>
<b>11</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>123</b>
<b>12</b>	<b>Anhang 1 .....</b>	<b>124</b>
<b>13</b>	<b>Anhang 2 .....</b>	<b>125</b>





# 1 Einleitung

Der Wärmestrom der erdberührten Bauteile stellt einen komplizierteren Vorgang dar als der Wärmestrom der oberirdischen Bauteile. Der Grund dafür ist, dass das Erdreich eine dämmende und speichernde Wirkung aufweist. Demzufolge wird der Wärmestrom, der von beheizten Bereichen durch die erdberührten Bauteile an die Außenluft verläuft, nicht nur von den wärmetechnischen Eigenschaften der erdberührten Bauteile beeinflusst wird, sondern auch durch die Randbedingungen der Einbausituation und das umgebende Erdreich.

Die derzeit gültige internationale Norm EN ISO 13370 [1] enthält analytische Berechnungsverfahren zur Berechnung der Wärmeströme von erdberührten Bauteilen. Diese Berechnungsverfahren berücksichtigen Randbedingungen wie die Größe der erdberührten Fläche, die Einbautiefe der Fundamentplatte unter der Erdreichoberkante wie auch die Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches. Die Norm bietet für die Berechnung des Wärmestroms über das Erdreich drei Methoden. Die erste Methode berücksichtigt die thermische Trägheit des Erdreiches. Dabei wird die Wärmeübertragung durch zwei Komponenten definiert, einerseits eine stationäre Komponente, andererseits eine jährliche periodische Komponente. Nach dieser Methode wird der monatliche Wärmestrom entweder mit der Außentemperatur, die sinusförmig um ihr Jahresmittel schwankt, oder mit der mittleren monatlichen Außentemperatur berechnet. Die zweite Methode berechnet den mittleren Wärmestrom in Heiz- oder Kühlperioden. Diese Methode wird angewendet, wenn die Berücksichtigung der Schwankung der Wärmeverluste zwischen den Monaten nicht erforderlich ist. Nach der dritten Methode wird der Wärmestrom als konstanter Wert ermittelt, der der stationären Komponente entspricht. Bei diesen Methoden handelt es sich um Näherungen, die oft in der Praxis angewendet werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden drei verschiedenen Systeme: nicht unterkellerte, konditionierter Keller und unkonditionierter Keller untersucht. Die Modelle der untersuchten Systeme wurden mit unterschiedlicher wärmetechnischer Qualität der Bauteile gebildet, sodass jedes System eine Mehrzahl von Modellen mit unterschiedlichen Bauteilen aufweist. Im Zuge der Modellbildung und Simulation wurde auf die Randbedingungen und Materialzuweisungen geachtet, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Die angewendeten normierten Randbedingungen für das Klima entsprechen den ortsspezifischen Klimadaten.

Das Ziel dieser Arbeit ist, die Ergebnisse der Wärmeverluste über die erdberührten Bauteile, berechnet nach den in der Praxis angewendeten Berechnungsarten, mit den zweidimensionalen instationär kalkulierten Ergebnissen und den dreidimensionalen Ergebnissen zu vergleichen. Außerdem wurden die Einflüsse unterschiedlicher Bauteilaufbauten an die Wärmeübertragung über das Erdreich analysiert.

## 2 Bauteile und Modellübersicht

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Berechnung des Wärmestroms über das Erdreich anhand von verschiedenen Berechnungsverfahren für Wärmeverluste entsprechend der EN ISO 13370 [1]. Die Bauteile sollen mit dem Stand der Technik korrespondieren, sodass die untersuchten Systeme realitätsnah sind. Es wurden drei unterschiedliche Systeme untersucht:

- nicht unterkellert
- konditionierter Keller
- unkonditionierter Keller

Für jedes der genannten Systeme wurden verschiedene Detailvarianten mit unterschiedlichen Aufbauten untersucht. In erster Linie werden mehrere Varianten von nicht unterkellerten Konstruktionen analysiert. Der Grund dafür ist, dass der Einfluss der Außentemperatur auf nicht unterkellerte Konstruktionen signifikanter als bei unterkellerten Konstruktionen ist. Die Untersuchung der verschiedenen Varianten soll zeigen, wie groß die Auswirkungen der unterschiedlichen Ausführungsarten der Sockelbereiche beim Gebäude auf die Berechnungsergebnisse der Wärmeverluste sind.

### 2.1 Übersicht der Bauteile

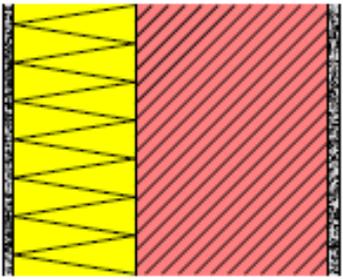
Nachfolgend werden die Bauteilaufbauten dargestellt und erläutert. Die Variationen der Bauteilaufbauten sollen zeigen, wie groß der Einfluss der wärmetechnischen Eigenschaften der Bauteile auf die Wärmeübertragung an das Erdreich ist. Es werden Bauteilaufbauten mit verschiedenen U-Werten angenommen, bzw. es wurden die Bauteilaufbauten mit den unterschiedlichen Materialien und Materialstärken variiert, sodass sich für jedes System (nicht unterkellert, konditionierter sowie unkonditionierter Keller) drei Varianten mit unterschiedlichen Aufbauten ergeben.

Folgende Bauteilaufbauten wurden für die Detailausbildung verwendet:

<b>Kurzbezeichnung</b>	<b>Bauteiltyp</b>
AW 01	Außenwand
EW 01	Kellerwand des konditionierten Kellers
EW 02	Kellerwand des unkonditionierten Kellers
EB 01	Bodenaufbau 1 bei Bodenplatte, konditionierter Keller
EB 02	Bodenaufbau 2 bei Bodenplatte, konditionierter Keller
EB 03	Bodenaufbau 3 bei Bodenplatte, konditionierter Keller
EK 01	Fundamentplatte bei unkonditioniertem Keller
KD 01	Decke des unkonditionierten Kellers 1
KD 02	Decke des unkonditionierten Kellers 2
ZD 01	Decke des konditionierten Kellers

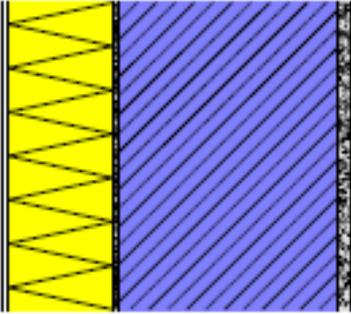
Die Materialkennwerte wie: die Wärmeleitfähigkeit, die spezifische Wärmekapazität und der Wärmedurchlasswiderstand der einzelnen Baustoffsichten sind erforderlich für die wärmetechnische Untersuchung der erdreichberührten Bauteile. Alle in der Arbeit verwendeten Baustoffe mit den entsprechenden Materialkennwerten werden in den nächsten Abschnitten zusammengefasst und dargestellt.

### 2.1.1 Außenwand

Bauteiltyp					
<b>Außenwand</b>					
Bauteilbezeichnung					
<b>AW01</b>					
Bauteilbeschreibung					
<b>Außenwand mit EPS-F</b>					
<b>Konstruktionsaufbau</b>					
<b>Baustoffschichten</b>					
	von innen nach außen	<b>d</b>	<b>λ</b>	<b>c</b>	<b>R=d/λ</b>
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[J/kgK]	[m²K/W]
1	Gipsputz (ÖNORM B 8110-7)	0,015	0,400	1000	0,038
2	HLZ 17 cm bis 38 cm (mit WDVS) (ÖNORM B 8110-7)	0,250	0,270	1000	0,926
3	EPS-F (ÖNORM B 8110-7)	0,160	0,040	1450	4,000
4	Einlagenputzmörtel für außen OC (ÖNORM B 8110-7)	0,010	0,780	1000	0,013
Bauteildicke [m]		0,435			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,170	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	5,147	[m²K/W]	
<b>Wärmedurchgangskoeffizient</b>		<b><math>U=1 / R_T</math></b>	<b>0,19</b>	<b>[W/m²K]</b>	

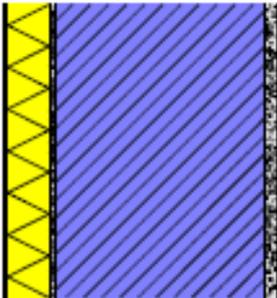
Die massive Außenwand bestehend aus einem Hochlochziegelmauerwerk mit einem Wärmedämmverbundsystem.

2.1.2 Kellerwand - konditionierter Keller

Bauteiltyp					
<b>Kellerwand - konditionierter Keller</b>					
Bauteilbezeichnung					
<b>EW01</b>					
Bauteilbeschreibung					
<b>Kellerwand mit XPS-G</b>					
<b>Konstruktionsaufbau</b>					
<b>Baustoffschichten</b>					
von innen nach außen		<b>d</b>	<b>λ</b>	<b>c</b>	<b>R=d/λ</b>
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[J/kgK]	[m²K/W]
1	Kalkzementputz (ÖNORM B 8110-7)	0,015	0,400	1000	0,038
2	Stahlbeton 2 % (ÖNORM B 8110-7)	0,250	2,500	1000	0,100
3	KMB (ÖNORM B 3692 & EN ISO 10456)	0,006	0,230	1000	0,026
4	XPS-G 30 (ÖNORM B 8110-7 und B 6000)	0,120	0,040	1450	3,000
5	HDPE-Noppenbahn (ÖNORM B 8110-7) *	0,001	0,500	1800	0,002
Bauteildicke [m]		0,391			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,13	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	3,294	[m²K/W]	
<b>Wärmedurchgangskoeffizient</b>		$U=1 / R_T$	<b>0,30</b>	<b>[W/m²K]</b>	

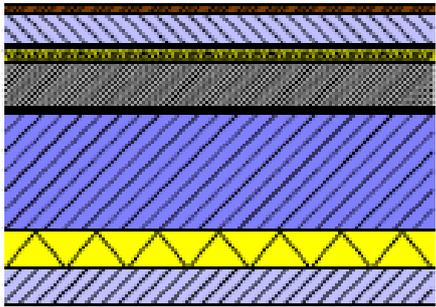
Der Kellerwand-Aufbau setzt sich aus einer Stahlbetonwand mit der Perimeterdämmung und dazwischenliegende Abdichtung zusammen.

## 2.1.3 Kellerwand - unkonditionierter teilweise gedämmter Keller

Bauteiltyp					
<b>Kellerwand - unkonditionierter Keller</b>					
Bauteilbezeichnung					
<b>EW02</b>					
Bauteilbeschreibung					
<b>Kellerwand mit XPS-G</b>					
<b>Konstruktionsaufbau</b>					
<b>Baustoffschichten</b>					
von innen nach außen		<b>d</b>	<b>λ</b>	<b>c</b>	<b>R=d/λ</b>
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[J/kgK]	[m²K/W]
1	Kalkzemetputz (ÖNORM B 8110-7)	0,015	0,400	1000	0,038
2	Stahlbeton 2 % (ÖNORM B 8110-7)	0,250	2,500	1000	0,100
3	KMB (ÖNORM B 3692 und EN ISO 10456)	0,006	0,230	1000	0,026
4	XPS-G 30 (ÖNORM B 8110-7 und B 6000)	0,100	0,040	1450	2,500
5	HDPE-Noppenbahn (ÖNORM B 8110-7) *	0,001	0,500	1800	0,002
Bauteildicke [m]		0,372			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,13	[m²KW]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	2,794	[m²KW]	
<b>Wärmedurchgangskoeffizient</b>		$U=1 / R_T$	<b>0,35</b>	<b>[W/m²K]</b>	

Der Kellerwand-Aufbau setzt sich aus einer Stahlbetonwand mit der Perimeterdämmung von 10cm und dazwischenliegender Abdichtung (KMB-ÖNORM B 3692 [2]) zusammen.

## 2.1.4 Bodenaufbau 1

Bauteiltyp					
<b>Bodenaufbau 1</b>					
Bauteilbezeichnung					
<b>EB01</b>					
Bauteilbeschreibung					
<b>Erdanliegender Fußboden</b>					
<b>Konstruktionsaufbau</b>					
<b>Baustoffschichten</b>					
von innen nach außen		<b>d</b>	<b>λ</b>	<b>c</b>	<b>R=d/λ</b>
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[J/kgK]	[m²K/W]
1	Parkett (ÖNORM B 8110-7)	0,015	0,120	1600	0,125
2	Zementestrich (ÖNORM B 8110-7)	0,070	1,100	1080	0,064
3	PE-Folie (ÖNORM B 8110-7)	0,0002	0,330	2200	0,001
4	Trittschalldämmung, MW(SW)-T (ÖNORM B 8110-7)	0,030	0,038	1030	0,789
5	Zementgebundenes EPS-Granulat (ÖNORM B 8110-7)	0,100	0,047	1250	2,128
6	Vlies PE	0,002	0,500	792	0,004
7	Bitumenbahn E-KV-4 2-lagig (ÖNORM B 3692 und B 3665)	0,008	0,230	1000	0,035
8	Stahlbeton 2 % (ÖNORM B 8110-7)	0,250	2,500	1000	0,100
9	PE-Folie (ÖNORM B 8110-7)	0,002	0,330	2200	0,006
10	XPS-G 30 (ÖNORM B 8110-7 und B 6000)	0,080	0,038	1450	2,105
11	Sauberkeitsschicht (ÖNORM B 8110-7) *	0,080	1,350	1000	0,059
Bauteildicke [m]		0,637			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,17	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	5,525	[m²K/W]	
<b>Wärmedurchgangskoeffizient</b>		<b><math>U=1 / R_T</math></b>	<b>0,181</b>	<b>[W/m²K]</b>	

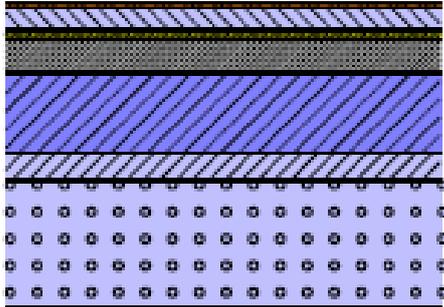
Bodenaufbau 1 repräsentiert einen von drei verschiedenen Bodenaufbauten, die für die Ausbildung der konditionierten Modelle benutzt wurden. Dieser Aufbau hat XPS-G 30 als Konstruktionsdämmung.

## 2.1.5 Bodenaufbau 2

Bauteiltyp					
<b>Bodenaufbau 2</b>					
Bauteilbezeichnung					
<b>EB02</b>					
Bauteilbeschreibung		<b>Erdanliegender Fußboden</b>			
<b>Konstruktionsaufbau</b>					
<b>Baustoffschichten</b>					
von innen nach außen		<b>d</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b>c</b>	<b>R=d/<math>\lambda</math></b>
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[J/kgK]	[m <sup>2</sup> K/W]
1	Parkett (ÖNORM B 8110-7)	0,015	0,120	1600	0,125
2	Zementestrich (ÖNORM B 8110-7)	0,070	1,100	1080	0,064
3	PE-Folie (ÖNORM B 8110-7)	0,0002	0,330	2200	0,001
4	Trittschalldämmung, MW(SW)-T (ÖNORM B 8110-7)	0,030	0,038	1030	0,789
5	Schaumglas (ÖNORM B 8110-7)	0,050	0,059	1000	0,847
6	Zementgebundenes EPS-Granulat (ÖNORM B 8110-7)	0,100	0,047	1250	2,128
7	Vlies PE	0,002	0,500	792	0,004
8	Bitumenbahn E-KV-4 2-lagig (ÖNORM B 3692 und B 3665)	0,008	0,230	1000	0,035
9	Stahlbeton 2 % (ÖNORM B 8110-7)	0,250	2,500	1000	0,100
10	PE-Folie (ÖNORM B 8110-7)	0,002	0,330	2200	0,006
11	XPS-G 30 (ÖNORM B 8110-7 und B 6000)	0,050	0,038	1450	1,315
12	Sauberkeitsschicht (ÖNORM B 8110-7) *	0,080	1,350	1000	0,059
Bauteildicke [m]		0,577			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,17	[m <sup>2</sup> K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	5,682	[m <sup>2</sup> K/W]	
<b>Wärmedurchgangskoeffizient</b>		$U=1 / R_T$	<b>0,176</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>K]</b>	

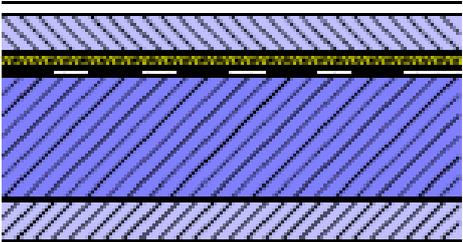
Bodenaufbau 2 ist der zweite von drei Bodenaufbauten. Dieser Aufbau hat zusätzlich Schaumglas (ÖNORM B 8110-7 [3]) im Fußbodenaufbau und die XPS-G 30 Dämmung hat eine reduzierte Dicke.

## 2.1.6 Bodenaufbau 3

Bauteiltyp					
<b>Bodenaufbau 3</b>					
Bauteilbezeichnung					
Bauteilbeschreibung		<b>EB03</b>			
Bauteilbeschreibung		<b>Erdanliegender Fußboden</b>			
<b>Konstruktionsaufbau</b>					
<b>Baustoffschichten</b>					
von innen nach außen		<b>d</b>	<b>λ</b>	<b>c</b>	<b>R=d/λ</b>
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[J/kgK]	[m²K/W]
1	Parkett (ÖNORM B 8110-7)	0,015	0,120	1600	0,125
2	Zementestrich (ÖNORM B 8110-7)	0,070	1,100	1080	0,064
3	PE-Folie (ÖNORM B 8110-7)	0,0002	0,330	2200	0,001
4	Trittschalldämmung, MW(SW)-T (ÖNORM B 8110-7)	0,030	0,038	1030	0,789
5	Zementgebundenes EPS-Granulat (ÖNORM B 8110-7)	0,100	0,047	1250	2,128
6	Vlies PE	0,002	0,500	792	0,004
7	Bitumenbahn E-KV-4 2-lagig (ÖNORM B 3692 und B 3665)	0,008	0,230	1000	0,035
8	Stahlbeton 2 % (ÖNORM B 8110-7)	0,250	2,500	1000	0,100
9	PE-Folie (ÖNORM B 8110-7)	0,002	0,330	2200	0,006
10	Schaumglasschotter (GEOCELL)	0,300	0,080	850	3,750
Bauteildicke [m]		0,957			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,17	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	7,231	[m²K/W]	
<b>Wärmedurchgangskoeffizient</b>		<b><math>U=1 / R_T</math></b>	<b>0,134</b>	<b>[W/m²K]</b>	

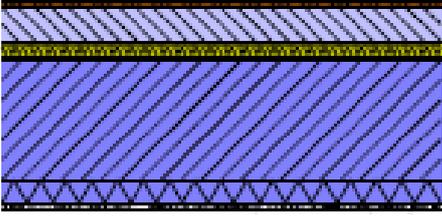
Bodenaufbau 3 ist letzter betrachtete Bodenaufbau. Dieser Aufbau weist Schaumglasschotter als die Wärmedämmung auf, der in Kontakt mit Erdreich steht.

## 2.1.7 Bodenaufbau bei unkonditioniertem Keller

Bauteiltyp					
<b>Fundamentplatte bei unkonditioniertem Keller</b>					
Bauteilbezeichnung					
<b>EK01</b>					
Bauteilbeschreibung					
<b>erdanliegender Fußboden in unkonditioniertem Keller</b>					
<b>Konstruktionsaufbau</b>					
<b>Baustoffschichten</b>					
	von innen nach außen	<b>d</b>	<b>λ</b>	<b>c</b>	<b>R=d/λ</b>
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[J/kgK]	[m²K/W]
1	Fliesen	0,030	1,000	936	0,030
2	Zementestrich (ÖNORM B 8110-7)	0,070	1,100	1080	0,064
3	PE-Folie (ÖNORM B 8110-7)	0,0002	0,330	2200	0,001
4	Trittschalldämmung, MW(SW)-T (ÖNORM B 8110-7)	0,030	0,038	1030	0,789
5	Vlies PE	0,002	0,500	792	0,004
6	Bitumenbahn E-KV-4 2-lagig (ÖNORM B 3692 und B 3665)	0,008	0,230	1000	0,035
7	Stahlbeton 2 % (ÖNORM B 8110-7)	0,250	2,500	1000	0,100
8	PE-Folie (ÖNORM B 8110-7)	0,002	0,330	2200	0,006
9	Sauberkeitsschicht (ÖNORM B 8110-7) *	0,080	1,350	1000	0,059
Bauteildicke [m]		0,472			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,17	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	1,199	[m²K/W]	
<b>Wärmedurchgangskoeffizient</b>		$U=1 / R_T$	<b>0,834</b>	<b>[W/m²K]</b>	

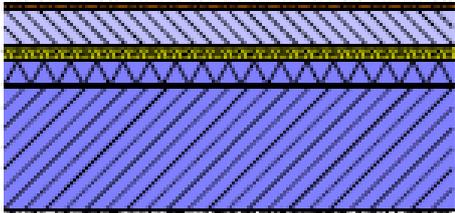
Der Bodenaufbau bei dem unkonditionierten Keller ist so angenommen, dass diese Modelle keine Bodendämmung aufweisen. Durch die Berechnung der Wärmeübertragung über das Erdreich vom Modell ohne Bodendämmung und den Modellen mit der Bodendämmung sollten zeigen, wie groß der Unterschied der Wärmeverluste zwischen diesen zwei Modelle ist.

## 2.1.8 Decke des unconditionierten Kellers 1

Bauteiltyp					
<b>Decke des unconditionierten Kellers</b>					
Bauteilbezeichnung					
<b>KD01</b>					
Bauteilbeschreibung					
<b>Decke zu unconditioniertem Keller</b>					
<b>Konstruktionsaufbau</b>					
<b>Baustoffschichten</b>					
von innen nach außen		<b>d</b>	<b>λ</b>	<b>c</b>	<b>R=d/λ</b>
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[J/kgK]	[m²K/W]
1	Parkett (ÖNORM B 8110-7)	0,015	0,120	1600	0,125
2	Zementestrich (ÖNORM B 8110-7)	0,070	1,100	1080	0,064
3	PE-Folie (ÖNORM B 8110-7)	0,0002	0,330	2200	0,001
4	Trittschalldämmung, MW(SW)-T (ÖNORM B 8110-7)	0,030	0,038	1030	0,789
5	Vlies PE	0,002	0,500	792	0,004
6	Stahlbeton 2 % (ÖNORM B 8110-7)	0,250	2,500	1000	0,100
7	EPS-W25 (ÖNORM B 8110-7)	0,120	0,036	1450	3,333
8	Gipsputz (ÖNORM B 8110-7)	0,015	0,400	1000	0,038
Bauteildicke [m]		0,432			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,340	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	4,794	[m²K/W]	
<b>Wärmedurchgangskoeffizient</b>		$U=1 / R_T$	<b>0,208</b>	<b>[W/m²K]</b>	

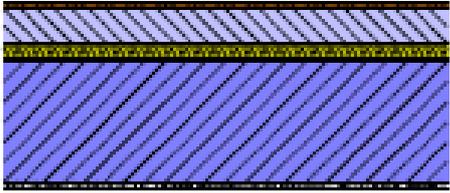
Einer von zwei Aufbauten der Decke des unconditionierten Kellers. Dieser Aufbau weist EPS Dämmung mit einer Dicke von 12cm an unterer Seite der tragende Betonplatte auf.

## 2.1.9 Decke des unkonditionierten Kellers 2

Bauteiltyp					
<b>Decke des unkonditionierten Kellers</b>					
Bauteilbezeichnung					
<b>KD02</b>					
Bauteilbeschreibung					
<b>Decke zu unkonditioniertem Keller</b>					
<b>Konstruktionsaufbau</b>					
<b>Baustoffschichten</b>					
von innen nach außen		<b>d</b>	<b>λ</b>	<b>c</b>	<b>R=d/λ</b>
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[J/kgK]	[m²K/W]
1	Parkett (ÖNORM B 8110-7)	0,015	0,120	1600	0,125
2	Zementestrich (ÖNORM B 8110-7)	0,070	1,100	1080	0,064
3	PE-Folie (ÖNORM B 8110-7)	0,0002	0,330	2200	0,001
4	Trittschalldämmung, MW(SW)-T (ÖNORM B 8110-7)	0,030	0,038	1030	0,789
5	EPS-W25 (ÖNORM B 8110-7)	0,120	0,036	1450	3,333
6	Vlies PE	0,002	0,500	792	0,004
7	Stahlbeton 2 % (ÖNORM B 8110-7)	0,250	2,500	1000	0,100
8	Gipsputz (ÖNORM B 8110-7)	0,015	0,400	1000	0,038
Bauteildicke [m]		0,432			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,340	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	4,794	[m²K/W]	
<b>Wärmedurchgangskoeffizient</b>		$U=1 / R_T$	<b>0,208</b>	<b>[W/m²K]</b>	

Der weitere Typ der Decke zwischen den konditionieren und den unkonditionierten Raum. Dieser Bauteiltyp wurde bei der dritten Variante des unkonditionierten Kellers verwendet. Diese Decke zu unkonditioniertem Keller weist die Wärmedämmung an der Oberseite der Betondecke auf.

**2.1.10 Decke des konditionierten Kellers (Zwischendecke)**

Bauteiltyp					
<b>warme Zwischendecke</b>					
Bauteilbezeichnung					
<b>ZD01</b>					
Bauteilbeschreibung					
<b>Decke zu konditioniertem Keller</b>					
<b>Konstruktionsaufbau</b>					
<b>Baustoffschichten</b>					
von innen nach außen		<b>d</b>	<b>λ</b>	<b>c</b>	<b>R=d/λ</b>
Nr.	Bezeichnung	[m]	[W/mK]	[J/kgK]	[m²K/W]
1	Parkett (ÖNORM B 8110-7)	0,015	0,120	1600	0,125
2	Zementestrich (ÖNORM B 8110-7)	0,070	1,100	1080	0,064
3	PE-Folie (ÖNORM B 8110-7)	0,0002	0,330	2200	0,001
4	Trittschalldämmung, MW(SW)-T (ÖNORM B 8110-7)	0,030	0,038	1030	0,789
5	Vlies PE	0,002	0,500	792	0,004
6	Stahlbeton 2 % (ÖNORM B 8110-7)	0,250	2,500	1000	0,100
7	Gipsputz (ÖNORM B 8110-7)	0,015	0,400	1000	0,038
Bauteildicke [m]		0,382			
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,260	[m²K/W]	
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	1,381	[m²K/W]	
<b>Wärmedurchgangskoeffizient</b>		<b><math>U=1 / R_T</math></b>	<b>0,72</b>	<b>[W/m²K]</b>	

Die Zwischendecke zu konditioniertem Keller wurde ohne Wärmedämmung ausgebildet. Dieser Typ der Decke wurde für die konditionierten Keller Modelle zwischen dem konditionieren Raum und dem konditionieren Keller angewendet.

## 2.2 Modellübersicht

Die folgenden Abbildungen sollten erläutern, wie die Modelle für die Berechnung der Wärmeströme anhand verschiedener Berechnungsverfahren aus der Norm EN ISO 13370 [1] angenommen werden. Wie einleitend erläutert, werden drei unterschiedliche Systeme untersucht:

- nicht unterkellert
- konditionierter Keller
- unkonditionierter Keller

Für jedes Modell ist es charakteristisch, dass die Dimensionen und der Aufbau der Außenwand immer gleichbleiben. Daher wird die Kennzeichnung der Außenwand (AW01) in der Beschreibung der Modelle ausgelassen. Die Abbildungen 1, 3, 5 und 7 stellen einen Gesamtüberblick der betrachteten Systeme und ihrer Varianten dar. Aus der Übersicht der Detailvarianten wird die Vielzahl der Modelle ersichtlich, die durch die folgenden Unterscheidungen geprägt sind.

Grob wird zwischen den nicht unterkellerten und den unterkellerten Modellen unterschieden. Nicht unterkellerte Modelle sind in Abbildung 1 (rückläufiger Stoß) und Abbildung 3 (Frostschürze) dargestellt, wobei es sich um Bodenplattenmodelle handelt. Die unterkellerten Modelle sind in zwei Gruppe aufgeteilt: konditionierter Keller (K1) (Abbildung 5) und unkonditionierter Keller (UnK1) (Abbildung 7). Bei den bisher genannten Unterteilungen wird wiederum durch drei Aufbauarten differenziert:

- Bodenaufbau 1 (EB 01)
- Bodenaufbau 2 (EB 02)
- Bodenaufbau 3 (EB 03)

Diese Unterteilung gilt für alle nicht unterkellerten Modelle und für die konditionierten unterkellerten Modelle. Die unterkellerten unkonditionierten Modelle werden mit einem anderen Kellerbodenplattenaufbau (EK 01) modelliert.

Die erste Modellgruppe hat insgesamt zwei Hauptmodelle. Jedes Hauptmodell hat seine einzigartige Detailausbildung im Sockelbereich. In jeder der Hauptgruppen befinden sich zwei Modelle mit den unterschiedlichen Aufbauten. Die Kennzeichen dieser Gruppen sind:

- nicht unterkellert Modell 1 – rückläufiger Stoß
- nicht unterkellert Modell 2 – Frostschürze

Die nicht unterkellerten Modelle werden aufgrund der erforderlichen Frostschutzmaßnahme in zwei weitere Kategorien unterteilt:

- Frostschotter (1) (Abbildung 2)
- Frostschürze (2) (Abbildung 4)

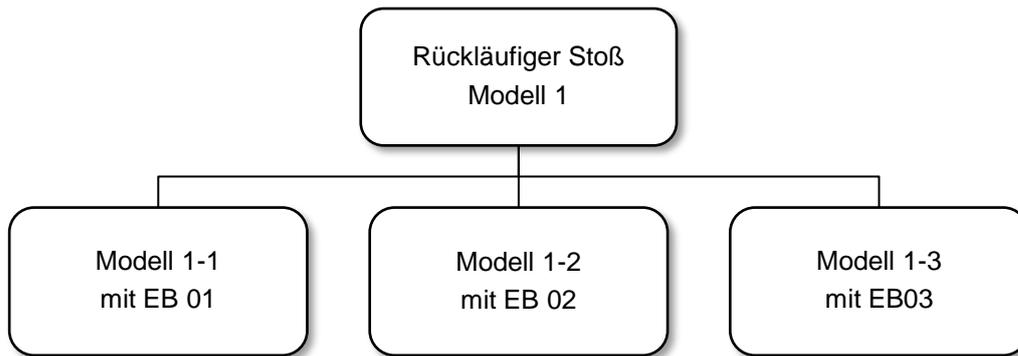


Abb. 1: Übersicht der nicht unterkellerten Modellgruppe 1 – rückläufiger Stoß

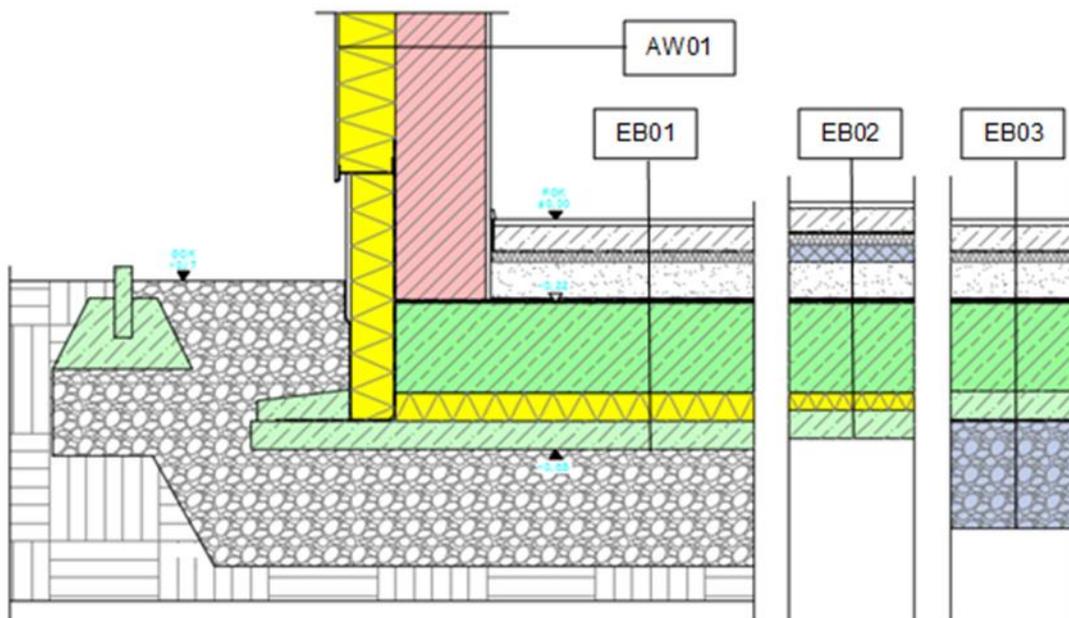


Abb. 2: Nicht unterkellertes Modell 1-1, 1-2, 1-3

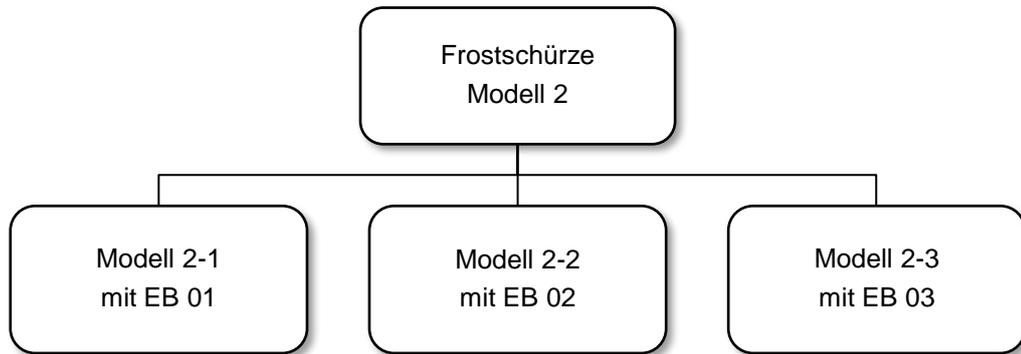


Abb. 3: Übersicht der nicht unterkellerten Modellgruppe 2 –Frostschürze

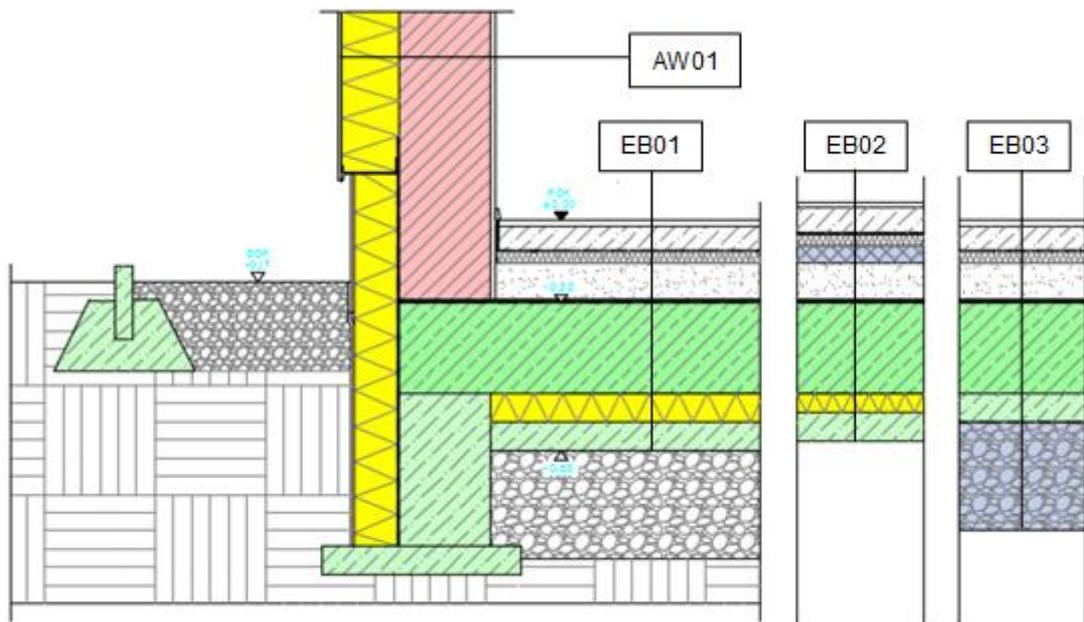


Abb. 4: Nicht unterkellertes Modell 2-1, 2-2, 2-3

Die zweite Modellgruppe hat nur ein Hauptmodell mit drei Modellen, die sich derart untereinander unterscheiden, dass jedes mit einem anderen Fundamentplattenaufbau definiert ist. Die Randbereichsausbildung der Kellerbodenplatte bleibt bei jedem gleich. (Abbildung 6)

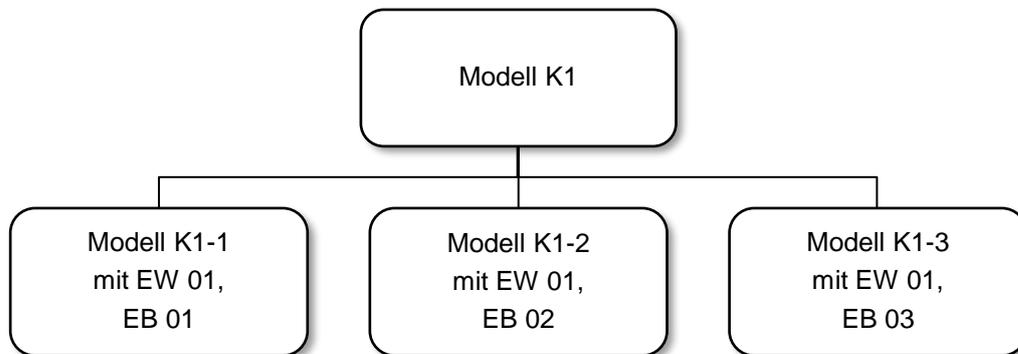


Abb. 5: Übersicht der konditionierten Keller-Modellgruppen

Das Detail der Kellerbodenplatte der unterkellerten Modelle wurde genau wie beim nicht unterkellerten Modell 1 ausgebildet.

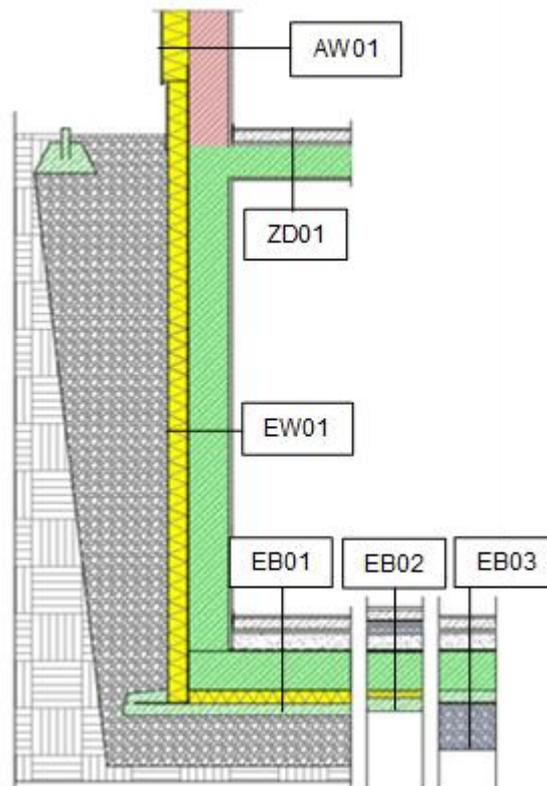


Abb. 6: Konditionierter Keller Modelle 1-1, 1-2, 1-3

Die dritte Modellgruppe besitzt nur ein Hauptmodell, das wiederum drei Modelle mit gleichem Kellerbodenaufbau hat. Der Unterschied zwischen diesen Modellen kennzeichnet sich dadurch, dass jedes Modell eine andere Detailsausbildung der Kellerdecke aufweist. Für das erste Modell UnK1-1 ist charakteristisch, dass sich die Wärmedämmung auf der Unterseite der tragenden Betondecke befindet. Das zweite Modell weist außer der horizontalen Dämmung auf der Unterseite der Kellerdecke auch eine vertikale Dämmung auf, die auf der inneren Seite der Kellerwand mit einer Länge von 75 cm verklebt ist. Die letzte Variante hat den gleichen Aufbau der Kellerdecke wie Modell UnK1-1, nur befindet sich in diesem Fall die Wärmedämmung auf der oberen Seite der Betondecke. (Abbildung 8)

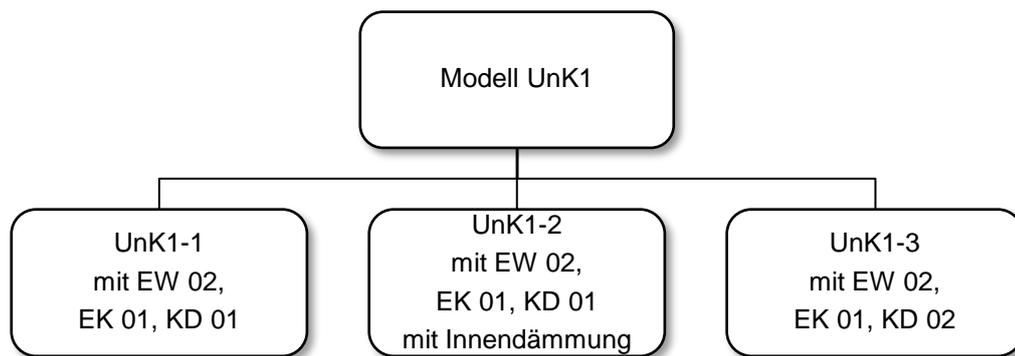


Abb. 7: Übersicht der unconditionierten Keller-Modellgruppen

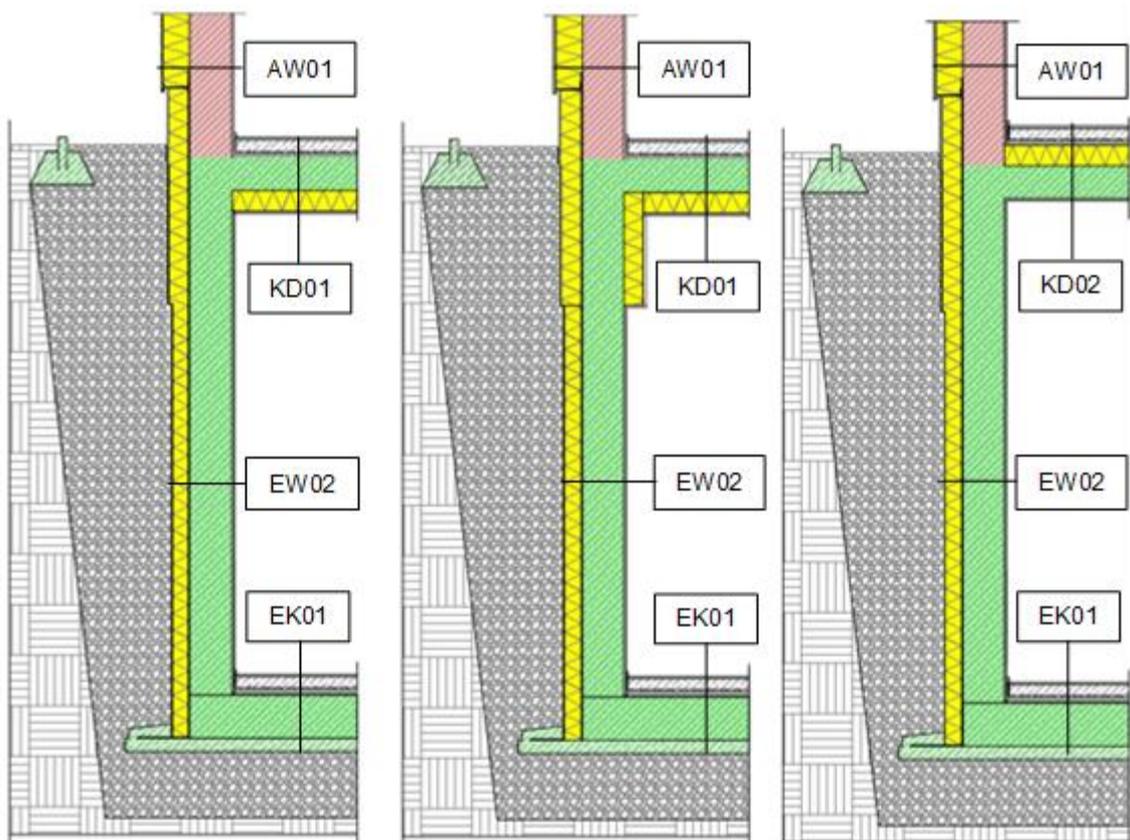


Abb. 8: Unconditionierter Keller Modelle 1-1, 1-2, 1-3

## **2.3 Zusammenfassung**

Zur Erfassung der Wärmeübertragung über das Erdreich im Rahmen dieser Arbeit wurden drei Systeme definiert:

- nicht unterkellert
- konditionierter Keller
- unkonditionierter Keller

Für die Berechnung der Wärmeströme dieser Systeme wurden Bauteile mit wärmetechnischen Eigenschaften sowie Varianten der Systeme festgelegt. Um den Einfluss der Wärmebrücken zu berücksichtigen, wurden verschiedene Randbereichsausbildungen der Fundamentplatten definiert.

### 3 Berechnung der Wärmeströme mit $\psi_g$ -Werten laut EN 13370

#### 3.1 Allgemeines

Die genannte Norm gibt drei Verfahren zur Berechnung der Wärmeströme und Wärmetransferkoeffizienten durch erdreichberührte Bauteile vor. Die Wärmeströme werden durch eine stationäre oder mittlere Komponente und eine jährliche, periodische Komponente berechnet. Die stationäre Komponente wird durch die Differenz des Jahresmittels der Außen- und Innentemperatur bestimmt. Die periodische Komponente wird durch die Amplitude der Schwankungen der Außen- und Innentemperatur bestimmt (siehe Formeln 3.1 und 3.2). Diese periodische Komponente wird als sinusförmige Funktion definiert, die um die Jahresmittel der Außen- und Innentemperatur schwankt. Folgende Berechnungsverfahren werden nach der Norm gestellt:

- Berechnung des Wärmestroms über das Erdreich für jeden Monat
- Berechnung des mittleren Wärmestroms über das Erdreich während der Heizperiode
- Berechnung des mittleren jährlichen Wärmestroms über das Erdreich

Die Berechnung des mittleren Wärmestroms im Monat  $m$  anhand sinusförmiger Schwankungen der Innen- und Außentemperatur wird nach Formel 3.1 durchgeführt.

$$\phi_m = \underbrace{H_g(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e)}_{\text{stationäre Komponente}} - \underbrace{H_{pi}\hat{\theta}_i \cos\left(2\pi \frac{m-\tau+\alpha}{12}\right)}_{\text{periodische Innentemperatur Komponente}} + \underbrace{H_{pe}\hat{\theta}_e \cos\left(2\pi \frac{m-\tau-\beta}{12}\right)}_{\text{periodische Außentemperatur Komponente}} \quad (3.1)$$

$\phi_m$  – mittlerer Wärmestrom [W]

$H_g$  – stationärer thermischer Leitwert [W/K]

$H_{pi}$  – innerer harmonischer thermischer Leitwert [W/K]

$H_{pe}$  – äußerer harmonischer thermischer Leitwert [W/K]

$\bar{\theta}_i$  – Jahresmittel der Innentemperatur [°C]

$\bar{\theta}_e$  – Jahresmittel der Außentemperatur [°C]

$\hat{\theta}_i$  – Amplitude der Schwankung des Monatsmittels der Innentemperatur [K]

$\hat{\theta}_e$  – Amplitude der Schwankung des Monatsmittels der Außentemperatur [K]

$m$  – Monatsnummer (z.B.  $m=1$  für Jänner)

$\tau$  – Monatsnummer mit der niedrigsten Außentemperatur

$\alpha$  – Zeitvorsprung des Wärmestromzyklus gegenüber dem für die Innentemperatur

$\beta$  – Zeitrückstand des Wärmestromzyklus gegenüber dem für die Außentemperatur

Falls die mittleren monatlichen Innen- und Außentemperaturen bekannt sind, wird der mittlere Wärmestrom nach Formel 3.2 berechnet. Bei der Berechnung des Wärmestroms nach Formel 3.2 gemäß der Norm wird angenommen, dass die Phasenverschiebungen  $\alpha$  und  $\beta$  vernachlässigt werden.

$$\phi_m = \underbrace{H_g(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e)}_{\text{stationäre Komponente}} - \underbrace{H_{pi}(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_{i,m})}_{\text{periodische Innentemperatur Komponente}} + \underbrace{H_{pe}(\bar{\theta}_e - \bar{\theta}_{e,m})}_{\text{periodische Außentemperatur Komponente}} \quad (3.2)$$

$\phi_m$  – mittlerer Wärmestrom [W]

$H_g$  – stationärer thermischer Leitwert [W/K]

$H_{pi}$  – innerer harmonischer thermischer Leitwert [W/K]

$H_{pe}$  – äußerer harmonischer thermischer Leitwert [W/K]

$\bar{\theta}_i$  – Jahresmittel der Innentemperatur [°C]

$\bar{\theta}_e$  – Jahresmittel der Außentemperatur [°C]

$\bar{\theta}_{i,m}$  – Monatsmittel der Innentemperatur für den Monat  $m$  [°C]

$\bar{\theta}_{e,m}$  – Monatsmittel der Außentemperatur für den Monat  $m$  [°C]

Der stationäre thermische Leitwert  $H_g$  muss mit einem adäquaten  $\psi_g$ -Wert für jedes Modell berechnet werden. In Abschnitt 3.5 wird erläutert, wie die  $\psi_g$ -Werte für jedes analysierte Modell berechnet wurden.

$$H_g = \underbrace{(A \cdot U)}_{\text{Fundamentplatte}} + \underbrace{(P \cdot \psi_g)}_{\text{Wärmebrücke}} \quad (3.3)$$

$H_g$  – stationärer thermischer Leitwert [W/K]

$A$  – Bodenplattenfläche [m<sup>2</sup>]

$U$  – Wärmedurchgangskoeffizient zwischen Innenraum und Außenumgebung [W/(m<sup>2</sup>K)]

$P$  – exponierter Umfang der Bodenplatte [m]

$\psi_g$  – längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m·K)]

Die periodischen Wärmeübergangskoeffizienten infolge der Schwankungen der Innentemperaturen  $H_{pi}$  und Außentemperaturen  $H_{pe}$  sind von der periodische Eindringtiefe  $\delta$ , der Fundamentplattengeometrie und der Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs abhängig und werden nach Formel 3.4 und 3.5 kalkuliert.

$$H_{pi} = A \frac{\lambda}{d_t} \sqrt{\frac{2}{\left(1 + \frac{\delta}{d_t}\right)^2 + 1}} \quad (3.4)$$

$$H_{pe} = 0,37P\lambda\ln\left(\frac{\delta}{d_t} + 1\right) \quad (3.5)$$

- $H_{pi}$  – innerer harmonischer thermischer Leitwert [W/K]
- $H_{pe}$  – äußerer harmonischer thermischer Leitwert [W/K]
- $A$  – Bodenplattenfläche [m<sup>2</sup>]
- $\lambda$  – Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches [W/(mK)]
- $d_t$  – wirksame Dicke der Bodenplatte [m]
- $\delta$  – periodische Eindringtiefe [m]
- $P$  – exponierter Umfang der Bodenplatte [m]

Von den drei Berechnungsverfahren, die in der EN ISO 13370 beschrieben sind, wurde die Berechnung des Wärmestroms über das Erdreich für jeden Monat detailliert behandelt. Diese Methode liefert Ergebnisse mit höherer Zuverlässigkeit als die zwei anderen Methoden, wie sie zur Bewertung der Wärmeübertragung erforderlich sind. Außerdem ist es mit dieser Betrachtungsweise leichter, einen guten Vergleich zwischen den Wärmestromverläufen der eindimensionalen Berechnungen aus diesem Kapitel und den Wärmestromverläufen der zwei- und dreidimensionalen Berechnungen aus Kapiteln 4 und 5 in einem Jahrgang zu schaffen.

### 3.2 Fundamentplatte nicht unterkellert

Um die Geometrie bei der Fundamentplatte auf dem Erdreich zu berücksichtigen, wurde ein Parameter eingeführt. Es handelt sich um das sogenannte charakteristische Bodenplattenmaß  $B'$ , das durch den exponierten Umfang der Bodenplatte  $P$  und der Bodenplattenfläche  $A$  definiert ist (Formel 3.6).

$$B' = \frac{A}{0,5P} \quad (3.6)$$

- $B'$  – charakteristisches Bodenplattenmaß [m]
- $A$  – Bodenplattenfläche [m<sup>2</sup>]
- $P$  – exponierter Umfang der Bodenplatte [m]

Das charakteristische Bodenplattenmaß definiert, ob es sich bei einer Fundamentplatte um eine mit quadratischer Form mit höherem Wärmedurchgangswiderstand oder um eine schmale Fundamentplatte mit größeren Wärmeströmen zu den Rändern handelt. [15]

In der Gleichung für die Berechnung des stationären thermischen Leitwerts  $H_g$  fließt der Wärmedurchlasswiderstand ein. Um den Wärmedurchlasswiderstand zu berechnen, wird noch ein Parameter eingefügt, nämlich die wirksame Dicke der Bodenplatte  $d_t$ . Die wirksame Dicke der Bodenplatte wird nach Formel 3.7 kalkuliert.

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (3.7)$$

- $d_t$  – wirksame Dicke der Bodenplatte [m]

- $w$  – Gesamtdicke der Wände [m]
- $R_{si}, R_{se}$  – Wärmeübergangswiderstand innen bzw. außen nach EN ISO 6946 [ $m^2K/W$ ]
- $R_f$  – Wärmedurchlasswiderstand der Bodenplatte [ $m^2K/W$ ]
- $\lambda$  – Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches [ $W/(m \cdot K)$ ]

Laut Norm gibt es zwei Typen von Bodenplatten, je nach ihrer Wärmedämmung:

- Ungedämmte und leicht gedämmte Bodenplatten mit  $d_t < B'$
- Gut gedämmte Bodenplatten mit  $d_t \geq B'$

Der Wärmedurchgangskoeffizient für ungedämmte und leicht gedämmte Bodenplatten wird nach Formel 3.8 berechnet:

$$U = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1\right) \quad (3.8)$$

- $U$  – Wärmedurchgangskoeffizient [ $W/(m^2K)$ ]
- $\lambda$  – Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches [ $W/(m \cdot K)$ ]
- $d_t$  – wirksame Dicke der Bodenplatte [m]
- $B'$  – charakteristisches Bodenplattenmaß [m]

Der Wärmedurchgangskoeffizient für gut gedämmte Bodenplatten wird nach Formel 3.9 berechnet:

$$U = \frac{\lambda}{0,457B' + d_t} \quad (3.9)$$

- $U$  – Wärmedurchgangskoeffizient [ $W/(m^2K)$ ]
- $\lambda$  – Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches [ $W/(m \cdot K)$ ]
- $d_t$  – wirksame Dicke der Bodenplatte [m]
- $B'$  – charakteristische Bodenplattenmaß [m]

### 3.3 Konditionierter Keller

Die Wärmeströme des konditionierten Kellers, berechnet nach Formel 3.2 anhand der Monatsmittel-Temperaturen werden in Abschnitt 3.7.3 graphisch dargestellt. Der Unterschied bei der Berechnung der Wärmeströme zwischen den nicht unterkellerten Modellen und den Modellen mit konditioniertem Keller wird in den nächsten Schritten erläutert.

Zuerst muss das charakteristische Bodenplattenmaß des Kellers nach Formel 3.6 ermittelt werden. In einem weiteren Schritt wird der Wärmedurchgangskoeffizient  $U_{bf}$  berechnet. Hier unterscheidet die Norm zwischen ungedämmten/leicht gedämmten und gut gedämmten Keller-Bodenplatten und der Koeffizient wird nach Formel 3.10 bzw. 3.11. berechnet. Der Wärmedurchgangskoeffizient  $U_{bf}$  wird durch die Parameter  $d_t$ ,  $z$  und  $B'$  bestimmt.

$$U_{bf} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t + 0,5z} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t + 0,5z} + 1\right) \quad (3.10)$$

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457B' + d_t + 0,5z} \quad (3.11)$$

$U_{bf}$  – Wärmedurchgangskoeffizient der Keller-Fundamentplatte [W/(m<sup>2</sup>K)]  
 $\lambda$  – Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches [W/(m·K)]  
 $d_t$  – wirksame Dicke der Keller-Bodenplatte [m]  
 $B'$  – charakteristisches Bodenplattenmaß [m]  
 $z$  – Tiefe der Keller-Fundamentplatte unterhalb der Erdreichoberfläche [m]

Nach der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten der Keller-Bodenplatten wird der Wärmedurchgangskoeffizient der Kellerwand  $U_{bw}$  nach Formel 3.12 bestimmt.

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z}\right) \ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right) \quad (3.12)$$

$U_{bw}$  – Wärmedurchgangskoeffizient der Kellerwand [W/(m<sup>2</sup>K)]  
 $\lambda$  – Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches [W/(m·K)]  
 $d_t$  – wirksame Dicke der Keller-Bodenplatte [m]  
 $d_w$  – wirksame Dicke der Kellerwand [m]  
 $B'$  – charakteristisches Bodenplattenmaß [m]  
 $z$  – Tiefe der Keller-Fundamentplatte unterhalb der Erdreichoberfläche [m]

Der Parameter  $d_w$ , welcher vom Wärmedurchgangskoeffizienten der Kellerwand abhängig ist, ist die wirksame Gesamtdicke der Kellerwand und wird nach Formel 3.13 bestimmt.

$$d_w = \lambda(R_{si} + R_w + R_{se}) \quad (3.13)$$

$d_w$  – wirksame Gesamtdicke der Kellerwand [m]  
 $R_{si}, R_{se}$  – Wärmeübergangswiderstand innen und außen nach EN ISO 6946 [m<sup>2</sup>K/W]  
 $R_w$  – Wärmedurchlasswiderstand der Kellerwand [m<sup>2</sup>K/W]  
 $\lambda$  – Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches [W/(m·K)]

Der stationäre Wärmeübergangskoeffizient  $H_g$  ergibt sich nach folgender Formel.

$$H_g = \underbrace{(A \cdot U_{bf})}_{\text{Keller-Fundamentplatte}} + \underbrace{(z \cdot P \cdot U_{bw})}_{\text{Kellerwand}} + \underbrace{(P \cdot \psi_g)}_{\text{Wärmebrücke}} \quad (3.14)$$

$H_g$  – stationärer thermischer Leitwert [W/K]  
 $A$  – Bodenplattenfläche [m<sup>2</sup>]  
 $U_{bf}$  – Wärmedurchgangskoeffizient der Keller-Fundamentplatte [W/(m<sup>2</sup>K)]  
 $U_{bw}$  – Wärmedurchgangskoeffizient der Kellerwand [W/(m<sup>2</sup>K)]

- $z$  – Tiefe der Keller-Fundamentplatte unterhalb der Erdoberfläche [m]
- $P$  – exponierter Umfang der Fundamentplatte [m]
- $\psi_g$  – längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m·K)]

Es ist zu erkennen, dass sich die Gleichung aus drei Teile zusammensetzt. Der erste Teil bezieht sich auf den Einfluss der Keller-Fundamentplatte, der zweite auf den der Kellerwänden und der dritte Teil deckt die Einflüsse der Wärmebrücken ab.

Der periodische Wärmeübergangskoeffizient infolge der Schwankung der Innentemperaturen  $H_{pi}$  wird bei der Berechnung der Wärmeströme in dieser Arbeit vernachlässigt, weil die Innentemperatur des konditionierten Kellers als konstant angenommen wird.

Die Gleichung zum periodischen Wärmeübergangskoeffizienten infolge der Schwankung der Außentemperaturen  $H_{pe}$  besteht aus zwei Teilen. Das erste Teil der Gleichung bezieht sich auf die Keller-Bodenplatten, der zweite auf die Kellerwände (Formel 3.15).

$$H_{pe} = 0,37 \cdot P \lambda \left[ \underbrace{e^{-\frac{z}{\lambda}} \ln\left(\frac{\delta}{d_t} + 1\right)}_{\text{Keller-Bodenplatte}} + 2 \underbrace{\left(1 - e^{-\frac{z}{\lambda}}\right) \ln\left(\frac{\delta}{d_w} + 1\right)}_{\text{Kellerwand}} \right] \quad (3.15)$$

- $H_{pe}$  – äußerer harmonischer thermischer Leitwert [W/K]
- $\lambda$  – Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches [W/(mK)]
- $d_t$  – wirksame Dicke der Keller-Bodenplatte [m]
- $d_w$  – wirksame Gesamtdicke der Kellerwand [m]
- $z$  – Tiefe der Keller-Fundamentplatte unterhalb der Erdoberfläche [m]
- $\delta$  – periodische Eindringtiefe [m]
- $P$  – der exponierte Umfang der Bodenplatte [m]

### 3.4 Unkonditionierter Keller

Wie beim konditionierten Keller wird zuerst das charakteristische Bodenplattenmaß  $B'$  der Keller-Fundamentplatte nach Formel 3.6 bestimmt. Hier gilt dieselbe Regel wie beim konditionierten Keller, dass der Wärmedurchgangskoeffizient der Bodenplatte  $U_{bf}$  entweder für gut gedämmte Bodenplatte nach Formel 3.11 oder für ungedämmte/leicht gedämmte Bodenplatten nach Formel 3.10 ermittelt wird. Nachfolgend wird der Wärmedurchgangskoeffizient der Kellerwand  $U_{bw}$  nach der gleichen Formel wie beim konditionierten Keller, nämlich über die wirksame Gesamtdicke (Formel 3.12), berechnet. Der stationäre Wärmeübergangskoeffizient  $H_g$  wird ebenfalls nach der gleichen Formel 3.14 bestimmt. Die periodischen Wärmeübergangskoeffizienten infolge der Schwankung der Außentemperaturen  $H_{pe}$  bzw. der Innentemperaturen  $H_{pi}$  werden anhand Formel 3.16 und 3.17 ermittelt.

$$H_{pe} = A \cdot U_f \frac{0,37 \cdot P \lambda \left(2 - e^{-\frac{z}{\delta}}\right) \ln\left(\frac{\delta}{d_t} + 1\right) + h P U_w + 0,33 \cdot n \cdot V}{(A + z \cdot P) \frac{\lambda}{\delta} + h \cdot P \cdot U_w + 0,33 \cdot n \cdot V + A \cdot U_f} \quad (3.16)$$

$$H_{pi} = \left[ \frac{1}{A \cdot U_f} + \frac{1}{(A + z \cdot P) \frac{\lambda}{\delta} + h \cdot P \cdot U_w + 0,33 \cdot n \cdot V} \right]^{-1} \quad (3.17)$$

$H_{pi}$  – innerer harmonischer thermischer Leitwert [W/K]

$H_{pe}$  – äußerer harmonischer thermischer Leitwert [W/K]

$A$  – Bodenplattenfläche [m<sup>2</sup>]

$U_f$  – Wärmedurchgangskoeffizient der Bodenplatte [W/(m<sup>2</sup>K)]

$U_w$  – Wärmedurchgangskoeffizient der Kellerwand [W/(m<sup>2</sup>K)]

$\lambda$  – Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches [W/(mK)]

$d_t$  – wirksame Dicke der Bodenplatte [m]

$\delta$  – periodische Eindringtiefe [m]

$P$  – exponierter Umfang der Bodenplatte [m]

$V$  – Luftvolumen des Kellergeschosses [m<sup>3</sup>]

$h$  – Höhe der Bodenplattenoberfläche oberhalb der Oberfläche des Erdreiches [m]

$n$  – Luftwechselrate des Kellers [h<sup>-1</sup>]

### 3.5 Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten $\psi_g$

Bei der Berechnung der  $\psi_g$ -Werte von erdberührten Bodenplatten reicht in vielen Fällen eine stationäre Näherung aus. Die andere Möglichkeit den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten zu berechnen, ist die Durchführung einer instationären dynamischen Simulation. Mit den dynamischen Simulationen ist es möglich genauere Ergebnisse zu bestimmen, was jedoch mit einem zusätzlichen Aufwand verbunden ist. Darüber hinaus ist die zu erwartende Genauigkeit einer zwei- oder dreidimensionalen instationären Simulation aufgrund der meist nur ungenau bekannten thermischen Eigenschaften des Erdreiches nicht so hoch. [12]

Das Programm HTflux [7] liefert eine Methode um die  $\psi_g$ -Werte der erdberührten Bauteile zu berechnen. Diese Methode basiert auf den Berechnungsverfahren, die in den Normen EN ISO 13370 [1] und EN ISO 10211 [10] beschrieben werden. Nach dieser Methode wird der  $\psi_g$ -Wert mit folgender Formel (6.1) berechnet.

$$\psi_g = L_{2D} - \underbrace{l_w \cdot U_w}_{\text{Außenwand}} - \underbrace{\frac{B'}{2} \cdot U_g}_{\text{Fundamentplatte}} \quad (6.1)$$

$\psi_g$  – längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m·K)]

$L_{2D}$  – zweidimensionaler Leitwert [W/K]

$l_w$  – Außenwandlänge [m]

$U_w$  – Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand [W/(m<sup>2</sup>K)]

$B'$  – charakteristisches Bodenplattenmaß [m]

$U_g$  – Wärmedurchgangskoeffizient der Fundamentplatte [W/(m<sup>2</sup>K)]

Der zweidimensionale Leitwert  $L_{2D}$  wird durch eine stationäre Berechnung eines gesamten Details einschließlich des umgebenden Erdreichs in HTflux [7] ermittelt. Die Werte  $U_g$  und  $U_w$  sind die Wärmeübergangskoeffizienten der Fundamentplatten bzw. der Außenwand, und  $B'$  ist das Bodenplattenmaß, wie schon in Abschnitt (3.2) erläutert. Dabei ist wichtig, dass die Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_g$  und  $U_w$  für die Ermittlung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten verwendet werden, nicht der U-Wert der Bauteilaufbauten. Der Einfluss des U-Wertes des Bauteils wird zusammen mit dem Einfluss der wärmetechnischen Eigenschaft des Erdreichs in der Gleichung für die Berechnung von  $U_g$  und  $U_w$  berücksichtigt.

Formel (6.1) gilt nur für nicht unterkellerte Systeme. Bei der Berechnung von  $\psi_g$ -Werten bei einem Kellergeschoss wird die folgende Formel (6.2) benutzt.

$$\psi_g = L_{2D} - \underbrace{l_w \cdot U_w}_{\text{Außenwand}} - \underbrace{l_{bw} \cdot U_{bw}}_{\text{Kellerwand}} - \underbrace{\left(\frac{B'}{2} + w\right) \cdot U_g}_{\text{Kellerbodenplatte}} \quad (6.2)$$

$\psi_g$  – längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m·K)]

$L_{2D}$  – zweidimensionaler Leitwert [W/K]

$l_w$  – Außenwandlänge [m]

$U_w$  – Wärmedurchgangskoeffizient der Außenwand [W/(m<sup>2</sup>K)]

$l_{bw}$  – Kellerwandlänge [m]

$U_{bw}$  – Wärmedurchgangskoeffizient der Kellerwand [W/(m<sup>2</sup>K)]

$B'$  – charakteristisches Bodenplattenmaß [m]

$w$  – Außenwanddicke [m]

$U_g$  – Wärmedurchgangskoeffizient der Fundamentplatte [W/(m<sup>2</sup>K)]

Es ist anzumerken, dass die Gleichung durch zwei Teile bestimmt wird. Ein Teil bezieht sich auf die Werte, die mit der Kellerwand gekoppelt sind, der andere Teil steht in Verbindung mit der Kellerbodenplatte.

In dieser Arbeit wurden  $\psi_g$ -Werte für jedes betrachtete Modell berechnet und für die Berechnung der Wärmeströme nach den mittleren monatlichen Innen- und Außentemperaturen herangezogen.

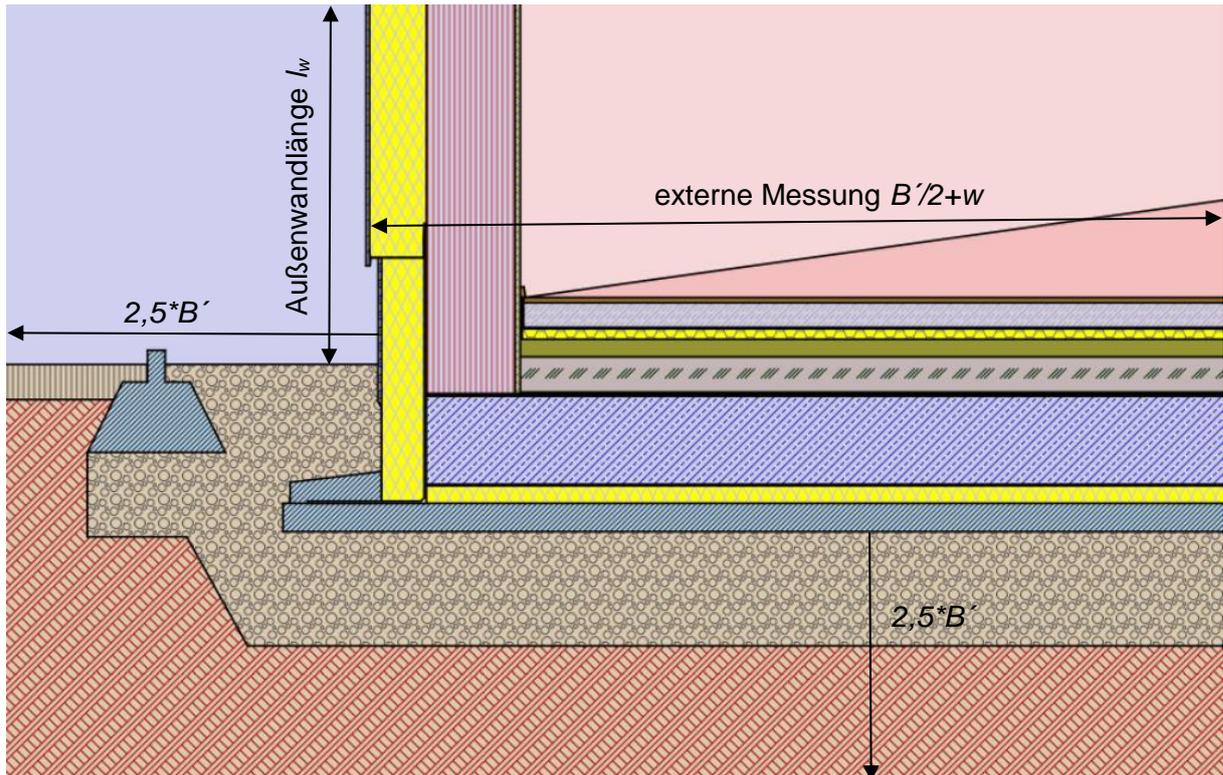
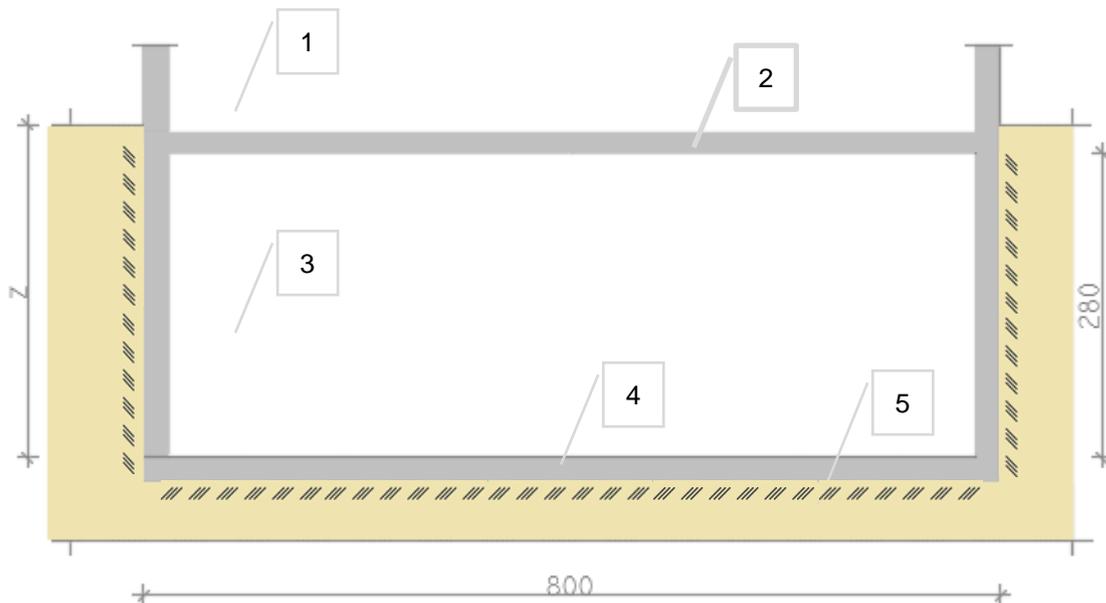


Abb. 9: Skizze zur Berechnung der  $\psi_g$ -Werte in HTflux

Für die Berechnung des  $\psi_g$ -Werts in HTflux ist es erforderlich, ein Bauteil mit der Hälfte des charakteristischen Bodenplattenmaßes zu modellieren. Das umgebende Erdreich wird dabei mitmodelliert, sodass eine Quadratform mit den 2,5-fachen Abmessungen des charakteristischen Bodenplattenmaßes entsteht. Die Berechnung des  $\psi_g$ -Werts mit externen Messungen ergibt andere Ergebnisse als mit internen Messungen (bis innerer Oberfläche der Wand). Es ist empfehlenswert, die Berechnung der  $\psi_g$ -Wert mit externen Messungen durchzuführen, wie es in Abbildung 9 für das nicht unterkellerte Modell 1-1 dargestellt ist. Diese Vorgehensweise gilt auch für andere Modelle.

### 3.6 Randbedingungen für Berechnung

Der vorliegende Abschnitt befasst sich mit den Randbedingungen für die Ermittlung der Wärmeverluste anhand der Näherungsmethode mit  $\psi_g$ -Werten laut EN ISO 13370 [1] für die Modelle, die in Kapitel 2 dargestellt sind. Die verwendeten Bauteilaufbauten wurden aus dem Abschnitt 2.1 übernommen. Was in jenem Abschnitt noch nicht definiert war, sind die Bodenplattenlänge und die Höhe der Kellerwand bei unterkellerten Modellen. Die Bodenplattenlänge für jedes Modell beträgt 8 Meter und die Höhe der Kellerwände 2,8 Meter.



- |   |   |
|---|---|
| 1 Außenwand ( $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ )   | 4 Fundamentplatte ( $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$ ) |
| 2 Kellerdecke ( $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$ ) | 5 Erdreich ( $R_{se} = 0,00 \text{ m}^2\text{K/W}$ )        |
| 3 Kellerwand ( $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ )  |   |

Abb. 10: Skizze der unterkellerten Modelle

Um die Berechnung durchzuführen, ist es notwendig die Wärmeübergangswiderstände zu definieren. Es werden folgende Wärmeübergangswiderstände gemäß der Norm EN ISO 6946 [4] angenommen:

- |   |         |
|---|---------|
| - $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ (horizontaler Wärmefluss) | } innen |
| - $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$ (Wärmefluss nach unten)   |         |
| - $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ (horizontaler Wärmefluss) | } außen |
| - $R_{se} = 0,00 \text{ m}^2\text{K/W}$ (gegen Erdreich)          |         |

Was in der EN ISO 13370 [1] auffällt, ist die Tatsache, dass die Beispielrechnungen im Anhang K mit einem Wärmeübergangswiderstand gegen das Erdreich mit einem Wert von  $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  berechnet werden. Um den Zusammenhang zwischen dem Wärmeübergangswiderstand und dem Wärmestrom zu bestimmen, ist es jedoch erforderlich, die maßgeblichen Parameter wie

wirksamen Dicken  $d_t$  und  $d_w$ , die U-Werte der erdberührten Bauteile wie auch die stationären und harmonischen Leitwerte mit den Werten von  $0,00m^2KW$  und  $0,04m^2KW$  zu berechnen und zu vergleichen. Der Unterschied zwischen den Ergebnissen zu den genannten Parametern werden in Kapitel 6.1 ausführlich dargestellt.

An dieser Stelle muss man betonen, dass in dieser Arbeit als Wärmeübergangswiderstand gegen das Erdreich der Wert  $0,0m^2KW$  für alle Modelle und Berechnungen der Wärmeströme angewendet wurde.

Die wärmetechnischen Eigenschaften des Erdreichs wurden laut Norm mit folgenden Werten angenommen:

- Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  mit  $2,0W/(m \cdot K)$
- Die volumenbezogene Wärmekapazität  $\rho \cdot c$  mit  $2 \cdot 10^6 J/(m^3 \cdot K)$
- Die spezifische Wärmekapazität  $c$  mit  $1000J/(kg \cdot K)$

Es wurde ein Bodentyp mit den oben genannten Eigenschaften für die Berechnung der Wärmeströme ausgewählt. In den Formeln (in Abschnitt 3.1 bis 3.5) kann nur ein Bodentyp berücksichtigt werden. Dabei wurden die verschiedenen Bodentypen bei den Simulationen im zweidimensionalen Programm mitmodelliert (Abschnitt 4.2).

Die Klimadaten für den angenommenen Standort Graz wurden von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik(ZAMG) [5] zur Verfügung gestellt. Die monatlichen Durchschnittstemperaturen der Außenluft finden sich in Tabelle 1, die jährliche Durchschnittstemperatur beträgt  $9.5^\circ C$ .

Tab. 1: Monatsmittel Temperaturen

Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
-1.0	1.0	5.1	9.6	14.6	17.7	19.5	18.9	14.7	9.4	3.7	0.1

Die Innentemperatur für konditionierte Raum wird mit  $20^\circ C$  angenommen. [13] Für unconditionierte Räume, darunter ein unconditionierter gedämmter Keller, wird die Innenraumtemperatur als gewichtete Temperatur zwischen der Außentemperatur und der Temperatur des konditionierten Raumes festgelegt. Diese gewichtete Temperatur wird durch Temperaturfaktoren anhand der ÖNORM B 8110-6 [6] definiert. Für die unconditionierte Räume wird der folgende Temperaturfaktor (F) angenommen:

- unconditionierter, gedämmter Keller:  $F=0,50$

Ein Temperaturfaktor von  $F=0,5$  bedeutet, dass sich die Temperatur des unconditionierten Kellers als gewichtete Summe mit 50% Außentemperatur und 50% Innentemperatur des konditionierten Raums festgelegt wird.

## 3.7 Ergebnisse

### 3.7.1 Allgemeines

Die Wärmeströme mit bekannter mittlerer monatlicher Innen- und Außentemperatur anhand der EN ISO 13370 [1] wurden analytisch mit den Gleichungen aus den Abschnitten 3.1 bis 3.4 berechnet. Bei dieser Methode für die Ermittlung des Wärmestroms handelt sich um eine Näherung. Das wärmetechnische Verhalten der erdberührten Bauteile stellt ein dreidimensionales Problem dar. Die Berechnungsverfahren, die in der Norm beschrieben sind, lösen das Problem eindimensional. Die Geometrie der Fundamentplatte wird durch das charakteristische Bodenplattenmaß  $B'$  ersetzt. Auf diese Weise werden die Wärmeströme mit einem theoretisch unendlich ausgedehnten Modell mit der Breite der charakteristischen Bodenplattenmaß  $B'$  definiert. Der Einfluss des umgebenden Erdreiches wird durch die wirksame Gesamtdicke der Fundamentplatte berücksichtigt. Damit wird die Bodenkonstruktion zusammen mit dem Erdreich in diesem Modell als eine einzige Schicht, mit einem Wärmedurchlasswiderstand definiert. Die gleiche Regel gilt auch für die wirksame Gesamtdicke der Kellerwand. Um die Einflüsse der Wärmebrücken zu berücksichtigen, wird in der Gleichung für die Ermittlung des stationären thermischen Leitwerts  $H_g$  der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient  $\psi_g$  einbezogen. Dadurch lassen sich die Ergebnisse der Wärmeströme den dreidimensionalen Ergebnissen annähern.

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Wärmestromverläufe und Wärmeverluste für die betrachteten Systeme in Form von Diagrammen dargestellt. Auf Grund der Vielzahl der Modelle mit unterschiedlichen Aufbauvarianten, wird für jedes Modell eine andere Farbe für die Darstellung der Ergebnisse gewählt.

### 3.7.2 Nicht unterkellert

#### Modelle 1-1, 1-2 und 1-3

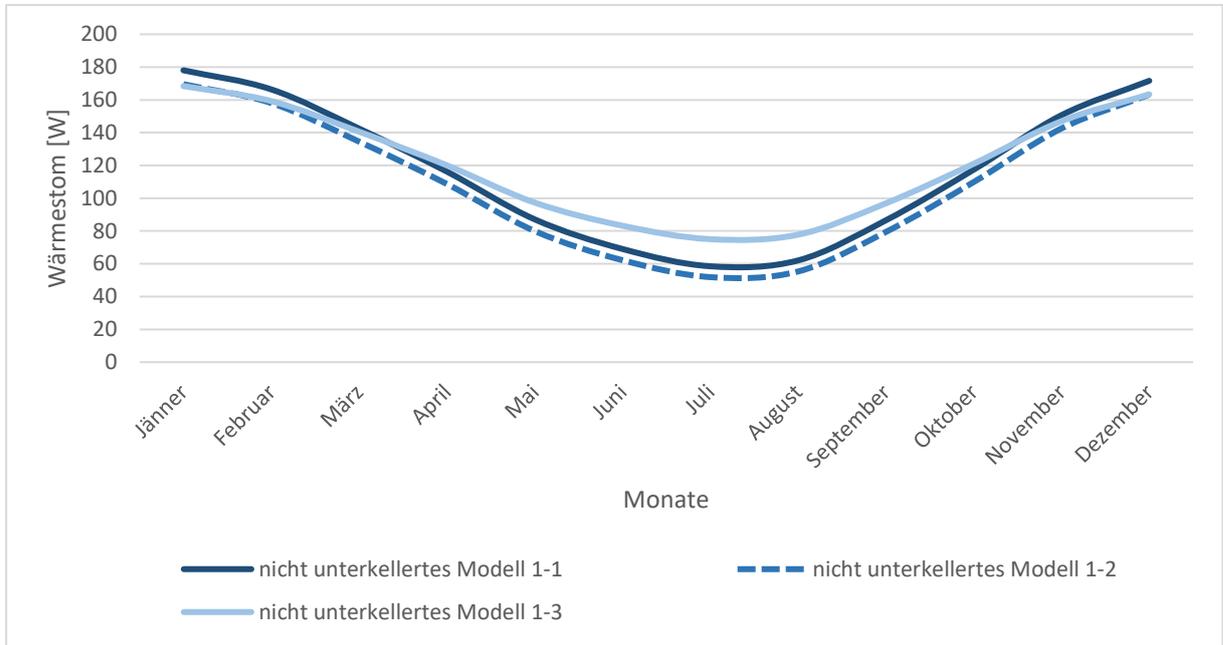


Abb. 11: Wärmeströme in  $W$  der nicht unterkellerten Modelle 1 berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen

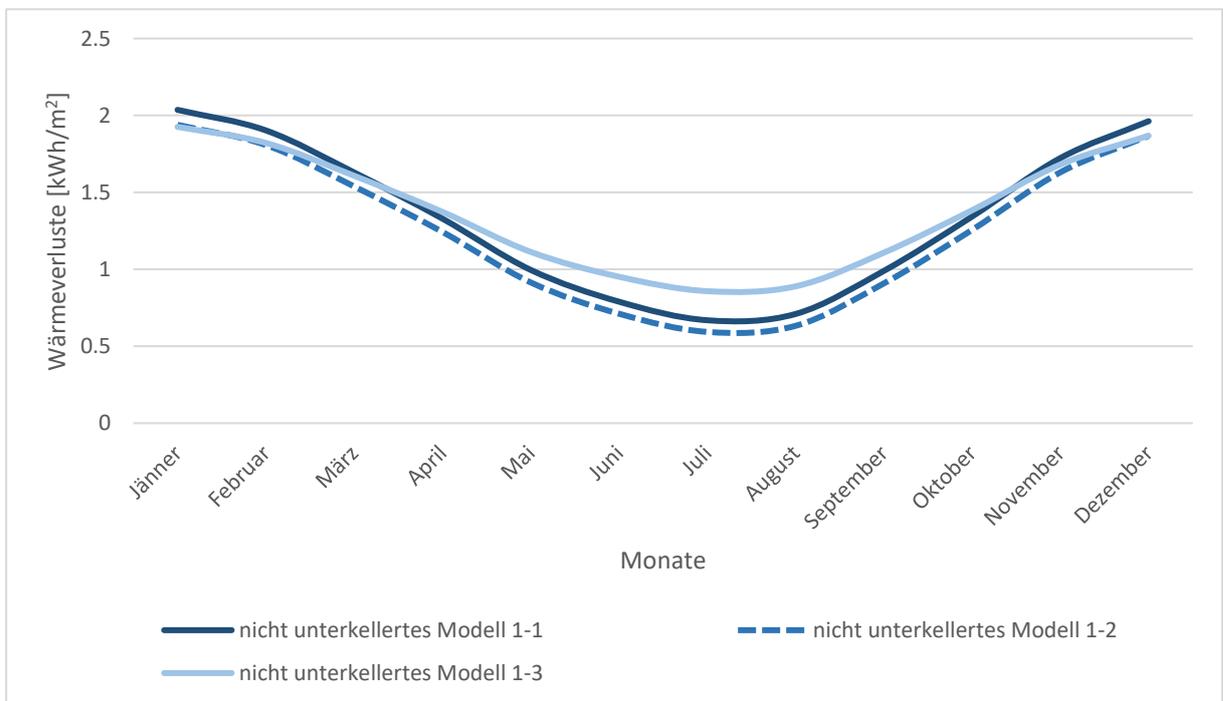


Abb. 12: Wärmeverluste in  $kWh/m^2$  der nicht unterkellerten Modelle 1 berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen

In Abbildung 11 sind die Verläufe des Wärmestroms für die unterschiedlichen Aufbauten dargestellt. Im Diagramm ist zu erkennen, dass das Modell 1-1 die größten Wärmeströme im Jänner aufweist, in dem ein Monatsmittelwert von  $178W$  erreicht wird. Die Änderung der Außentemperatur im Jahresverlauf führt dazu, dass der Wärmestrom im Juli einen Wert von  $58W$  aufweist. Die Ergebnisse des Modells 1-2 haben eine geringe Abweichung im Wärmestromverlauf gegenüber denen des Modells 1-1. Der Verlauf schwankt im Bereich von  $169W$  im Jänner bis  $51W$  im Juli. Diese Abweichungen liegen einerseits am Unterschied der stationären Wärmeübergangskoeffizienten, die vom  $\psi_g$ -Wert abhängig sind, andererseits am Unterschied der U-Werte des Bodenplattenaufbaus. Das Modell 1-3 mit  $30cm$  Schaumglasschotter als Wärmedämmung zeigt die geringsten Monatsmittel-Wärmeströme im Jänner mit einem Wert von  $168W$ . Stellt man die  $\psi_g$ -Werte der Modelle gegenüber, ist erkennbar, dass der  $\psi_g$ -Wert des Modells 1-3 vielfach größer als der von Modell 1-1 und 1-2 ist (Tabelle 2). Außerdem ist der äußere harmonische thermische Leitwert  $H_{pe}$  bei Modell 1-3 niedriger als bei den anderen beiden Modellen (Tabelle 2). Demzufolge sind die Wärmeströme in der Periode von Mai bis Oktober beim Modell 1-3 größer als bei Modell 1-1 und 1-2.

In Abbildung 12 sind die Verläufe der Wärmeverluste in  $kWh/m^2$  für die nicht unterkellerte Modellgruppe 1 grafisch dargestellt. Dieses Diagramm hat das Ziel, die Ergebnisse der Gebäudeverluste in einer Einheit darstellen, in der die Energieeffizienz der Bauteile in Bezug auf einen Quadratmeter der Fundamentplatte berechnet wird. Anhand der Wärmeverluste in der Heizperiode von November bis einschließlich Februar lässt sich feststellen, dass das Modell 1-1 die größten Wärmeverluste aufweist. Auf der anderen Seite weist Modell 1-3 mit Schaumglasschotter die kleinsten Wärmeverluste auf.

Tab. 2:  $\psi_g$ -Wert und thermische Leitwerte für die nicht unterkellerte Modellgruppe 1

Nicht unterkellertes Modell	$\psi_g$ [W/(m·K)]	$H_g$ [W/K]	$H_{pi}$ [W/K]	$H_{pe}$ [W/K]
1-1	0,044	11,12	9,82	5,83
1-2	0,026	10,4	9,67	5,73
1-3	0,12	11,47	7,71	4,55

**Modelle 2-1, 2-2 und 2-3**

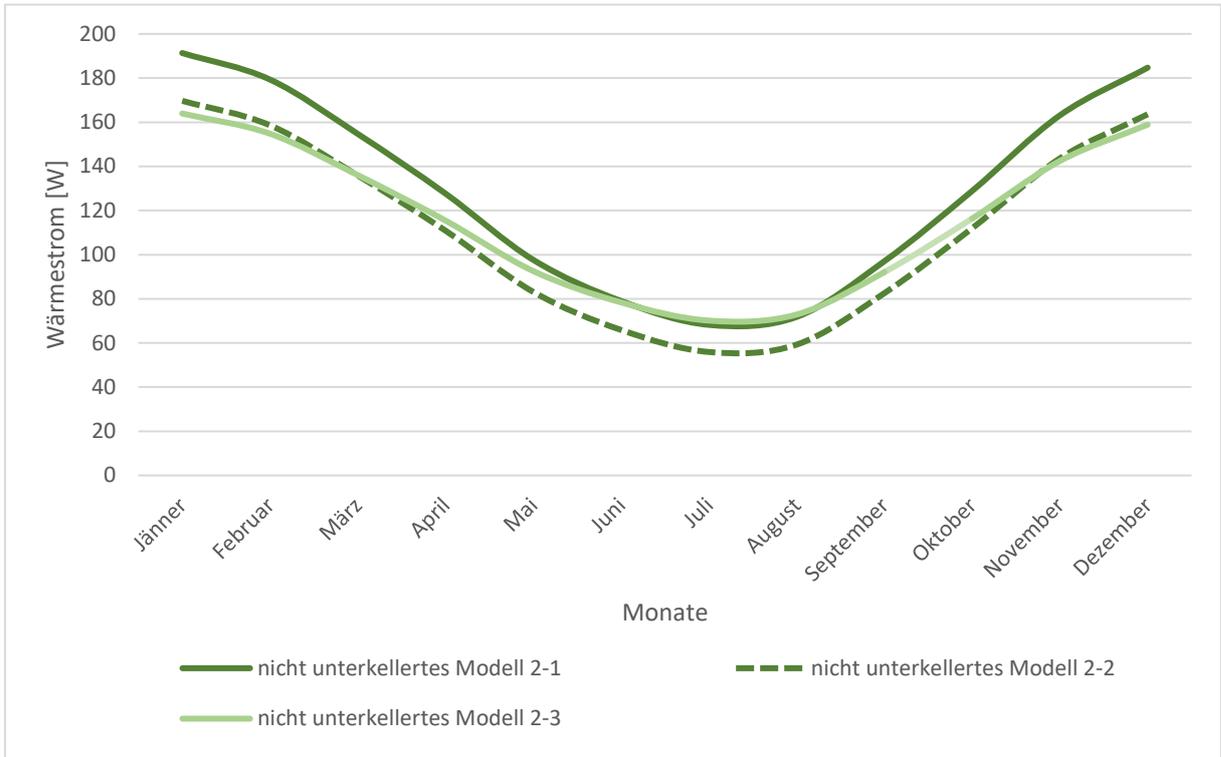


Abb. 13: Wärmeströme in  $W$  der nicht unterkellerten Modelle 2 berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen

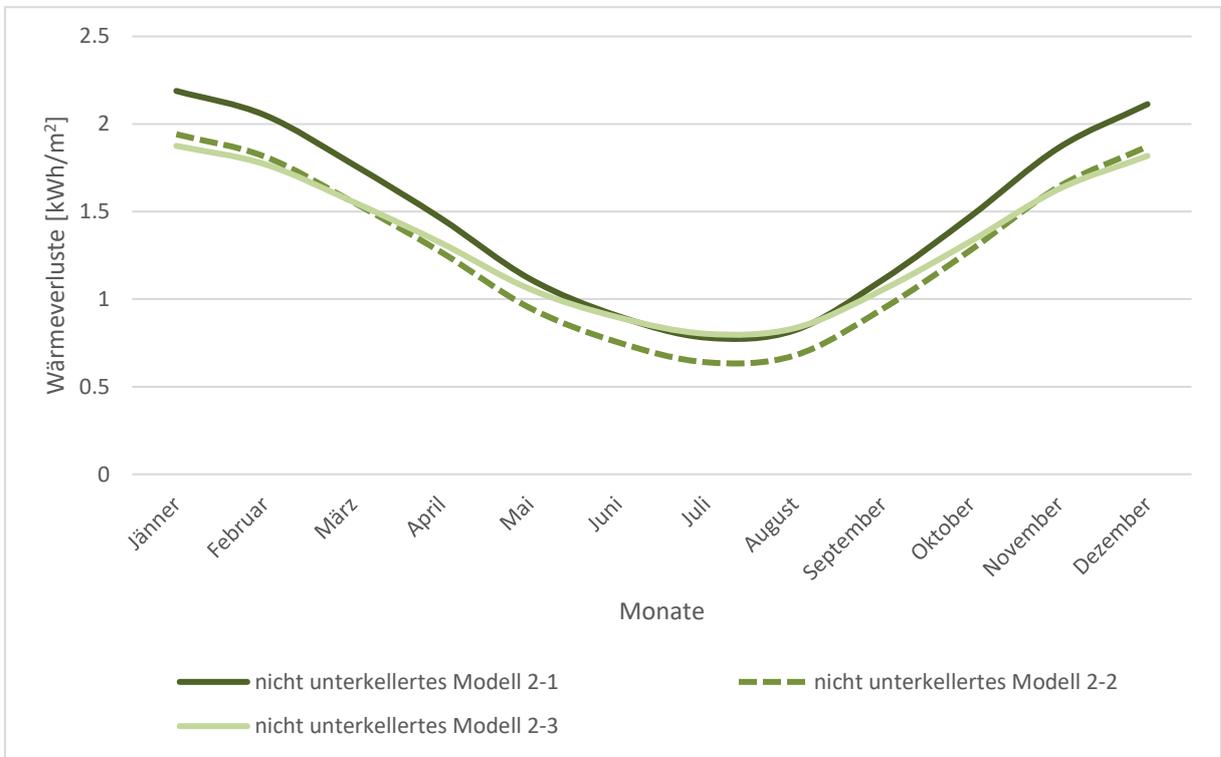


Abb. 14: Wärmeverluste in  $kWh/m^2$  der nicht unterkellerten Modelle 2 berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen

In Abbildung 13 werden die Verläufe der Wärmeströme für die nicht unterkellerte Modellgruppe 2 dargestellt. Für diese Modellgruppe ist charakteristisch, dass der Sockelbereich mit einer Frostschürze ausgebildet wurde. Die Änderung dieses Details hat zur Folge, dass sich der  $\psi_g$ -Wert ändert. Die stationäre Berechnung der  $\psi_g$ -Werte hat gezeigt, dass Modellgruppe 2 größere Werte als Modellgruppe 1 aufweist (Tabelle 4). Demzufolge sind auch die Wärmestromverluste bei diesen Modellen größer.

Wie bei Modellgruppe 1 zeigt sich, dass das Modell mit Bodenaufbau 1 die größten Wärmeströme aufweist, die sich im Bereich von 191W im Jänner bis 68W im Juli bewegen. Danach kommt das Modell 2-2 mit Wärmeströmen im Bereich von 169W bis 55W. Wenn man die Unterschiede zwischen den Wärmeströmen der Modelle 2-1 und 2-2 im Vergleich zu den Wärmeströmen der Modelle 1-1 und 1-2 betrachtet, sind die Unterschiede bei Modellgruppe 2 größer als bei Modellgruppe 1. Man kann erkennen, dass die Wärmeströme beim Modell mit Bodenaufbau 3 in der Heizperiode geringer als bei den anderen zwei Modellen derselben Modellgruppe sind: sie befinden sich im Bereich von 142W im November bis zu 154W im Februar.

In Abbildung 14 sind die Wärmeverluste der betrachteten Modelle, bezogen auf Quadratmeter der Fundamentplatte, dargestellt. Aus dem Diagramm lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass Modell 2-1 die größten und Modell 2-3 die kleinsten Wärmeverluste in der Heizperiode aufweist.

Tab. 3:  $\psi_g$ -Wert und thermische Leitwerte für die nicht unterkellerte Modellgruppe 2

Nicht unterkellertes Modell	$\psi_g$ [W/(m·K)]	$H_g$ [W/K]	$H_{pi}$ [W/K]	$H_{pe}$ [W/K]
2-1	0,069	12,21	10,11	6,01
2-2	0,042	10,61	9,36	5,55
2-3	0,135	11,63	7,75	4,57

Tab. 4: Unterschied zwischen den  $\psi_g$ -Werten der nicht unterkellerten Modelle

Nicht unterkellerte Modelle				
	$\psi_g$ [W/(m·K)]	Unterschied [%]	$H_g$ [W/K]	Unterschied [%]
1-1	0,044	36	11,12	9
2-1	0,069		12,21	
1-2	0,026	38	10,41	2
2-2	0,042		10,61	
1-3	0,120	11	11,47	1
2-3	0,135		11,63	

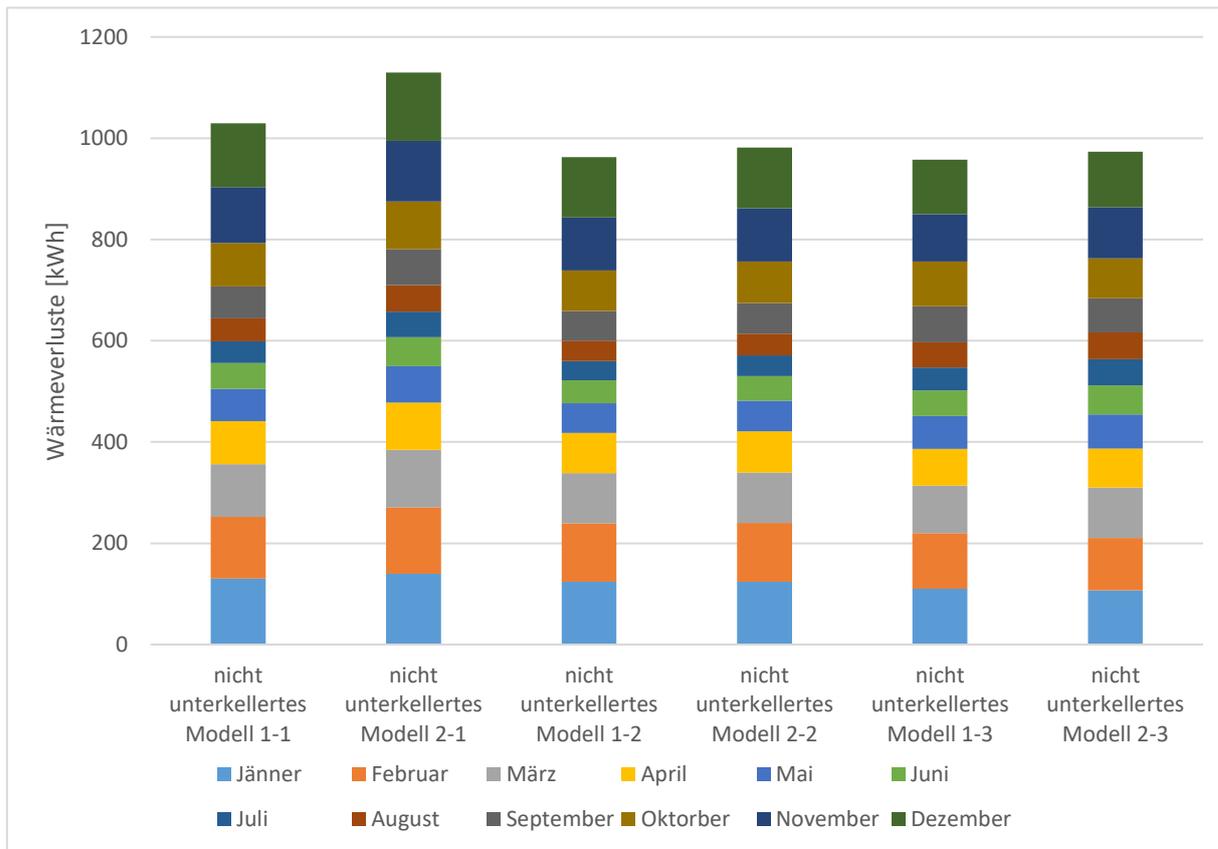


Abb. 15: Vergleich der Wärmeverluste zwischen nicht unterkellerte Modelle berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen

Aus Diagramm (Abb. 15) wird ersichtlich, dass im Jahresgang die Modelle mit der Frostschürze die größeren Gesamtwärmeverluste aufweisen. Eine Änderung der Detailausbildung führt zur Erhöhung des Wärmeverlustes. Diese Erhöhung ist von der Änderung des  $\psi_g$ -Wertes und den thermischen Leitwerten abhängig. Bei den Modellen mit Aufbau 1 ergibt sich eine Änderung der Wärmeverluste von 9%, bei den Modellen mit Aufbau 2 von 3%, bei den Modellen mit Schaumglasschotter um etwa 2%.

### 3.7.3 Konditionierter Keller

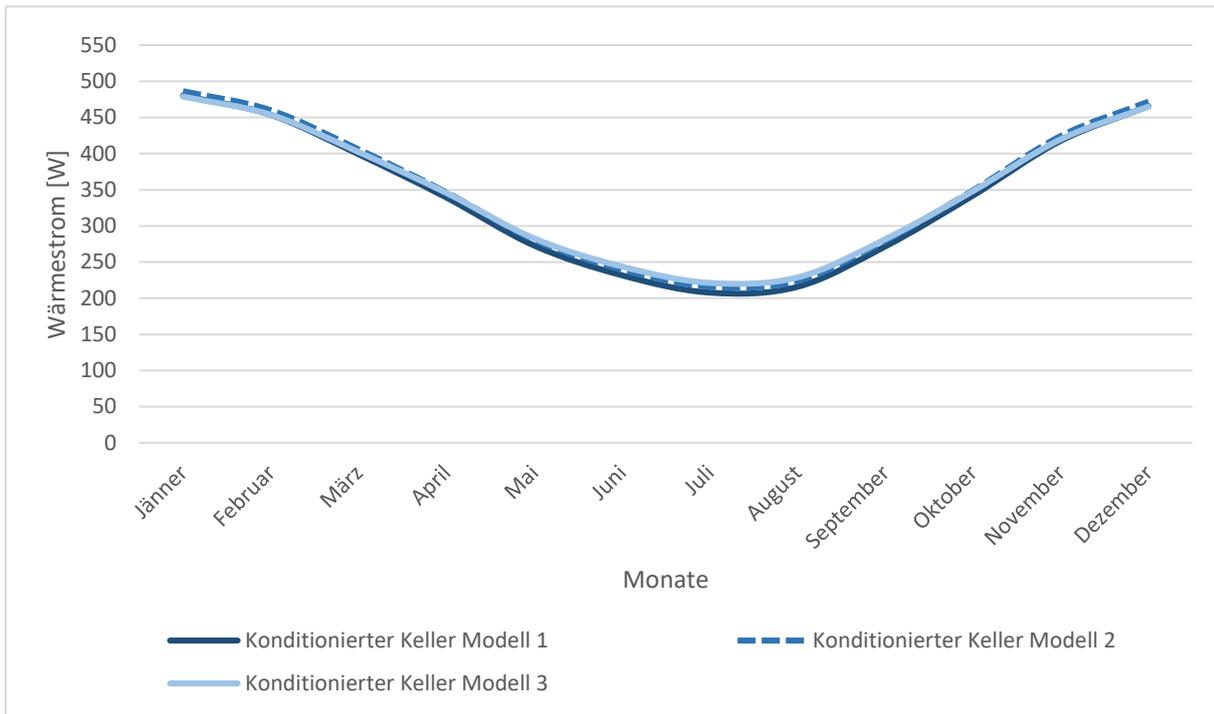


Abb. 16: Wärmeströme in  $W$  der konditionierten Keller Modelle berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen

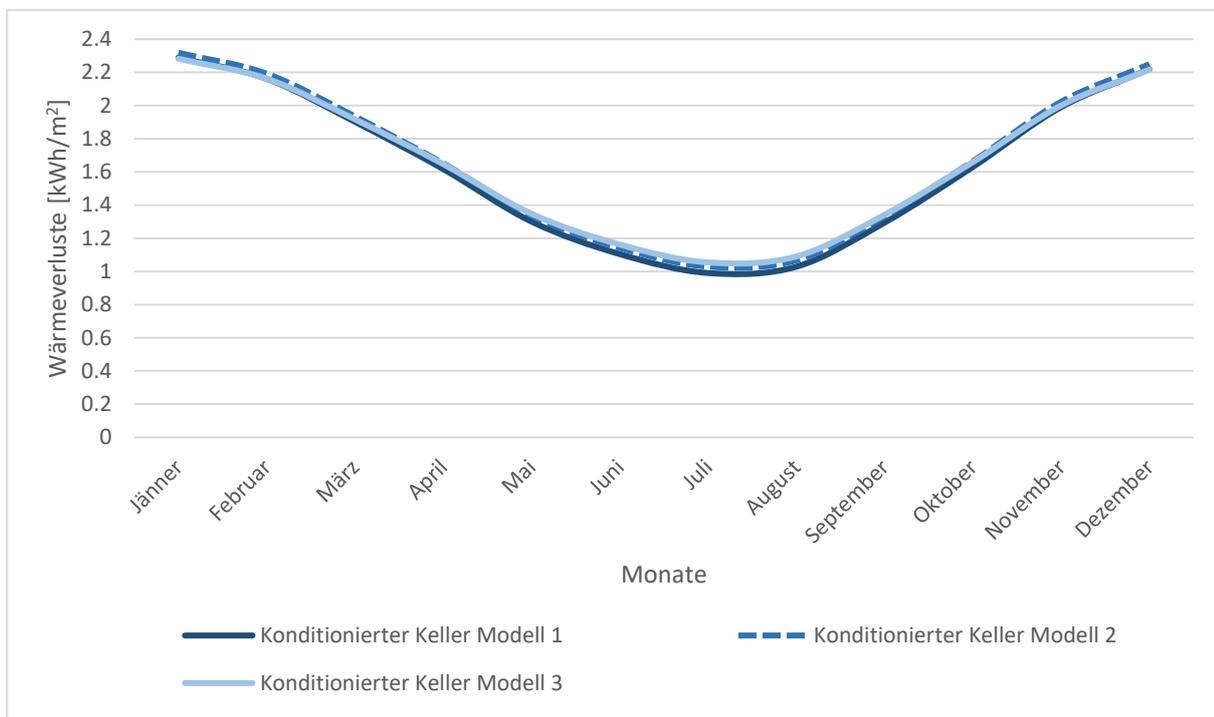


Abb. 17: Wärmeverluste in  $kWh/m^2$  der konditionierten Keller Modelle berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen

In Abbildung 16 sind die Ergebnisse für das zweite betrachtete System, den konditionierten Keller, dargestellt. Auf den ersten Blick ist erkennbar, dass die Wärmestromverläufe für alle drei konditionierten Keller-Modelle die gleiche Form aufweisen. Die Ursache für solche Wärmestromverläufe liegt in der Tatsache, dass die Wärmeübertragung durch die Kellerwände größer als durch die Kellerbodenplatte an das umgebende Erdreich ist. Wenn man zur Kenntnis nimmt, dass die Fläche von den Kellerwänden größer als die von der Kellerbodenplatte ist, und dass die Kellerwände einen höheren U-Wert als die Kellerbodenplatte aufweisen, könnten sich nur diese Ergebnisse bei instationärer Betrachtung ergeben. Demzufolge ist der Einfluss von unterschiedlichen Aufbauten der Fundamentplatte auf die Wärmeströme im Fall des konditionierten Kellers, wenn man die Formel 3.14 analysiert, nicht von so großer Bedeutung wie bei den nicht unterkellerten Modellen.

Der im Diagramm (Abb. 16) dargestellte Wärmestromverlauf zeigt, dass die Unterschiede zwischen Modelle 1 und 3 niedriger als bei den nicht unterkellerten Modellen mit dem gleichen Aufbau der Fundamentplatte sind. Die Wärmeströme erreichen im Jänner den Wert von  $480\text{ W}$  bzw. den Wert  $478\text{ W}$  und im Laufe der Zeit fällt der Wert auf  $207\text{ W}$  für Modell 1 bzw. auf  $210\text{ W}$  für Modell 2 im Juli. Es ergibt sich, dass auch bei dieser unterkellerten Konstruktion das Modell mit Bodenaufbau 3 größere Wärmeströme in Sommer mit dem Wert von  $221\text{ W}$  im Juli aufweist. Der Hintergrund für dieses Verhalten liegt in der Tatsache, dass die Wärmeverluste durch Kellerwände in Sommer kleiner sind als in Heizperiode und deswegen die Einflüsse der U- und  $\psi_g$ -Werte der Kellerbodenplatte spürbarer sind.

In Abbildung 17 sind die Wärmeverluste, bezogen auf Quadratmeter des gesamten Kellergeschosses, dargestellt.

### 3.7.4 Unkonditionierter Keller

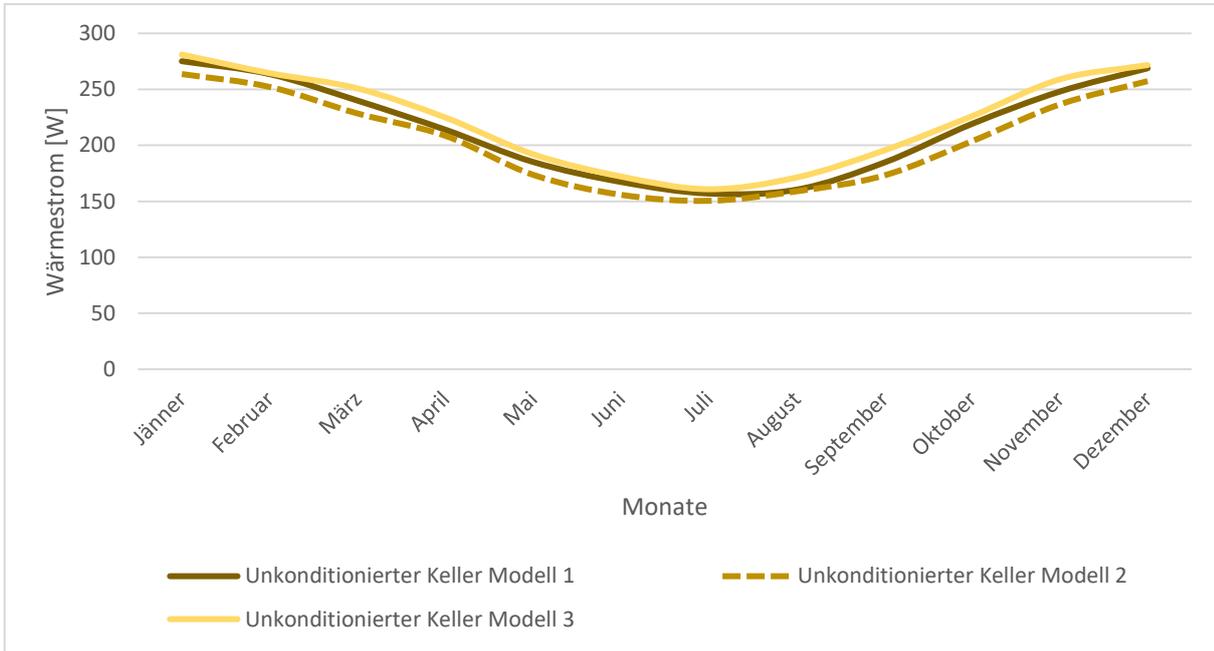


Abb. 18: Wärmeströme in  $W$  der unkonditionierten Keller Modelle berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen

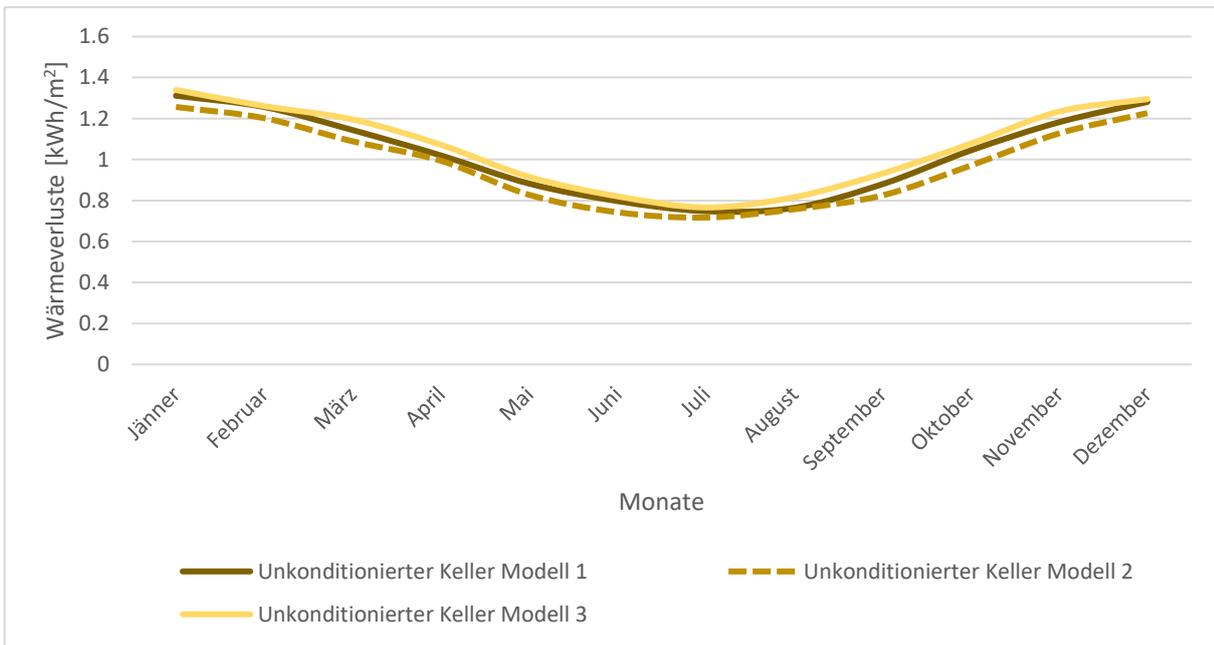


Abb. 19: Wärmeverluste in  $kWh/m^2$  der unkonditionierten Keller Modelle berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen

Die im Diagramm (Abb. 18) dargestellten Wärmestromverläufe für den unconditionierten Keller zeigen für alle drei Modelle niedrige Abweichungen der Wärmeströme in Jahresverlauf im Vergleich zu den konditionierten Keller Modellen. Die Ursache für dieses Verhalten liegt in der Tatsache, dass die Temperatur im unconditionierten Keller nicht konstant ist. Diese wurde als gewichtete Temperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur angenommen (Abschnitt 3.5). Infolge der Änderung des Kellerinnenklimas wird der Wärmestrom, berechnet nach Formel 3.2, auch durch Schwankungen der Innentemperatur beeinflusst.

Die Aufbauten der Kellerkonstruktion sind bei jedem Modell gleich. Demzufolge sind auch die U-Werte gleich. Der einzige Unterschied zwischen den Modellen ist durch die unterschiedliche Ausbildung der Kanten des Kellergeschosses gekennzeichnet (Abb. 8). Aber auch diese kleinen Unterschiede führen dazu, dass die Wärmeströme andere Werte aufweisen. Bei der Berechnung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\psi_g$  für die unterkellerten Konstruktionen (Abschnitt 3.5) wird ersichtlich, dass der einzige Parameter der sich ändert, der zweidimensionalen Leitwert  $L_{2D}$  ist (Tabelle 10). Dieser Parameter hängt bei der stationären Berechnung nur vom Wärmestrom und die Temperaturdifferenz zwischen den Innenraum und den Außenraum ab. Die Temperaturdifferenz bleibt bei jedem Modell gleich. Daraus lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass der zweidimensionalen Leitwert  $L_{2D}$  in direkter Beziehung zum Wärmestrom steht. Die anderen Parameter aus der Formel 6.2 weisen den gleichen Werten für alle drei Modelle auf. Es ist ersichtlich, dass das Modell mit der Wärmedämmung an der oberen Seite der Kellerdecke die größten Wärmeverluste aufweist. Der Wärmestrom von Modell 3 erreicht den Wert von 285W im Jänner und sinkt bis Wert von 160W im Sommer ab. Nachfolgend das Model 1 mit den folgenden Werten: 275W im Jänner und 156W im Sommer. Das Modell 2 mit innenliegender Wärmedämmung des Kellergeschosses weist den Wärmestrom in Bereich von 263W im Jänner bis zu 150W im Sommer.

In Rahmen dieser Arbeit wurden die Gesamttransmissionswärmeverluste für unconditionierte Keller mit Kellerwände, die eine reduzierte Dämmungstärke aufweisen, untersucht. Bei diesen Modellen wurde die Dämmung der Kellerwände mit eine Dicke von 5cm (U-Wert erdberührte Wand =  $0,65W/m^2K$ ) angenommen. Laut ÖNORM B 8110-6 [6] wird ein Keller als gedämmter Keller bezeichnet, wenn er den U-Wert von  $0,35W/(m^2K)$  unterschreiten. Die Ergebnisse der Wärmeverluste wurden den Berechnungsergebnissen vom unconditionierten Keller (Abb. 17) gegenübergestellt. Die Wärmeverluste in der Heizperiode erhöhen sich dann beim unconditionierten Keller mit reduzierter Dämmungstärke um 26%.

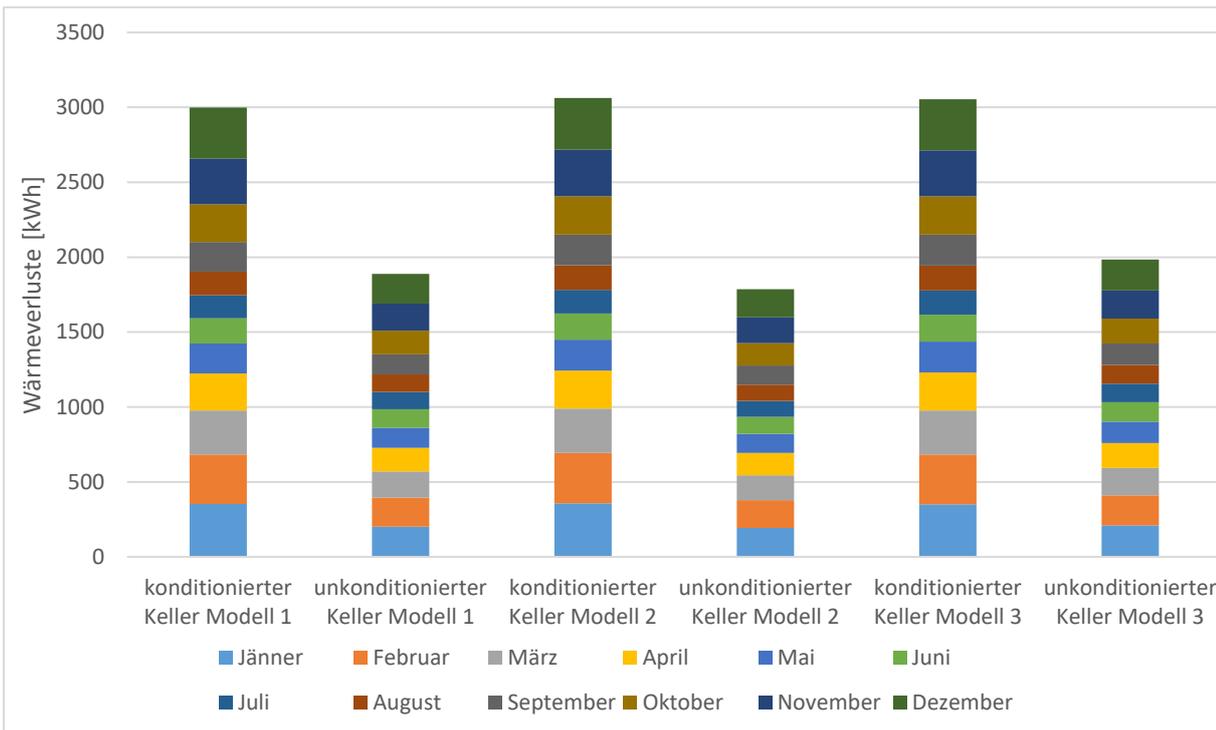


Abb. 20: Vergleich konditionierter Keller zu unkonditioniertem Keller

In Abbildung 20 werden die Wärmeverluste der konditionierten Keller Modelle mit denen unkonditionierten Keller Modelle verglichen. Aus dem Diagramm wird ersichtlich, dass die konditionierten Keller Modelle größere Gesamtwärmeverluste aufweisen. Die Begründung für ein solches Verhalten liegt in der Tatsache, dass die Temperatur im unkonditionierten Keller durch die Schwankung der Außentemperatur beeinflusst wird (Abschnitt 3.6). Auf der anderen Seite wurde die Kellertemperatur beim konditionierten Keller im Jahresgang als konstant angenommen. Demzufolge wird der Temperaturunterschied zwischen der Außentemperatur und dem Kellerinnenraum bei den konditionierten Keller Modellen größer als bei den unkonditionierten Modellen sein. Das hat zur Folge, dass der Wärmestrom, der von beheizten Bereichen durch die erdberührten Bauteile an die Außenluft verläuft, bei den konditionierten Keller Modellen größer als bei den unkonditionierten Keller Modellen ist.

Aus den erwähnten Erkenntnissen lässt sich schlussfolgern, dass der Temperaturunterschied zwischen dem umgebenden Erdreich und dem Innenraum, von wesentlicher Bedeutung für die Berechnung der Gesamtwärmeverluste ist.

### 3.8 Zusammenfassung

Im Vergleich zur Berechnung der Wärmeverluste der oberirdischen Bauteile ist die Berechnung von Wärmeverlusten der erdberührten Bauteile nicht so einfach durchführbar. Bei an Außenluft angrenzenden Bauteilen wird über die ganze Außenfläche eine konstante Lufttemperatur angenommen. Im erdberührten Bereich ist dies wegen der dämmenden und speichernden Wirkung des Erdreichs nicht möglich. Daher werden diese Wärmeverluste nicht nur durch die wärmetechnische Qualität der erdberührten Bauteile, sondern auch durch die Einbausituation sowie die Größe der erdberührten Fundamentplatte, deren Einbautiefe und die wärmetechnischen Eigenschaften des umgebenden Erdreichs beeinflusst. Die Norm EN ISO 13370 berücksichtigt diese Faktoren und Randbedingungen und schreibt vor, wie die Wärmeströme berechnet werden sollen.

Bei der Berechnung der Wärmeströme mit Näherungsverfahren spielen viele Faktoren eine wichtige Rolle. Von Bedeutung ist die Vereinfachung der dreidimensionalen Problemstellung in ein eindimensionales Modell durch das charakteristische Bodenplattenmaß  $B'$ . Demnach wird der Wärmestrom anstatt auf einem dreidimensionalen Modell mit der tatsächlichen Bodenplattenform auf einem theoretisch unendlich ausgedehnten Modell mit einer Breite von  $B'$  berechnet. Ein weiterer wichtiger Parameter ist die wirksame Gesamtdicke der Bodenplatte. Bei diesem Parameter wird die Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs berücksichtigt und der Wärmedurchgangskoeffizient der Fundamentplatte beeinflusst. Auch für die unterkellerten Konstruktionen wird ein vergleichbarer Parameter bestimmt, der die gleiche Rolle wie die wirksame Gesamtdicke der Bodenplatte spielt, nämlich die wirksame Gesamtdicke der Kellerwand. Um den Einfluss der Wärmebrücken zu berücksichtigen, fließt der Parameter  $\psi_g$ -Wert in die Formeln für die Berechnung von stationären Leitwerten ein. Mit dieser Vorgehensweise sollen die Fehler der eindimensionalen Berechnung korrigiert werden. Die Ermittlung des  $\psi_g$ -Werts aus einer zweidimensionalen numerischen stationären Berechnung soll die Ergebnisse des Wärmestroms exakter abbilden und somit die Ergebnisse besser an die dreidimensionale Berechnung annähern.

Die Wärmeströme wurden für die betrachteten Systeme anhand der monatlichen Mitteltemperaturen berechnet. Die Ergebnisse für die nicht unterkellerten Modelle zeigen, dass der Einfluss des  $\psi_g$ -Werts auf die Ergebnisse am stärksten ausgeprägt ist. Dabei ist auch anzumerken, dass die Ermittlung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\psi_g$  vom U-Wert der erdberührten Konstruktion abhängt. Hinzu kommt der Einfluss des U-Wertes der Bodenplattenaufbauten auf die Berechnung des U-Wertes der Fundamentplatte und der Kellerwände, wobei auch das Erdreich berücksichtigt wird. Bei den unterkellerten Modellen ist bemerkbar, dass die Wärmeverluste durch die Kellerwände größer als durch die Kellerbodenplatte sind. Die Ursache für diese Schlussfolgerung liegt in der Tatsache, dass die Kellerwände niedrigere U-Werte und eine größere Fläche als die Kellerbodenplatte aufweisen.

## 4 Simulationen mit HTflux

Das Berechnungsmodell der EN ISO 13370 [1] stellt für verschiedene Gründungsarten eine Näherung dar, die über Parameter für die Berechnung des Wärmestroms wie das charakteristische Bodenplattenmaß  $B'$  die Geometrie und über die wirksame Gesamtdicke  $d_t$  die Dämmung der Bodenplatte berücksichtigt. Um den Wärmedurchgang nach Formel zu berechnen, ist es notwendig die thermischen längenbezogenen Leitwerte zu bestimmen. Der stationäre Leitwert ist vom  $\psi_g$ -Wert abhängig. Mit dieser Annäherung sollte der Einfluss der Wärmebrücke zwischen Bodenplatte und Außenwand berücksichtigt werden.

Bei der Berechnung der Wärmeströme von erdreichberührten Bauteilen, bei der die Wärmespeicherfähigkeit eine wichtige Rolle spielt, sollten instationäre Simulationen durchgeführt werden. Mit dieser Vorgehensweise sollten nicht nur die Wärmespeicherfähigkeiten des Erdreiches, sondern auch der Einfluss der Wärmebrücken berücksichtigt werden. Deswegen wurden in dieser Arbeit zweidimensionale Simulationen von ausgewählten Details durchgeführt, um genauere Ergebnisse zu erhalten.

Für die Berechnung des Wärmedurchgangs der Konstruktionen ist in vielen Fällen eine zweidimensionale Berechnung genügend. Deswegen wurden die Details mit dem Simulationsprogramm HTflux [7] untersucht, das über Tools für zweidimensionale thermische Untersuchungen von Bauteilen verfügt. Dieses Programm ermöglicht vielfältige Untersuchungsmöglichkeiten sowie die Simulation von Bauteilen mit unterschiedlichen Randbedingungen.

### 4.1 Beschreibung des Simulationsmodells

Nachfolgend wird die Eingabe für die thermische Berechnung der Details anhand eines Beispiels (nicht unterkellertes Modell 1) beschrieben. Diese Vorgehensweise wurde für jede einzelne Detailvariante durchgeführt.

Für die Simulation wurden die Bauteilaufbauten verwendet, die in Abschnitt 2.1 festgelegt wurden. Die graphischen Modelle wurden in HTflux so modelliert, dass die Abmessung der Fundamentplatte immer gleichbleibt. Die Dicken der Fundamentplatte und Zwischendecken (bei unconditionierten Keller) variieren in Abhängigkeit von den Gründungsarten. Um die  $\psi_g$ -Werte ermitteln zu können, wurde die Außenwand des Erdgeschosses mit einer Höhe von einem Meter ab Fußbodenoberkante mitmodelliert.

Die Materialdaten wurden aus den GEQ-Aufbauten übernommen [8]. Das Material des Erdreiches wurde gemäß ÖNORM EN ISO 13793 [9] als Gefrierboden gewählt. Dies berücksichtigt die Änderungen der Wärmekapazität pro Volumeneinheit des Erdreiches in Abhängigkeit von der Temperatur.

Die Dimensionen des Erdreiches wurden auf Basis der ÖNORM EN ISO 10211 [10] erstellt. Laut dieser Norm wird für zweidimensionale Berechnungen die Hälfte des Gebäudes mit dem

umgebenden Erdreich modelliert, sodass eine Quadratform mit den Abmessungen der 2,5-fachen der Gebäudebreite entsteht. Im Zuge dieser Arbeit wurde von einer Gebäudebreite von 8 Meter ausgegangen, weshalb die HTflux-Modelle Abmessungen von 20x20 Meter aufweisen. Die Abbildung 21 zeigt ein gesamtes Modell, in diesem Fall das nicht unterkellerte Modell 1-1.

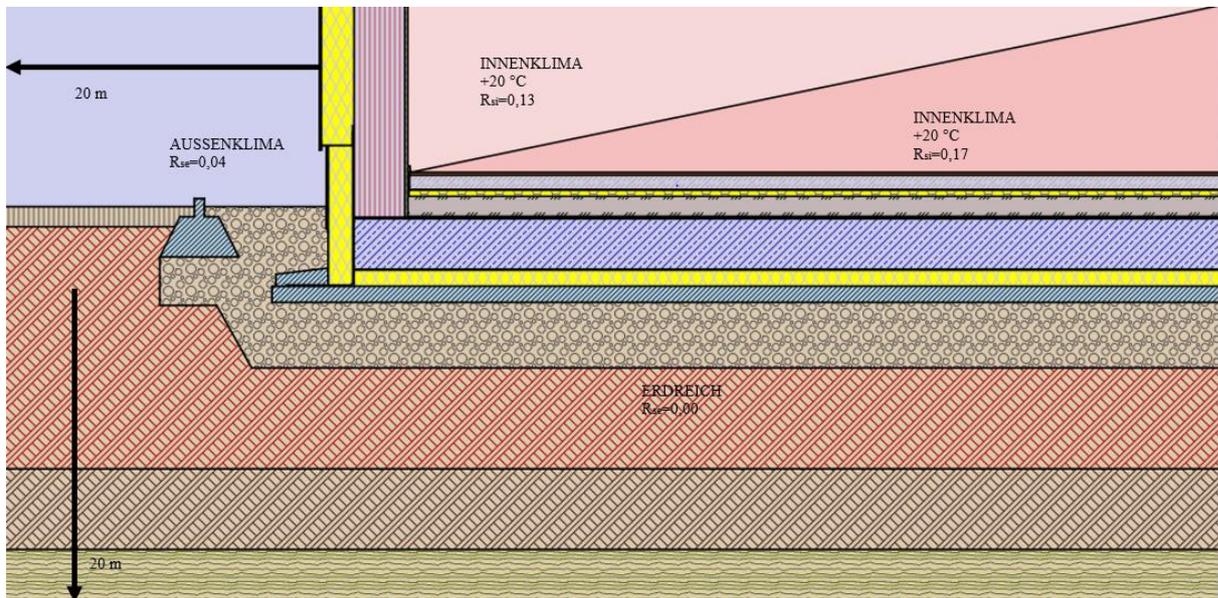


Abb. 21: Systemdarstellung – nicht unterkellertes Modell 1-1

Die anderen Modelle werden in Abschnitt 4.4 zusammen mit den Simulationsergebnissen grafisch dargestellt.

## 4.2 Randbedingungen für die Berechnung und Modellierung

Die Randbedingungen für die stationären und instationären Simulationen in HTflux [7], wie die Wärmeübergangswiderstände, die Größe der erdberührten Fläche, deren Einbautiefe unter der Oberkante des Erdreichs und die Bauteilaufbauten sind dieselben wie bei der Berechnung des Wärmestroms mit  $\psi_g$ -Werten in Kapitel 3. Ein weiterer Faktor, der den Wärmestrom beeinflusst, ist das umgebende Erdreich. Laut EN ISO 13370-Anhang G [1] gibt es unterschiedliche wärmetechnische Eigenschaften des Erdreichs, die von seiner Zusammensetzung abhängig sind. Bei der Berechnung des Wärmestroms nach dieser Norm ist nicht vorgesehen, die unterschiedlichen Erdschichten des Erdreichs zu berücksichtigen. Um den Einfluss der unterschiedlichen Erdschichten zu berücksichtigen, wurden die untersuchten Modelle in HTflux mit elf Schichten der unterschiedlichen Bodenarten modelliert.

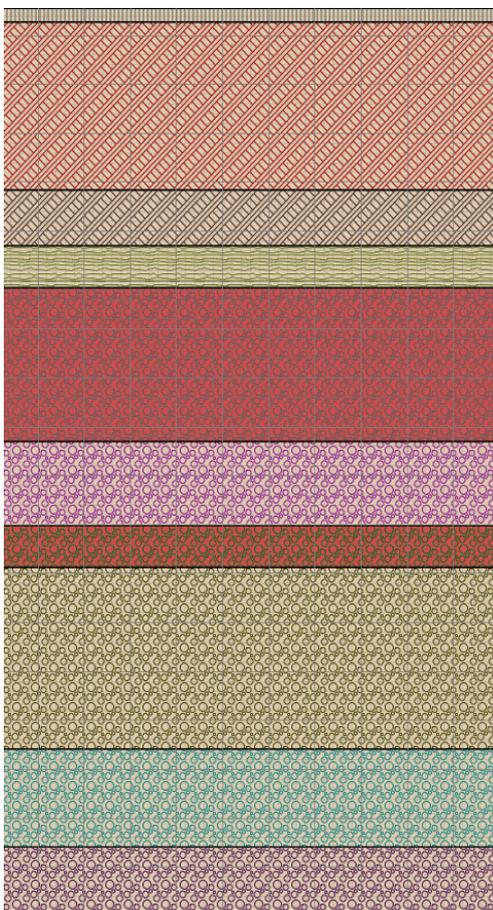


Abb. 22: Erdreichaufbau

Auf dem linken Bild ist der Erdreichaufbau dargestellt. Der Grund für eine solche Modellierung des Erdreiches war, dass auf diese Weise das Erdreich realitätsnah nachgebildet werden soll. Die nächste Tabelle zeigt die Arten des Erdreichs und die Wärmeleitfähigkeiten, die für den Modellaufbau angenommen wurden.

Tab. 5: Bodenarten

Art des Erdreichs	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/(m·K)]	d [m]
Mutterboden-Torf	800	1.5	0.1
Anschüttung, Kies	1800	1.5	1.2
Anschüttung, Kies	1800	1.5	0.4
Schluff	1700	2.0	0.3
Feinsand	1800	2.0	1.1
Kies, Sand	1800	2.0	0.6
Feinmittelsand	1600	2.0	0.3
Kies, Sand, locker	1700	2.0	1.3
Kies, Sand, mitteldicht	1800	2.0	0.7
Kies, Sand, mitteldicht	1800	2.0	1.0
Kies, Sand, dicht	1900	2.0	1.0

## 4.3 Klimadaten

### 4.3.1 Außenklima

Für das Außenklima wurden die monatlichen mittleren Außentemperaturen aus Abschnitt 3.5 übernommen und ihnen wurde ein Sinusverlauf zugewiesen. Nach EN ISO 13370 [1] wird angenommen, dass die niedrigste Temperatur Mitte Jänner und die höchste Temperatur Mitte Juli auftritt. Außerdem ist es erforderlich, den Nulldurchgang am 16. Oktober oder 15. April zu wählen. Um die dynamischen zweidimensionalen Simulationen in HTflux durchzuführen, ist es zuerst erforderlich die Parameter des Jahressinusverlaufs der Außentemperatur zu berechnen. Die Berechnung der Jahressinus-Parameter ergibt folgende Werte: Jahresmittel der Außentemperatur von  $9,5^{\circ}\text{C}$ , die Temperaturspanne (Differenz zwischen niedrigste und höchste Jahresaußentemperatur) von  $20,5^{\circ}\text{C}$  und die Amplitude der Schwankung der Außentemperatur von  $10,25^{\circ}\text{C}$ .

Im nachfolgenden Diagramm wird der Jahresverlauf der Außentemperatur als periodische sinusförmige Funktion dargestellt. Diese periodische Funktion wird durch die Amplitude der Schwankungen der Jahresmittel von den Außentemperaturen definiert. Für die Modellbildung mit so einem Jahresverlauf der Außentemperatur ist wichtig, dass das Modell den eingeschwungenen Zustand erreicht. Es wurde als Annahme getroffen, dass sich ein Modell im eingeschwungenen Zustand befindet, wenn sich die Gesamtwärmeübertragung nach einem jährlich wiederholenden Klimadatensatz nicht ändert bzw. wenn der Unterschied zwischen den Gesamtwärmeübertragungen in zwei Jahren kleiner als 1% beträgt. Diese Annahme stützt sich auf die Methode, die zur Erreichung des eingeschwungenen Zustands bei hygrothermischen Simulationen anhand des WTA Merkblatt 6-5 [14] angewendet wird.

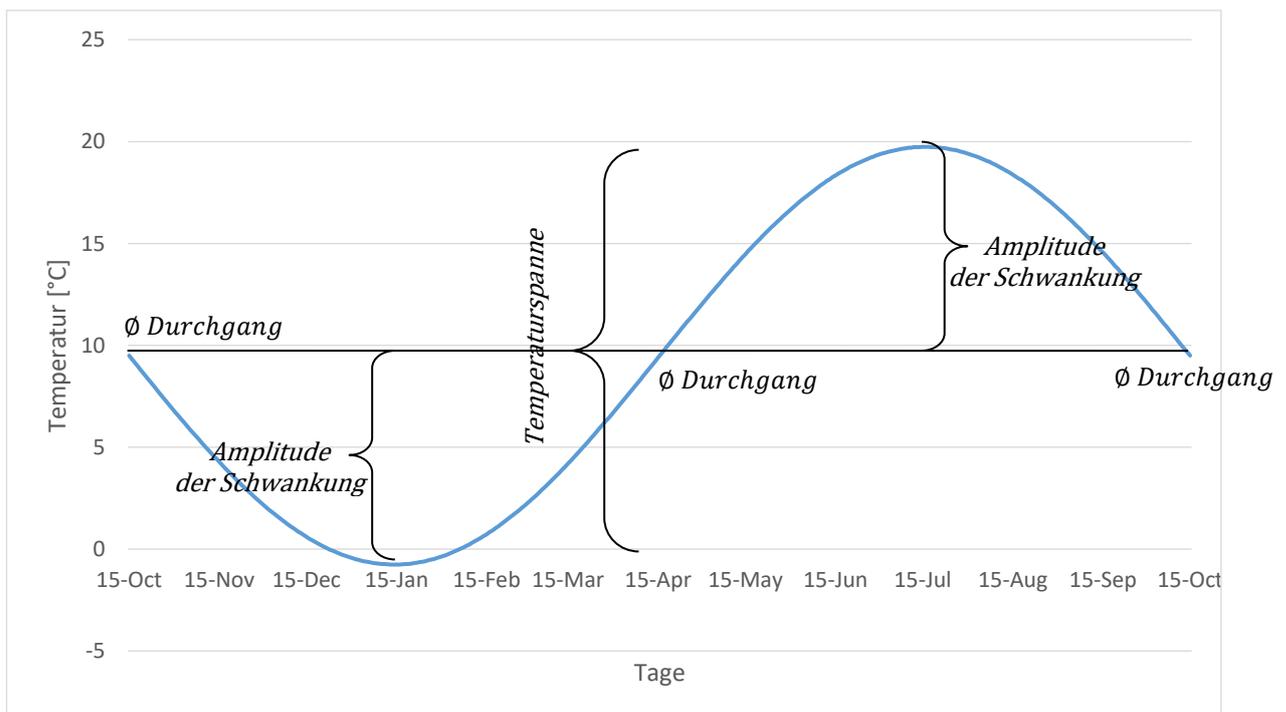


Abb. 23: Jahresverlauf der Außentemperatur aus HTflux

Des Weiteren werden in dieser Arbeit zweidimensionale instationäre Simulationen mit dem mittleren Jahresverlauf der Außentemperatur, aus dem Zeitraum von Anfang 2005 bis Ende 2007 anhand des Klimadatensatzes von Graz angesetzt. Die Daten für das Grazer Klima wurden von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) [5] übernommen und für die Simulationen verwendet. Das Klimamodell betrachtet den Zeitraum von Anfang 2005 bis Ende 2007. In diesem Zeitfenster wurden die Temperaturen an der Messstation Graz-Universität gemessen. Für die thermischen Simulationen wurden Temperaturen als Stundenwerte ausgegeben und im Programm verwendet. Aus den über 3 Jahren gemessenen Temperaturen wurde ein mittlerer Jahresverlauf generiert und mit diesem Temperaturverlauf wurden die Wärmeströme berechnet.

In der folgenden Abbildung 24 ist der Temperaturverlauf für das Grazer 1-Jahresklima dargestellt. Dieser Temperaturverlauf wurde als mittlerer Wert der Jahre 2005 bis 2007 generiert. Der Temperaturverlauf in den Jahren 2005-2007 befand sich im Bereich von  $-15^{\circ}\text{C}$  bis  $+35^{\circ}\text{C}$ . Nach der Erstellung des 1-Jahresklimas reduzierte sich der Bereich auf  $-7,9^{\circ}\text{C}$  bis  $31^{\circ}\text{C}$ .

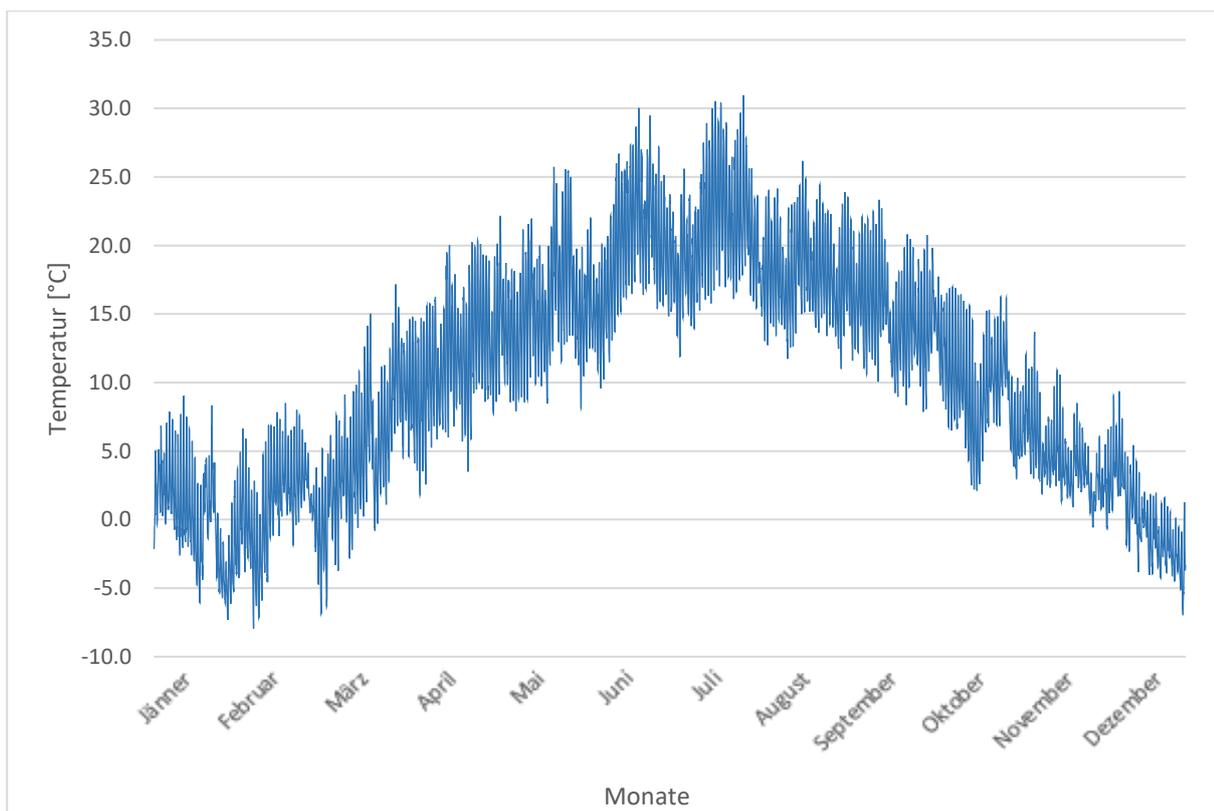


Abb. 24: Mittlerer Jahresverlauf der Außentemperatur aus den Jahren 2005-2007

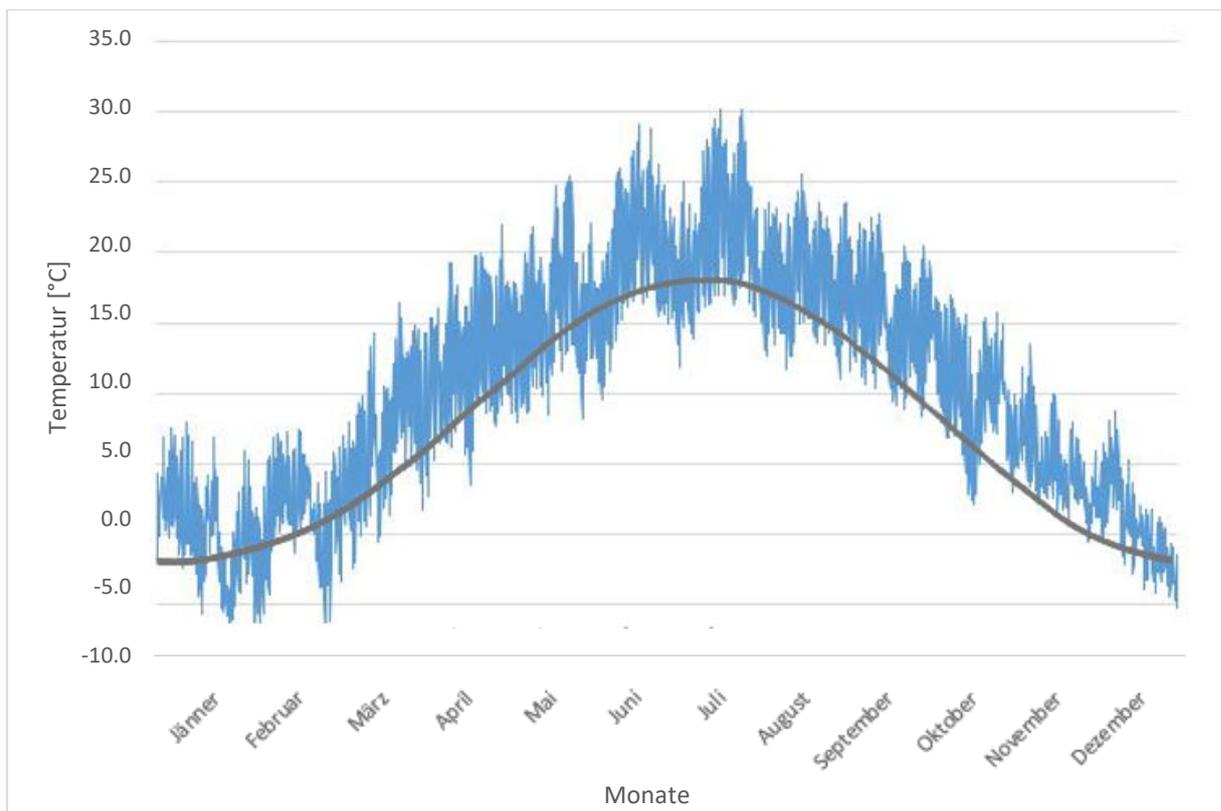


Abb. 25: Mittlerer Jahresverlauf der Außentemperatur aus den Jahren 2005-2007 und Jahresverlauf der Außentemperatur aus HTflux

In Abbildung 25 werden die Verläufe der beiden Klima dargestellt. Aus der Grafik wird ersichtlich, dass sich der sinusförmige Außenklimaverlauf gut den realen Außenklimadaten annähert. Die Grafik lässt die Tendenz erkennen, dass der sinusförmige Außenklimaverlauf niedrigere Temperaturen im Sommer bzw. größere Temperaturen in der Heizperiode aufweist. Dementsprechend werden auch die Wärmeverluste, die anhand dieses Außenklimas berechnet werden, niedrigere Werte aufweisen.

#### 4.3.2 Innenklima

Die Innentemperatur für den konditionierte Raum wird konstant mit 20°C angenommen. [13] Für die unkonditionierten Räume, darunter die Räume des Kellergeschosses, wird die Innenraumtemperatur als gewichtete Temperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur und der Temperatur des konditionierten Raumes definiert. Diese gewichtete Temperatur wird durch einen Temperaturfaktor  $F$  beschrieben, der hier wie folgt definiert wird:

- unkonditionierter, gedämmter Keller:  $F=0,50$

Ein Temperaturfaktor von  $F=0,5$  bedeutet, dass sich die Temperatur des gedämmten Kellers als gewichtete Summe aus 50% Außentemperatur und 50% Innentemperatur des konditionierten Raumes berechnet. [6]

## **4.4 Simulationsergebnisse**

### **4.4.1 Allgemeines**

Nachfolgend werden die Simulationsergebnisse für alle drei betrachteten Systeme ausgewertet und analysiert. Der Schwerpunkt der Auswertung liegt dabei auf dem wärmetechnischen Verhalten der betrachteten Details.

Das Simulationsprogramm HTflux berechnet die Wärmeströme für das entsprechende Gebäudedetail, die man später mit den entsprechenden Längenfaktoren multiplizieren muss, um die Wärmeströme und Wärmeverluste für das gesamte Gebäude zu erhalten. Wenn die Ergebnisse vorhanden sind, kann man sie in Form von Diagrammen auswerten. Es wurden zwei Typen von Diagrammen für die Auswertung gewählt, einerseits für die Darstellung der Wärmeströme, andererseits für die Wärmeverluste des Gebäudes. Die Darstellung mit Diagrammen hat den Zweck, dass man auf den ersten Blick den Unterschied zwischen den Wärmestromverläufen der Modelle erkennt.

Um einen besseren Überblick der unterschiedlichen Detailausbildungen zu geben, werden zunächst die Detailausbildungen der Modelle mit ihren Aufbauten grafisch dargestellt. Für die Berechnung der Wärmeströme in einem spezifizierten Bereich spielen die Temperaturunterschiede zwischen den Oberflächen eine wichtige Rolle. Zur Verdeutlichung der Temperaturverläufe wurden Isothermen Darstellungen für alle Details im Jänner eingefügt.

#### 4.4.2 Nicht unterkellert

#### Modelle 1-1, 1-2 und 1-3

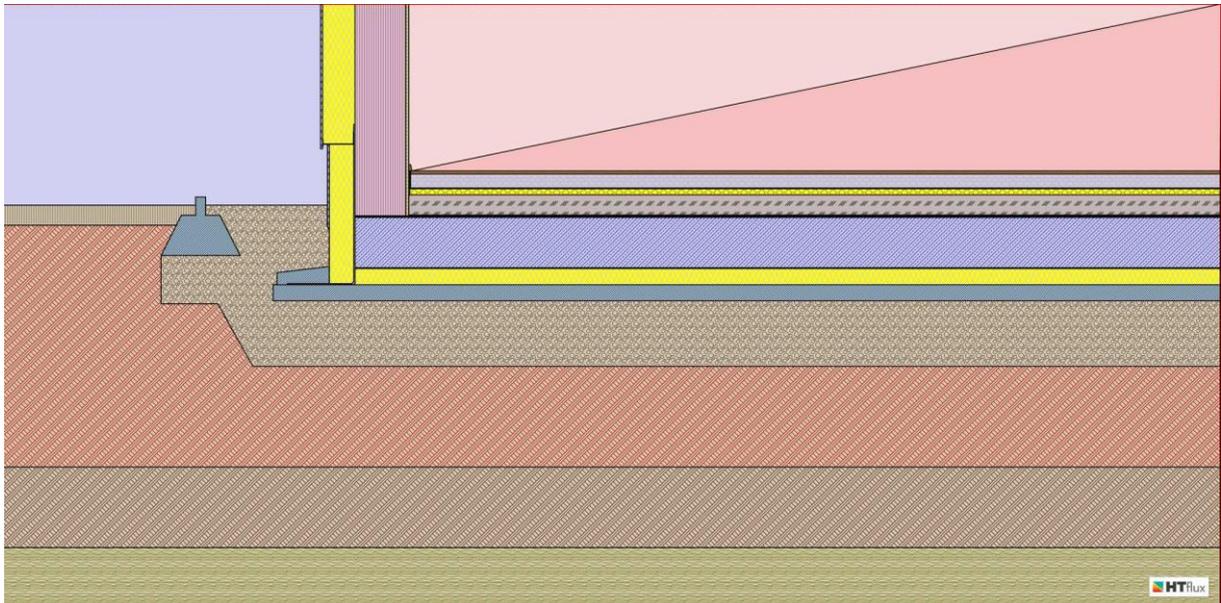


Abb. 26: Materialansicht Modell 1-1

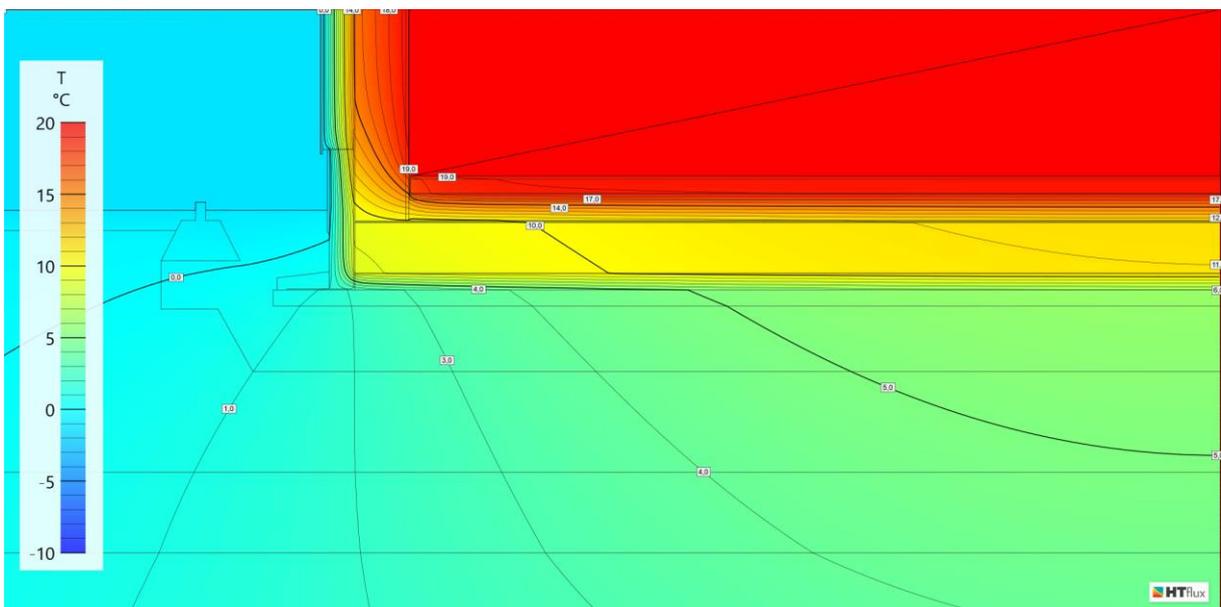


Abb. 27: Temperaturansicht Modell 1-1

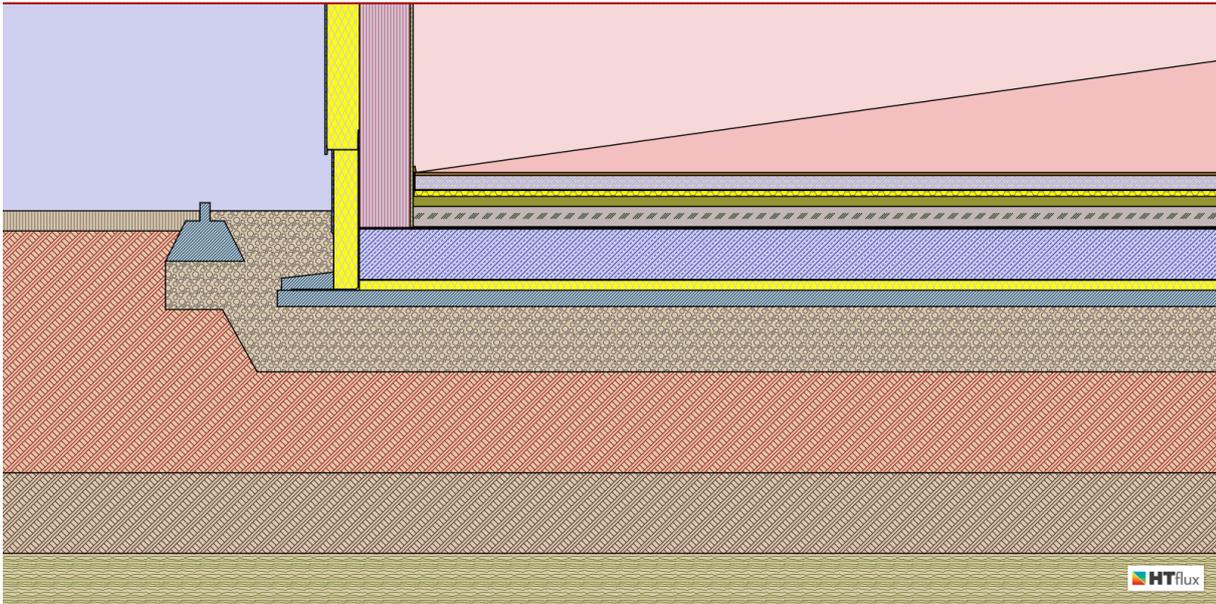


Abb. 28: Materialansicht Modell 1-2

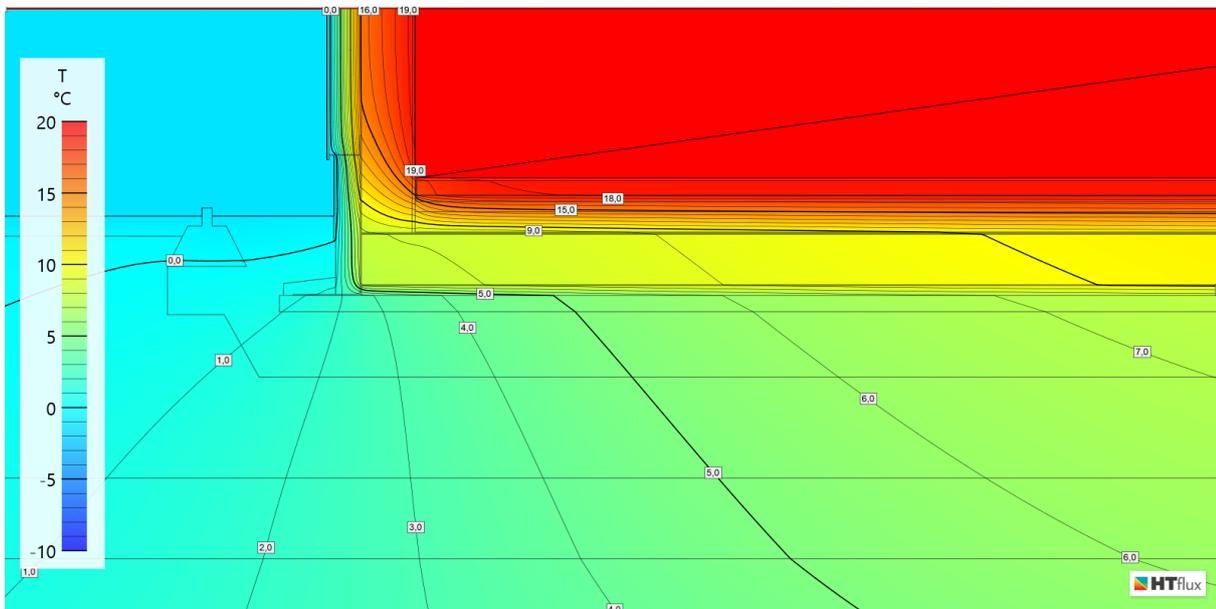


Abb. 29: Temperaturansicht Modell 1-2

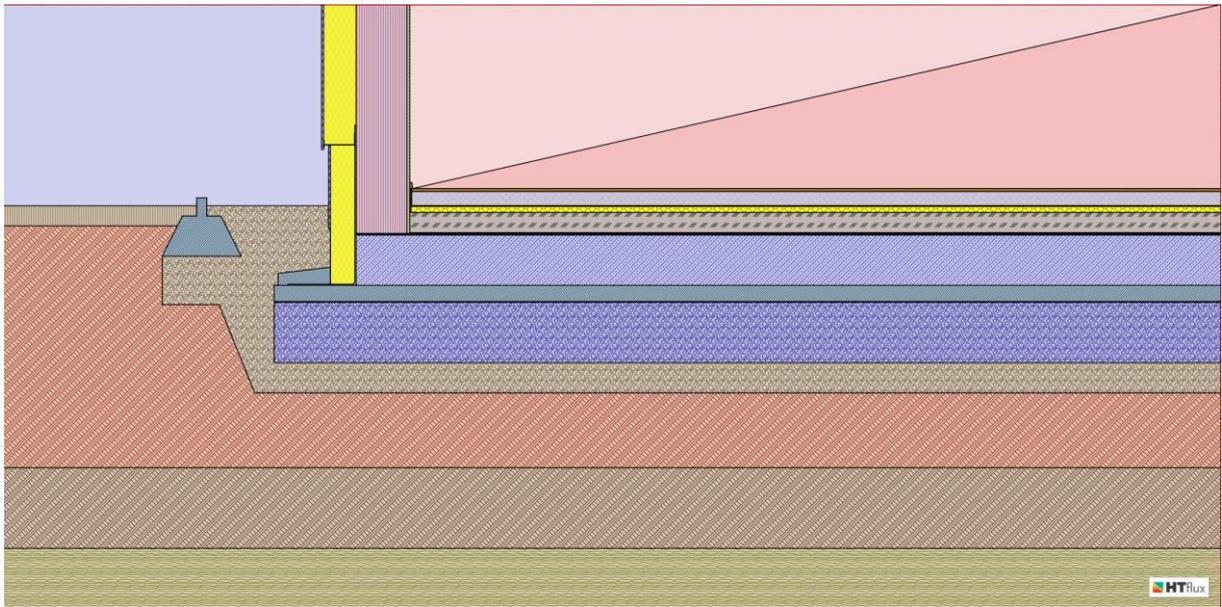


Abb. 30: Materialansicht Modell 1-3

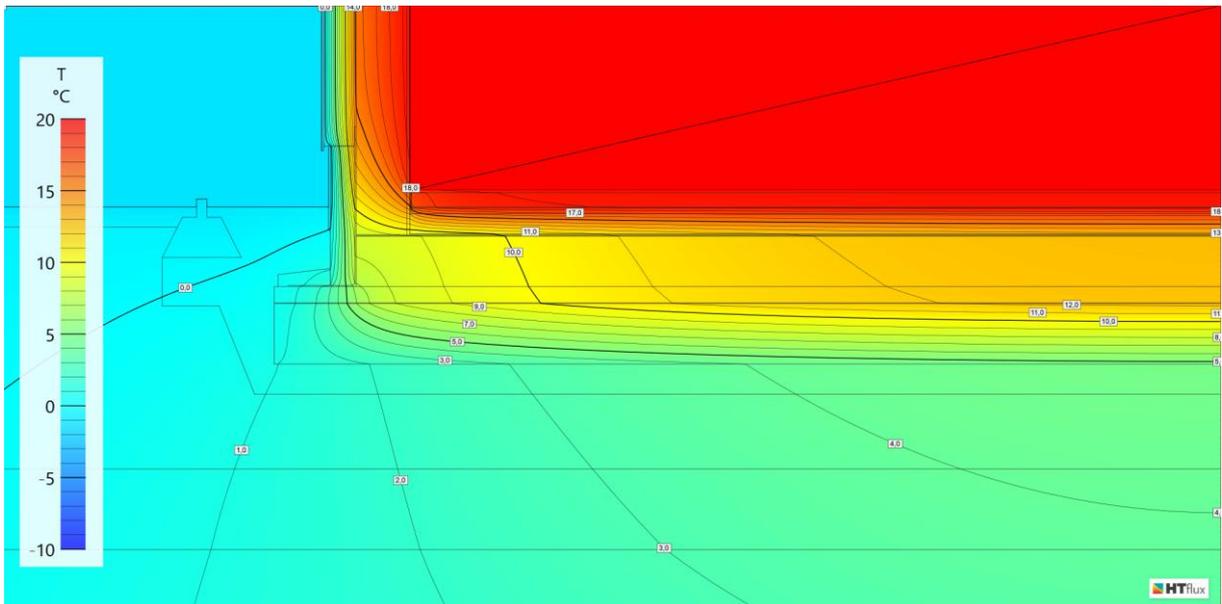


Abb. 31: Temperaturansicht Modell 1-3

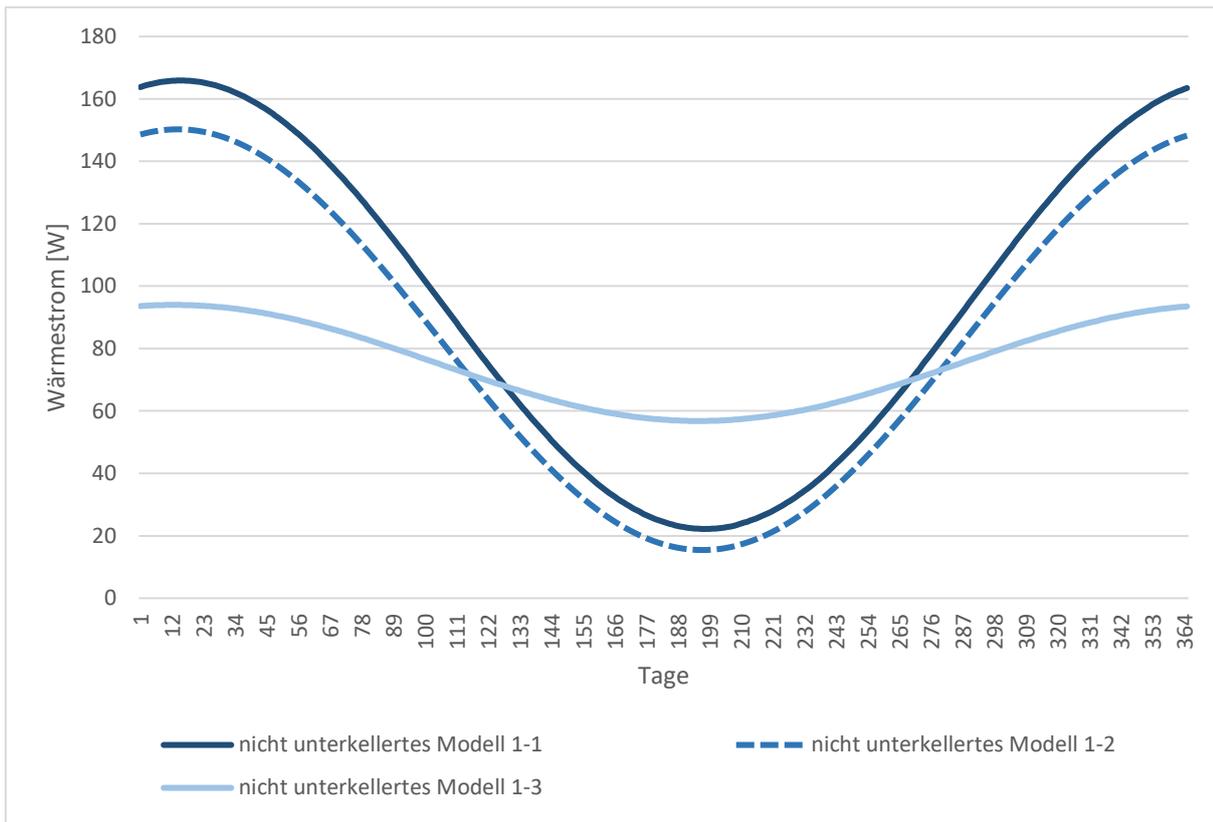


Abb. 32: Wärmeströme in W der nicht unterkellerten Modelle 1 berechnet in HTflux anhand sinusförmiger Temperaturvariationen

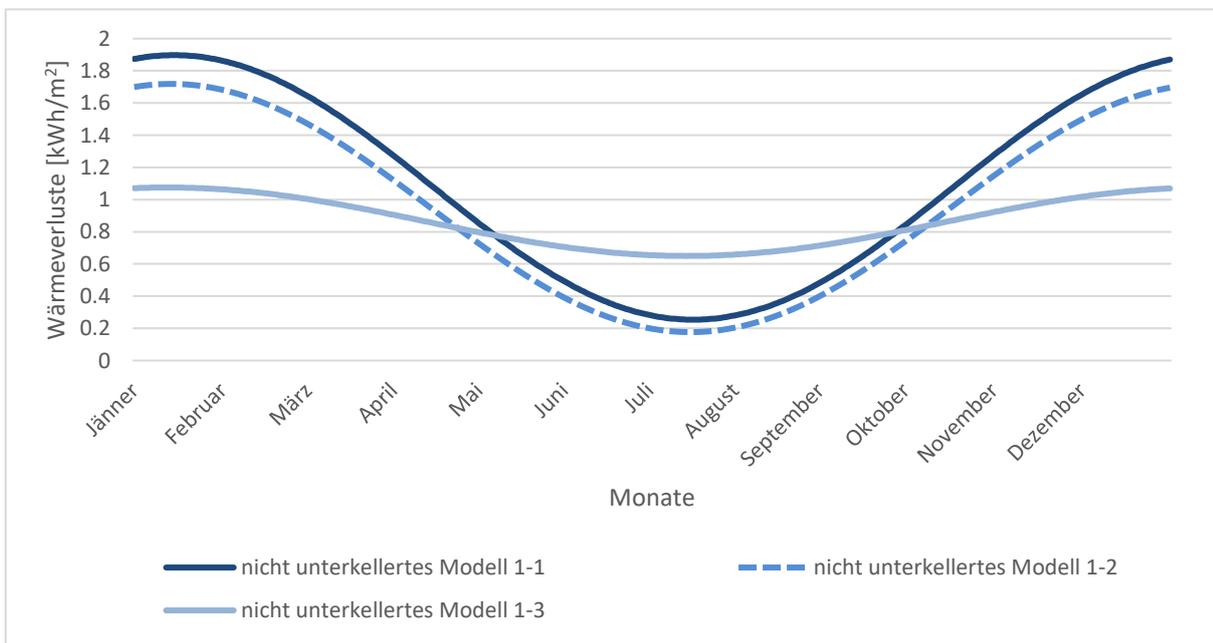


Abb. 33: Wärmeverluste in kWh/m² der nicht unterkellerten Modelle 1 berechnet in HTflux anhand sinusförmiger Temperaturvariationen

Um den Zusammenhang zwischen dem Wärmestrom und der wärmetechnischen Qualität der Bauteile aufzuzeigen, wurden im Diagramm (Abb. 32) die Verläufe der Wärmeströme über den Jahresgang dargestellt. Der sinusförmige Verlauf ist bei jedem Modell präsent und wird durch die Außentemperatur bestimmt, die in Wesentlichen nach einer sinusförmigen Funktion schwankt. Die Größe der Amplitude der Schwankung der Wärmeströme hängt von den U-Werten der Aufbauten ab. Im Diagramm ist zu erkennen, dass das Modell 1-1 mit einer vollflächigen Dämmung der Dicke  $0,08m$  die größten Wärmeströme aufweist, die sich im Bereich von  $165W$  im Jänner bis zu  $22W$  im Juli bewegen. Das Modell 1-2 mit einer reduzierten Dämmung von  $0,05m$  und einer zusätzlichen Innendämmung von  $0,05m$  hat eine geringere Abweichung im Wärmestromverlauf, wenn man es mit Modell 1-1 vergleicht. Sein Verlauf schwankt im Bereich von  $150W$  im Jänner bis zu  $15W$  im Juli. Diese Abweichungen liegen im Unterschied der U-Werte zwischen diesen zwei Modelle der Wert  $0,005$  hat. Das Modell 1-3 mit  $0,3m$  Schaumglasschotter als vollflächige Außendämmung zeigt die geringsten Wärmeströme im Jänner mit einem Wert von  $93W$  und seine Amplitude ist kleiner im Vergleich zu Modell 1-1 und 1-2, sodass der Wärmestrom im Juli einen Wert von  $56W$  besitzt. Es ist auch ersichtlich, dass der Wärmestrom in der Periode von Mai bis September bei Modell 1-3 mehrfach größer ist als bei den Modellen 1-1 und 1-2. Daher kann man zu der Schlussfolgerung kommen, dass das Modell 1-3 den niedrigsten U-Wert sowie bessere Eigenschaften besitzt, die mit der Wärmeübertragung über das Erdreich gekoppelt sind.

In Abbildung 33 sind die Verläufe der Wärmeverluste in  $kWh/m^2$  für die nicht unterkellerte Modellgruppe 1 grafisch dargestellt. Die Verläufe haben die gleiche sinusförmige Form wie die Wärmeströme. Diese Darstellung hat als Ziel, die Ergebnisse der Gebäudeverluste in einer Einheit darzustellen, sodass man besser die Energieeffizienz der Bauteile abschätzen kann.

Modelle 2-1, 2-2 und 2-3

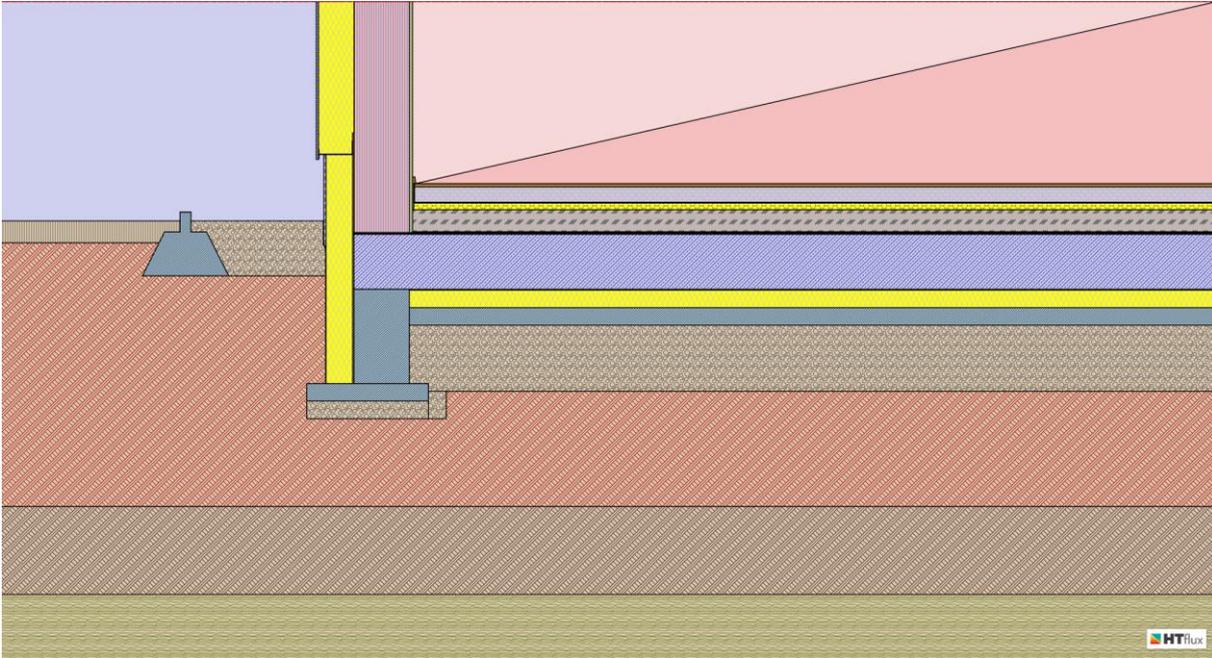


Abb. 34: Materialansicht Modell 2-1

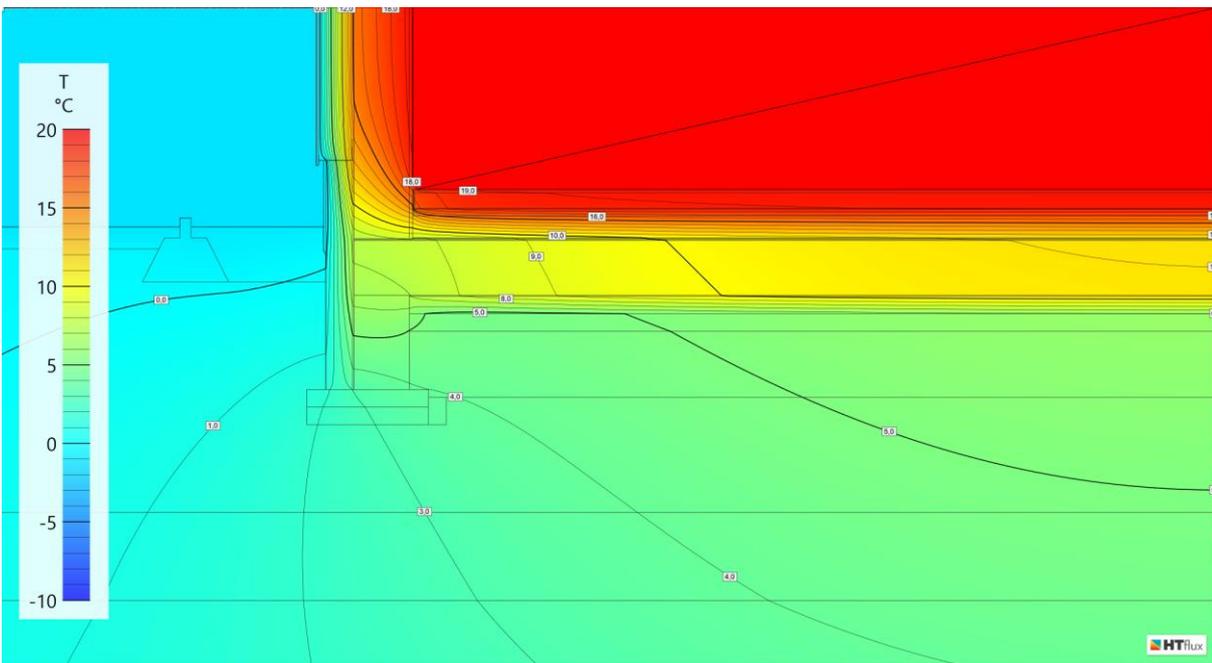


Abb. 35: Temperaturansicht Modell 2-1

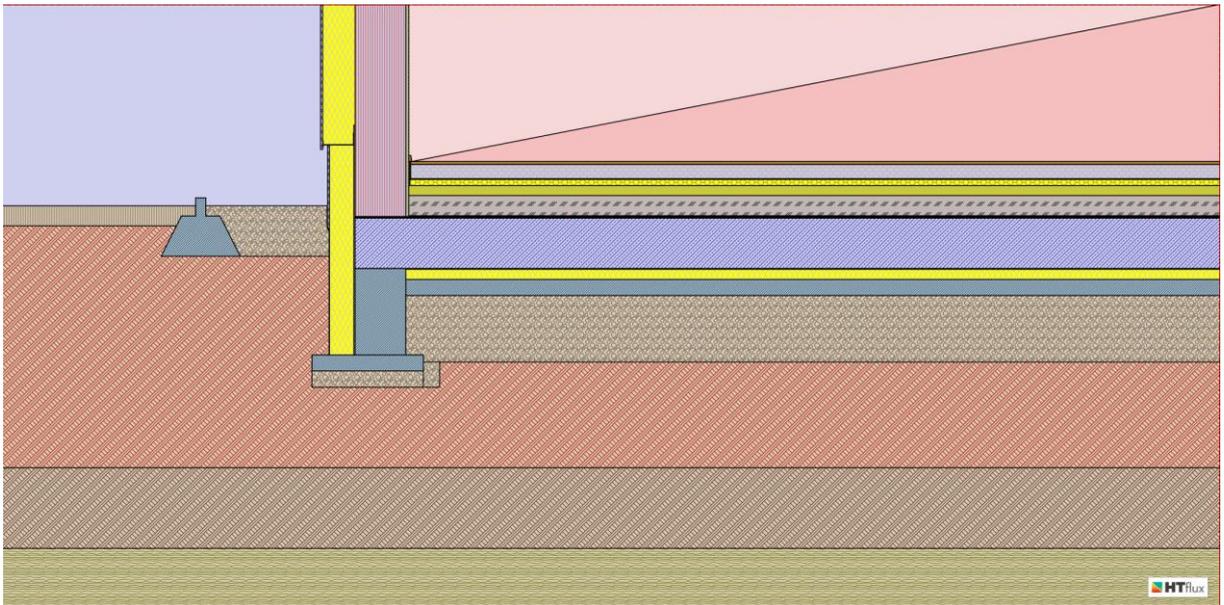


Abb. 36: Materialansicht Modell 2-2

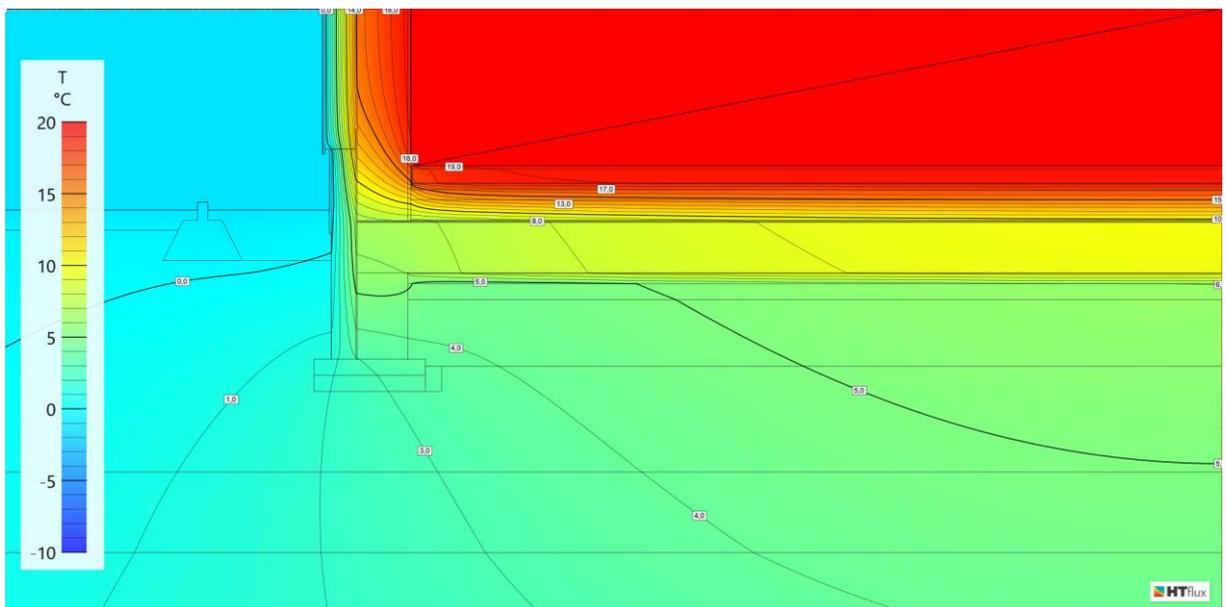


Abb. 37: Temperaturansicht Modell 2-2

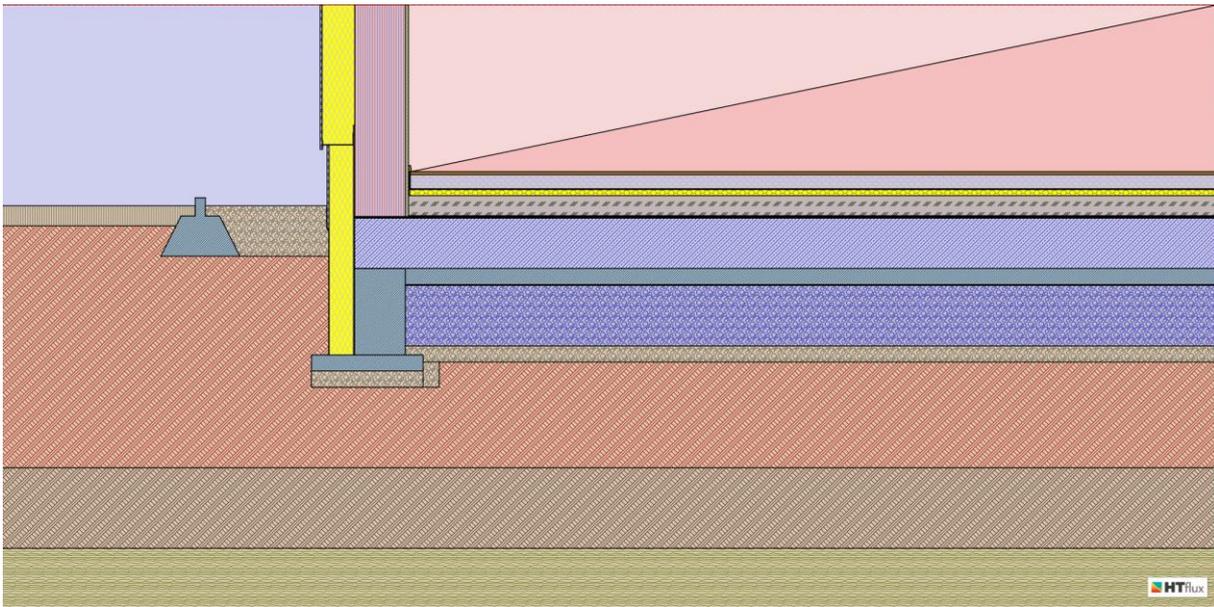


Abb. 38: Materialansicht Modell 2-3

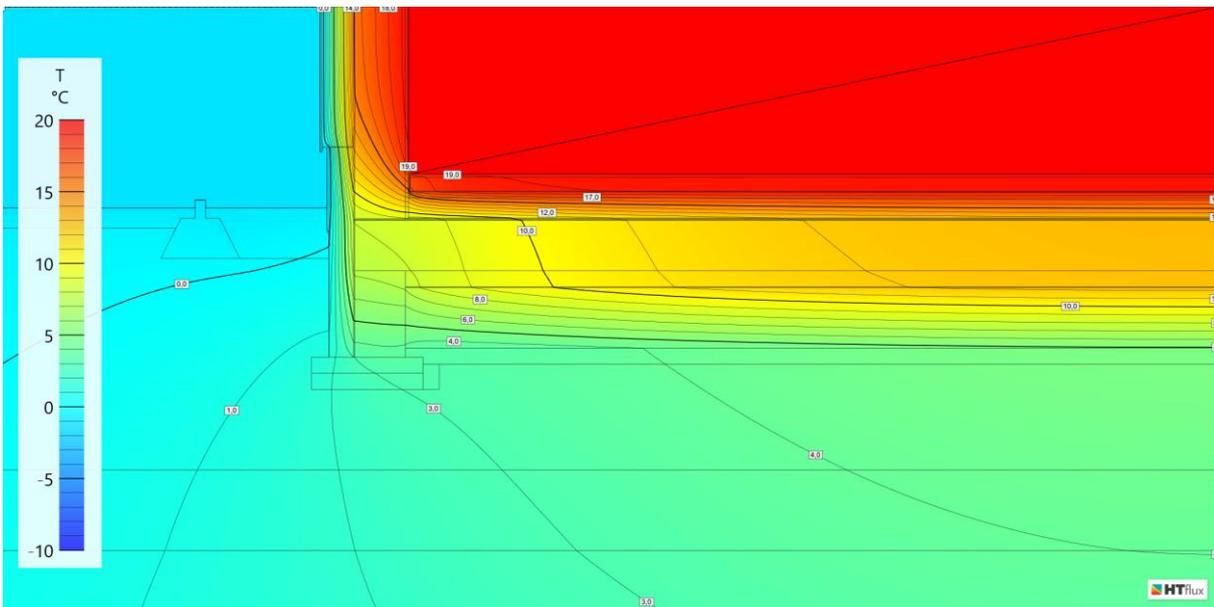


Abb. 39: Temperaturansicht Modell 2-3

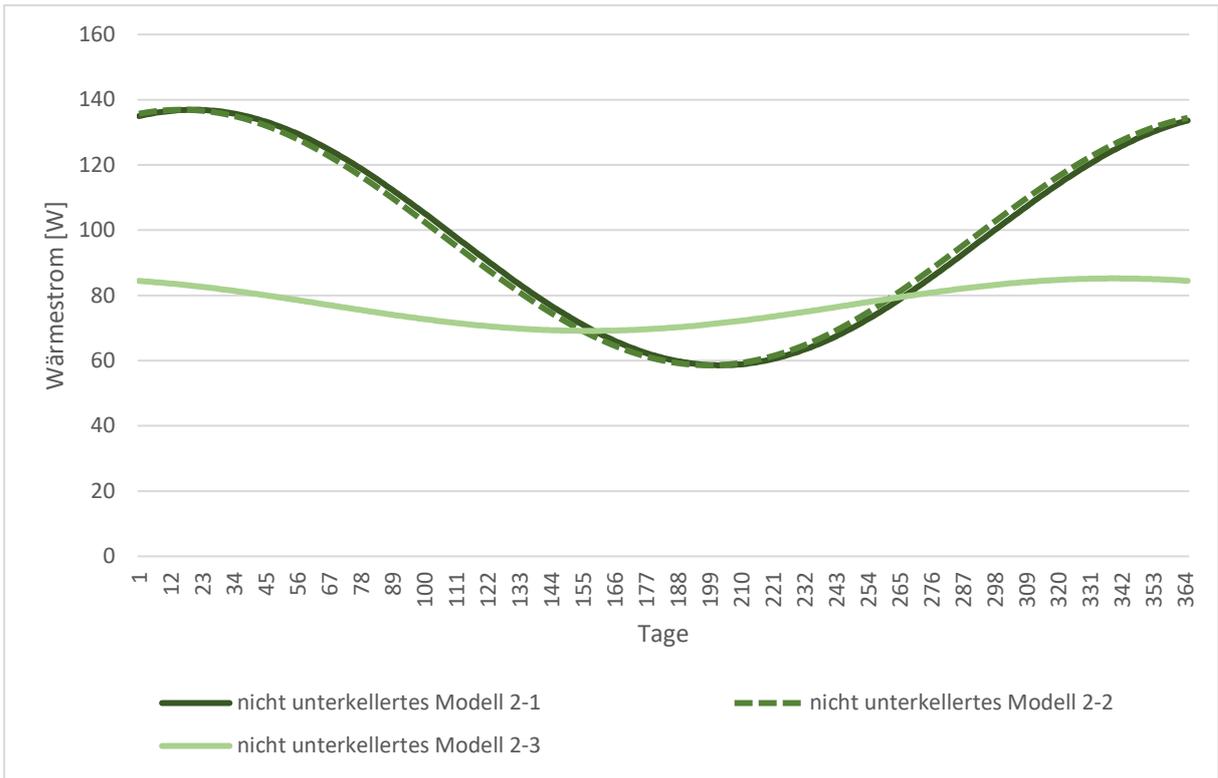


Abb. 40: Wärmeströme in  $W$  der nicht unterkellerten Modelle 2 berechnet in HTflux anhand sinusförmiger Temperaturvariationen

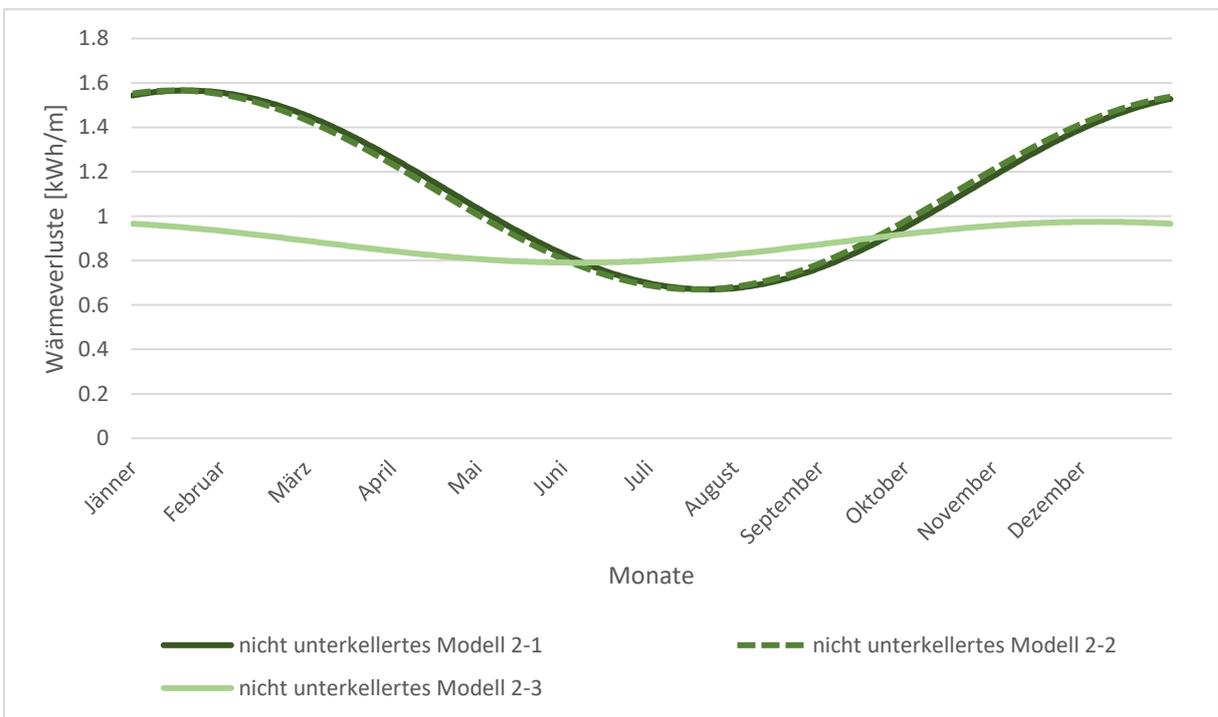


Abb. 41: Wärmeverluste in  $kWh/m^2$  der nicht unterkellerten Modelle 2 berechnet in HTflux anhand sinusförmiger Temperaturvariationen

In Abbildung 40 sind die Wärmestromverläufe der drei unterschiedlichen Modelle dargestellt. Wie bei der Modellgruppe 1 haben die Wärmeströme einen sinusförmigen Verlauf, allerdings haben diese Modelle geringere Wärmeverluste in der Heizperiode. Die Erklärung für die Unterschiede beim Wärmeverlust liegt in der Ausbildung des Sockelbereiches. Die Modellgruppe 2 ist mit einer Frostschräge ausgebildet, die einen unmittelbaren Einfluss auf die Temperaturen in Erdreich unter der Bodenplatte aufweist. Die jahreszeitlichen Außentemperaturschwankungen haben direkten Einfluss auf die Temperaturen in Erdreich. Die Phasenverschiebung wird durch die Ausbildung der Frostschräge spürbar und die Temperaturschwankungen im Erdreich werden niedriger als bei Modellgruppe 1.

Wie bei Modellgruppe 1 zeigt sich, dass das Modell mit dem Bodenaufbau 1 die größten Wärmeströme aufweist, die sich im Bereich von 136 W bis zu 59 W bewegen. Danach kommt das Modell 2-2 mit den Wärmeströmen im Bereich von 134 W bis zu 58 W. Der Unterschied zwischen den Wärmeströmen der Modelle 2-1 und 2-2 ist geringer als bei den Wärmeströmen der Modelle 1-1 und 1-2. Man kann erkennen, dass die Wärmeströme beim Modell mit Bodenaufbau 3 geringer als bei den beiden Modellen derselben Modellgruppe sind; die befinden sich im Bereich von 84 W bis zu 69 W.

In Abbildung 42 sind die Wärmeverluste der betrachteten nicht unterkellerten Modelle dargestellt. Zur besseren Vergleichsmöglichkeit zwischen den Modellen und zur Abschätzung des Einflusses der verschiedenen Parameter auf die Wärmeverluste der nicht unterkellerten Modelle wurde für jedes Modell zwischen der Detailausbildung und dem Aufbau der Fundamentplatte unterschieden.

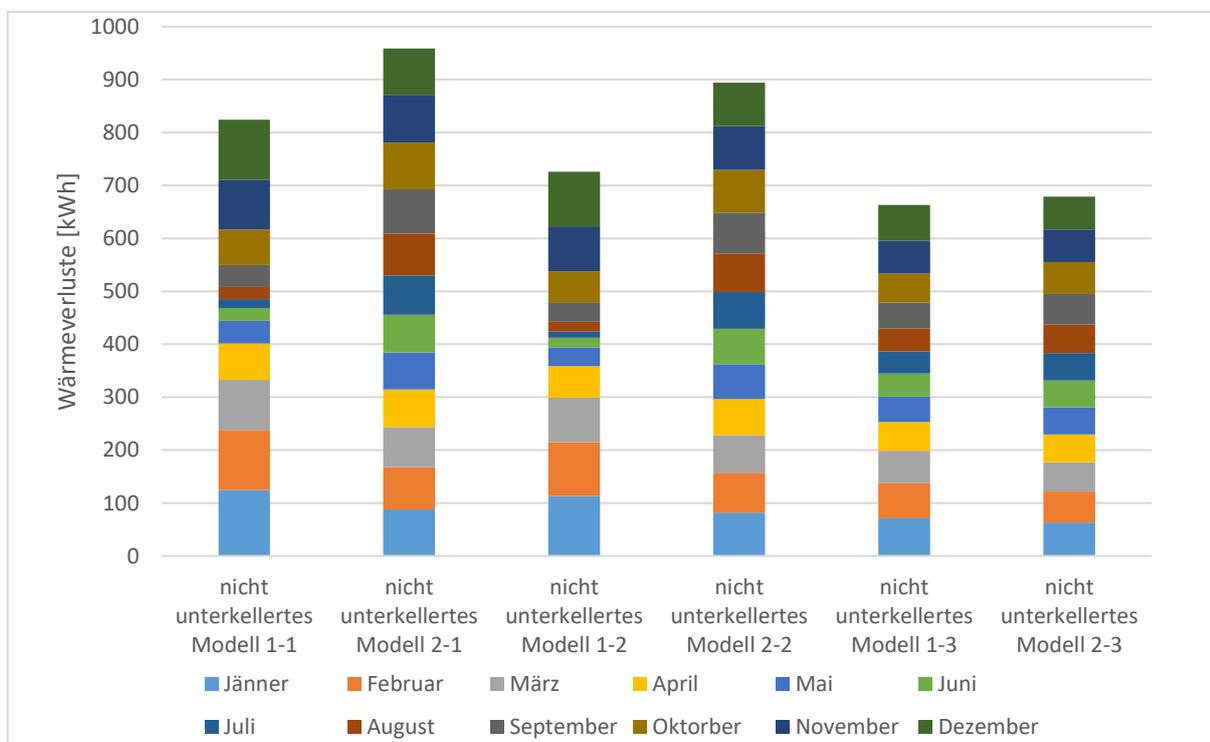


Abb. 42: Vergleich der Wärmeverluste zwischen nicht unterkellerten Modellen

Aus dem Diagramm (Abb. 42) wird ersichtlich, dass im Jahresgang die Modelle mit der Frostschrüz, die größten Gesamtwärmeverluste aufweisen. Eine Änderung der Detailausbildung führt zur Erhöhung des Wärmeverlustes, wobei die Erhöhung auch vom Temperaturverlauf des Erdreiches abhängig ist. Bei den Modellen mit Aufbau 1 ergibt sich eine Änderung der Wärmeverluste von 14%, bei den Modellen mit Aufbau 2 von 18% und bei den Modellen mit Schaumglasschotter um etwa 3%. Wenn man nur die Wärmeverluste in der Heizperiode analysiert, ergeben sich andere Ergebnisse. In diesem Fall sind die Wärmeverluste bei der Modellgruppe 1 größer als bei Modellgruppe 2, und die Unterschiede der Wärmeverluste in diesem Zeitraum betragen 22% bei Aufbau 1, 20% bei Aufbau 2 und 8% bei Aufbau 3 (siehe Abbildung 101). Die Begründung für ein solches Verhalten liegt in der Tatsache, dass die Schwankung der Temperatur im Erdreich durch die Detailausbildung beeinflusst wird. Bei den Modellen mit Frostschrüz schwankt die Temperatur unter der Fundamentplatte mit kleineren Amplituden und wird, anders als bei den Modellen ohne Frostschrüz, nicht wesentlich durch die Schwankungen der Außentemperatur beeinflusst.

Eine Erhöhung des Wärmedurchlasswiderstandes der Fundamentplatte bedeutet praktisch eine Erhöhung des Wärmeschutzes. Die Analyse der Modelle mit gleicher Detailausbildung hat gezeigt, dass Modell mit Schaumglasschotter kleinere Wärmeverluste aufweisen.

Zusammenfassend lässt sich aus dem oben genannten schlussfolgern, dass die Modelle mit Frostschrüz bessere wärmetechnische Eigenschaften besitzen.

### 4.4.3 Konditionierter Keller

#### Modell 1

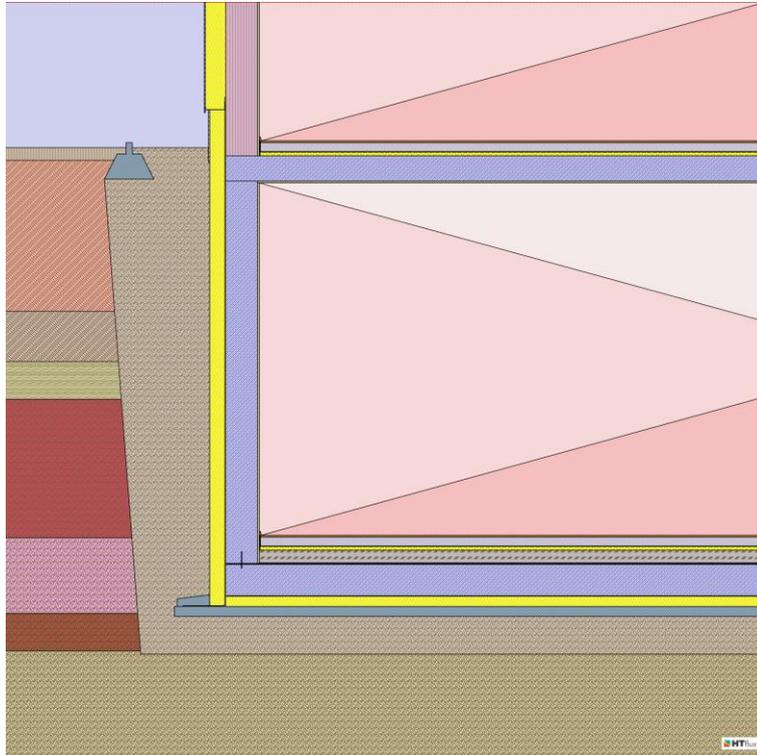


Abb. 43: Materialansicht konditionierter Keller Modell 1

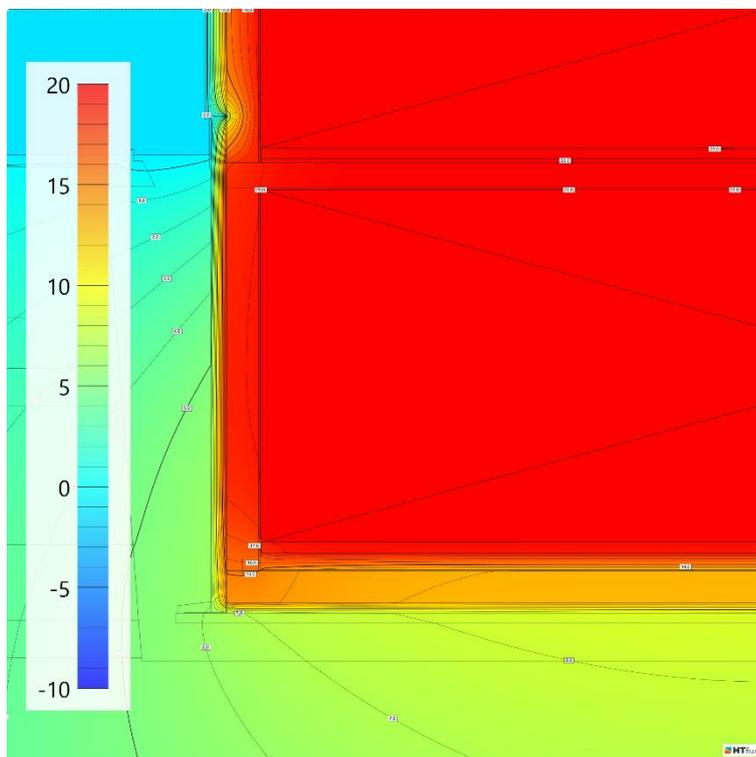


Abb. 44: Temperaturansicht konditionierter Keller Modell 1

Modell 2

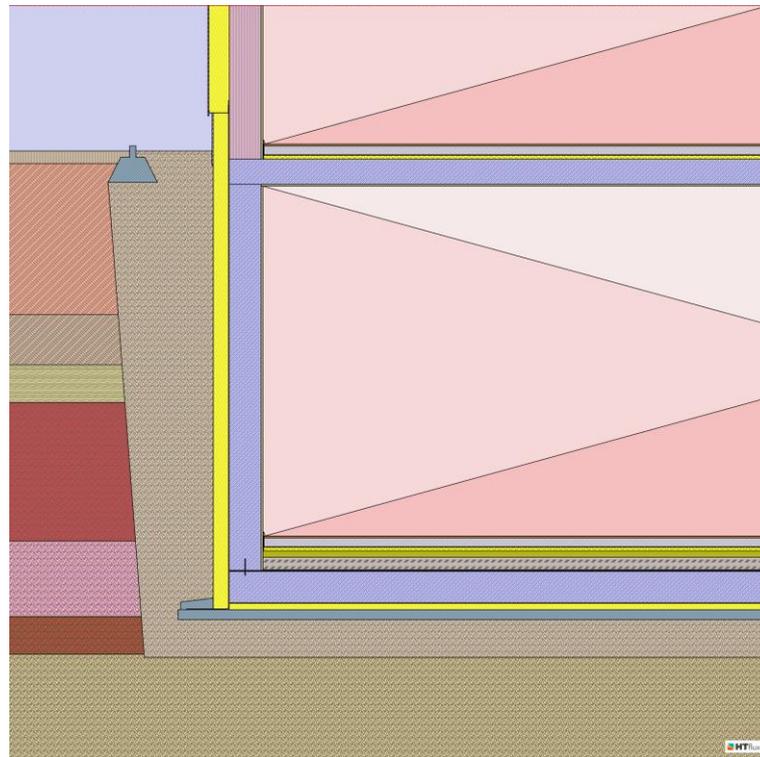


Abb. 45: Materialansicht konditionierter Keller Modell 2

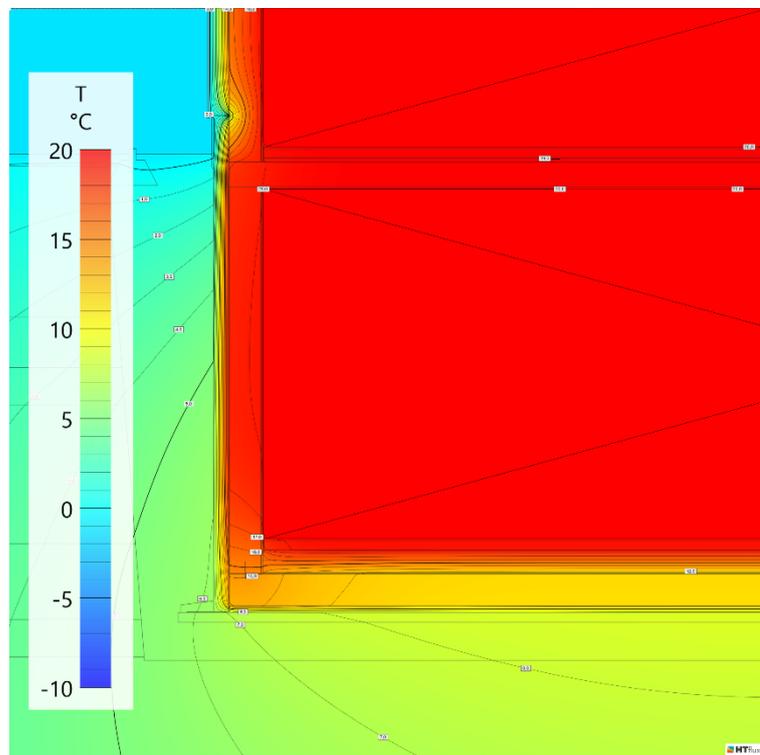


Abb. 46: Temperaturansicht konditionierter Keller Modell 2

**Modell 3**

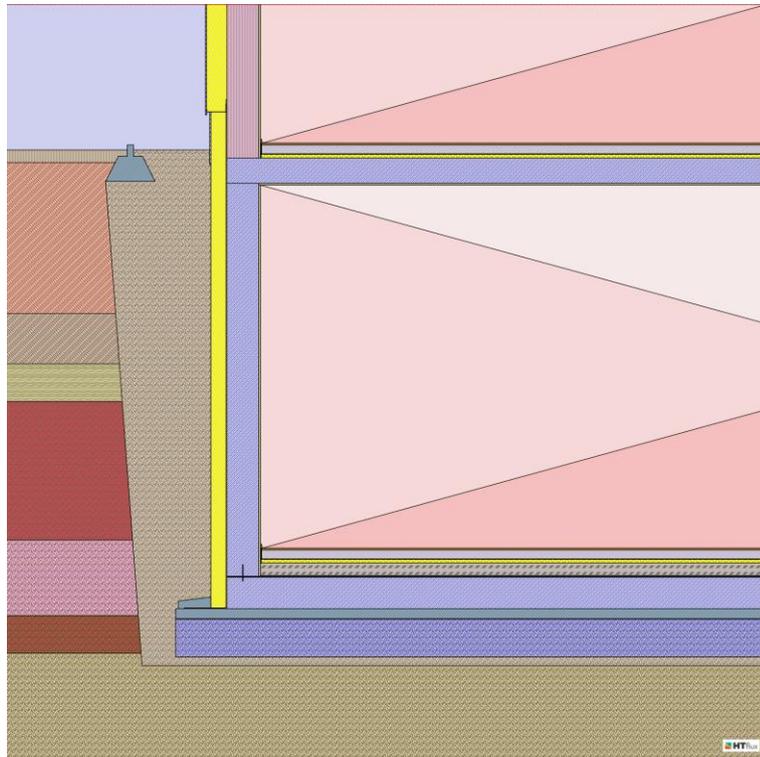


Abb. 47: Materialansicht konditionierter Keller Modell 3

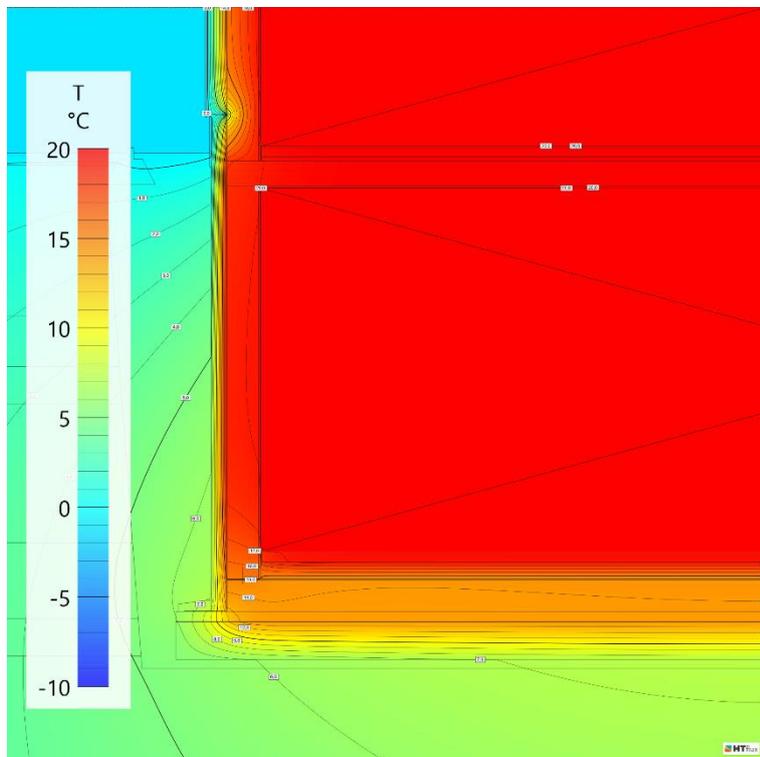


Abb. 48: Temperaturansicht konditionierter Keller Modell 3

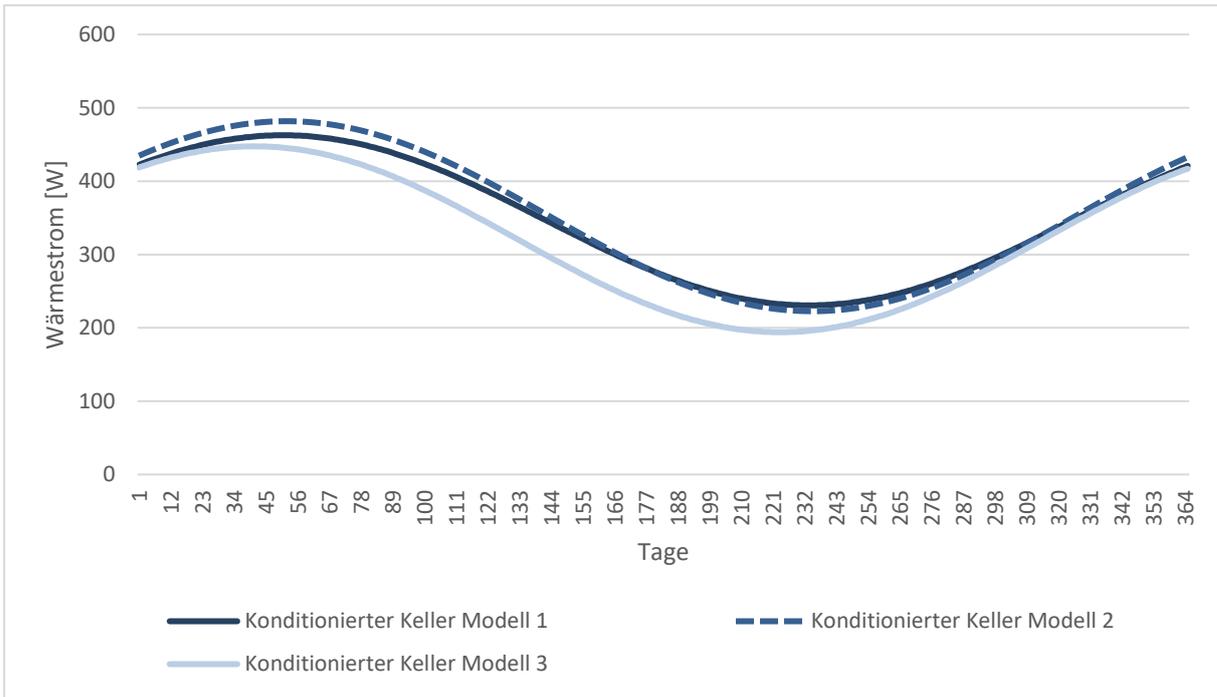


Abb. 49: Wärmeströme in  $W$  der konditionierten Keller Modelle berechnet in HTflux anhand sinusförmiger Temperaturvariationen

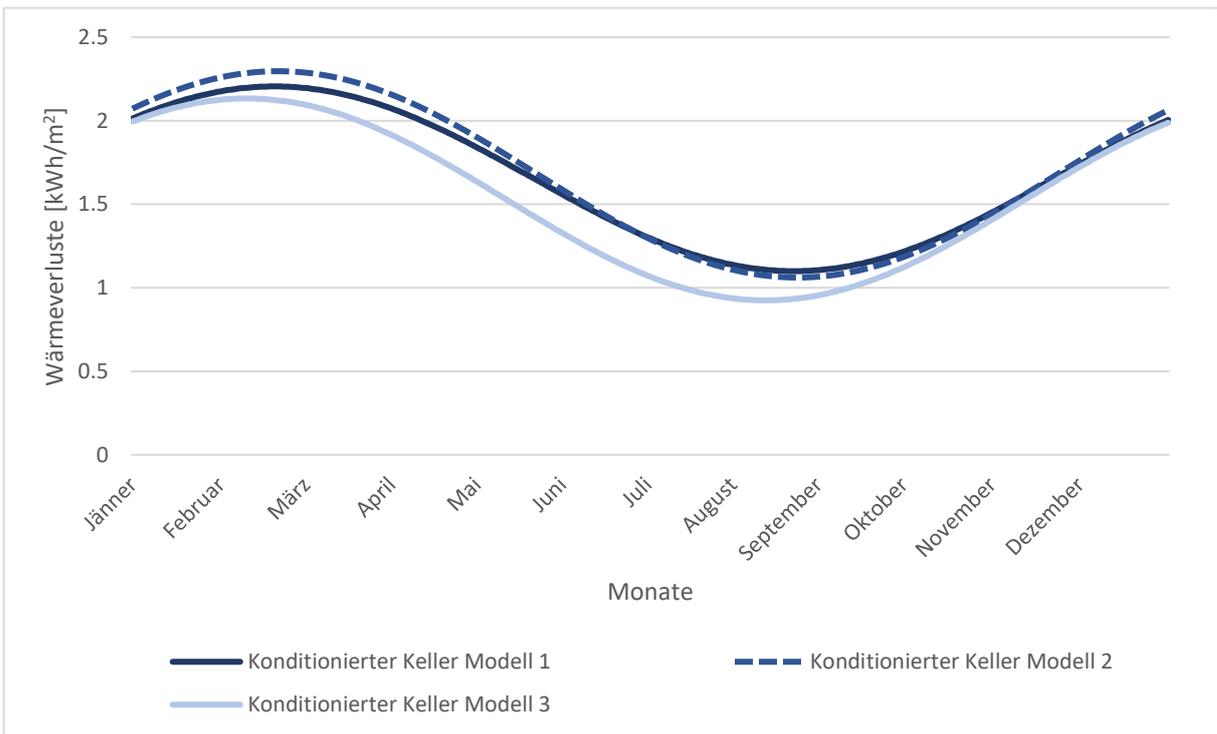


Abb. 50: Wärmeverluste in  $kWh/m^2$  der konditionierten Keller Modelle berechnet in HTflux anhand sinusförmiger Temperaturvariationen

In Abbildung 49 sind die Ergebnisse für das zweite betrachtete System, den konditionierten Keller, dargestellt. Beim sinusförmigen Verlauf der Wärmeströme ist ersichtlich, dass sich die Wärmestromspitzen in die Nachfolgemonate verschoben haben. Zu dieser Verschiebung kommt es, weil eine Phasenverschiebung stattfindet, sodass die maximalen Temperaturen im Erdreich später auftreten. Außerdem nimmt die Amplitude der sinusförmigen Temperaturverläufe mit zunehmender Erdreichtiefe ab. Infolge der Phasenverschiebung und Verringerung der Amplitude werden die Temperaturen im Erdreich unter der Kellerbodenplatte im geringeren Ausmaß als bei den nicht unterkellerten Modellen von den Außentemperaturen beeinflusst. Daher hängt auch der gesamte Wärmeverlust der unterkellerten Modelle in der Heizperiode mehr von den Kellerwänden und ihrem Aufbau als von der Kellerbodenplatte ab. Die Kellerwände sind auch stärker den Einflüssen der Schwankungen der Außentemperatur ausgesetzt. Im Jahresverlauf nimmt von Mitte Juni bis Mitte Oktober der Einfluss der Kellerbodenplatte zu. Deswegen ändert sich der Verlauf der Wärmeströme in dieser Periode bzw. kommt es zu einem Abstieg der Wärmeströme. Dessen Ursache liegt am unterschiedlichen Aufbau der Kellerbodenplatte. Ein weiterer Parameter, durch den gesamte Wärmeverlust des unterkellerten Modells beeinflusst wird, ist die Fläche der Kellerwände, die größer als die der Kellerbodenplatte ist.

Der Zusammenhang zwischen dem Wärmestromverlauf in einem Jahr und dem U-Wert der Bauteile wird im Diagramm (Abb. 49) dargestellt. Die Wärmestromverläufe zeigen, dass die Unterschiede zwischen Modell 1 und 2 kleiner als bei den nicht unterkellerten Modellen (Abschnitt 4.4.2) sind. Die Wärmeströme schwingen für Modell 1 mit Bodenaufbau 1 im Bereich von 462W im Februar bis 232W im August bzw. für Modell 2 mit Bodenaufbau 2 im Bereich von 479W bis zu 225W. Es zeigt sich, dass bei dieser unterkellerten Konstruktion das Modell mit Bodenaufbau 3 Wärmeströme im Bereich von 445W bis 195W aufweist.

In Abbildung 50 sind die Wärmeverluste bezogen auf Quadratmeter des gesamten Kellers dargestellt. Anhand des sinusförmigen Verlaufs der Wärmeverluste ist es möglich, die Gesamtwärmeverluste für ein Jahr zu berechnen. Die Ergebnisse der Gesamtwärmeverluste zeigen, dass Modell 2 mit reduzierter Außendämmung die größten Wärmeverluste hat. Im Vergleich zu Modell 2 weist das Modell 1 um 2,6% und das Modell 3 um 4,5% geringere Wärmeverluste auf.

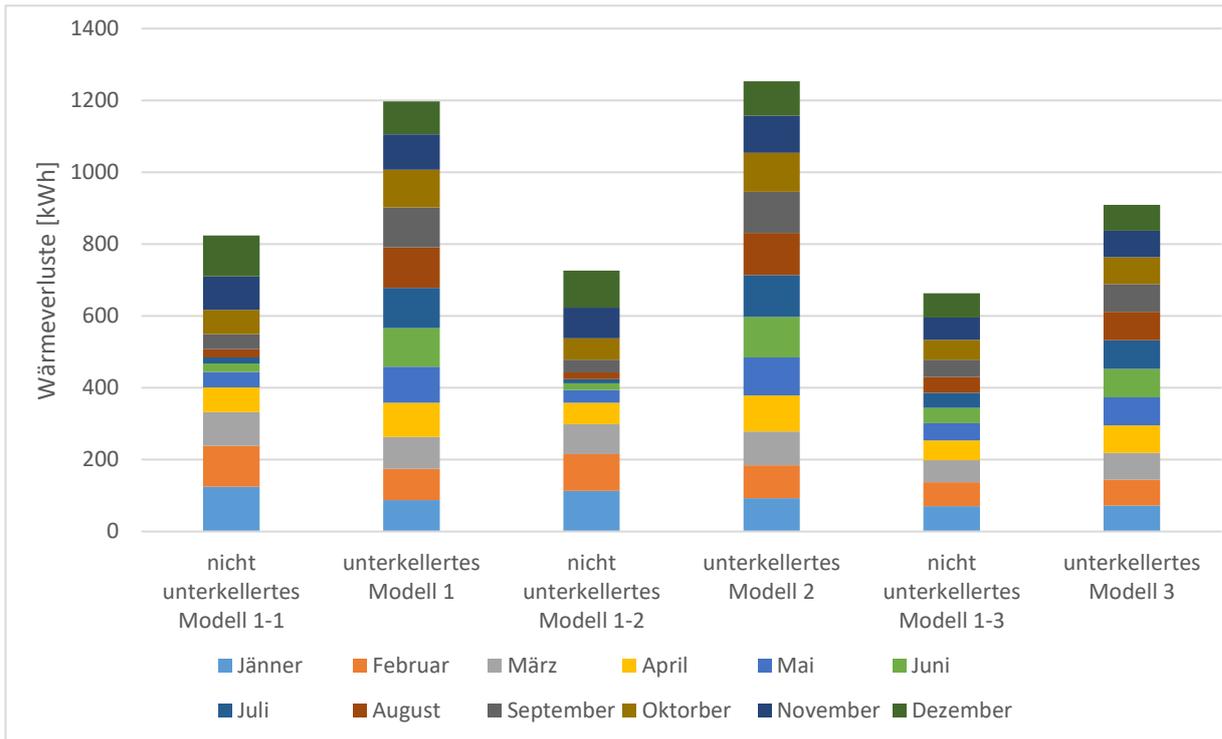


Abb. 51: Vergleich zwischen Bodenplatte nicht unterkellert und unterkellert

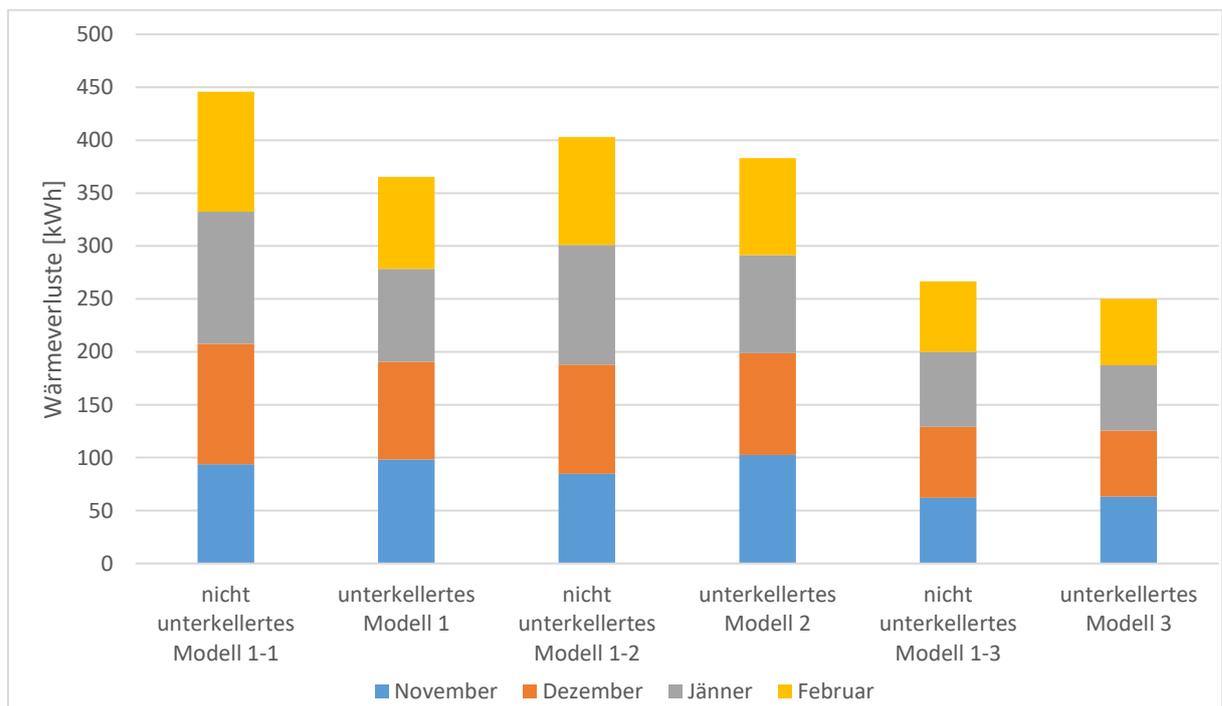


Abb. 52: Vergleich zwischen Bodenplatte nicht unterkellert und unterkellert in Heizperiode

In Abbildung 51 werden die Wärmeverluste der Bodenplatte der nicht unterkellerten Modelle mit der Bodenplatte der unterkellerten Modelle verglichen. Aus dem Diagramm (Abb. 51) wird ersichtlich, dass im Jahresgang, die Bodenplatten der unterkellerten Modelle, die größten Gesamtwärmeverluste aufweisen. Die Begründung für ein solches Verhalten liegt in der Tatsache, dass die Temperatur in dem Erdreich mit der zunehmenden Tiefe weniger von der

Außentemperatur beeinflusst wird. Bei den unterkellerten Modellen schwankt die Temperatur unter der Fundamentplatte mit den kleineren Amplituden und wird nicht durch die Schwankungen der Außentemperatur wie die nicht unterkellerten Modelle beeinflusst (Abbildung 61). Demzufolge sind die Wärmeverluste für einzelne Monate der unterkellerten Modelle fast gleich. Bei den Modellen mit Aufbau 1 unterschieden sich die Wärmeverluste um 31%, bei den Modellen mit Aufbau 2 um 41% und bei den Modellen mit Schaumglasschotter um etwa 27%. Wenn man nur die Wärmeverluste in der Heizperiode von November bis einschließlich Februar analysiert, ergeben sich andere Ergebnisse (Abbildung 52). In diesem Fall abschneiden die unterkellerten Modelle geringere Wärmeverluste als die nicht unterkellerten Modelle. Die Unterschiede der Wärmeverluste in diesem Zeitraum betragen 18% zwischen den Modellen mit dem Aufbau 1, 6% zwischen den Modellen mit Aufbau 2 und 5% zwischen den Modellen mit Aufbau 3.

Aus der Analyse der Ergebnisse lässt sich erstens die Schlussfolgerung ziehen, dass bei den unterkellerten Konstruktionen die Kellerwände mehr Einfluss auf die Gesamtwärmeverluste haben als die Kellerbodenplatte. Zweitens ist die Auswirkung der U-Wert bei der Kellerbodenplatte nicht so deutlich wie bei der nicht unterkellerten Konstruktion, jedoch führen bessere U-Werte zur Verringerung der Wärmeverluste.

#### 4.4.4 Unkonditionierter Keller

##### Unkonditionierter Keller Modell 1

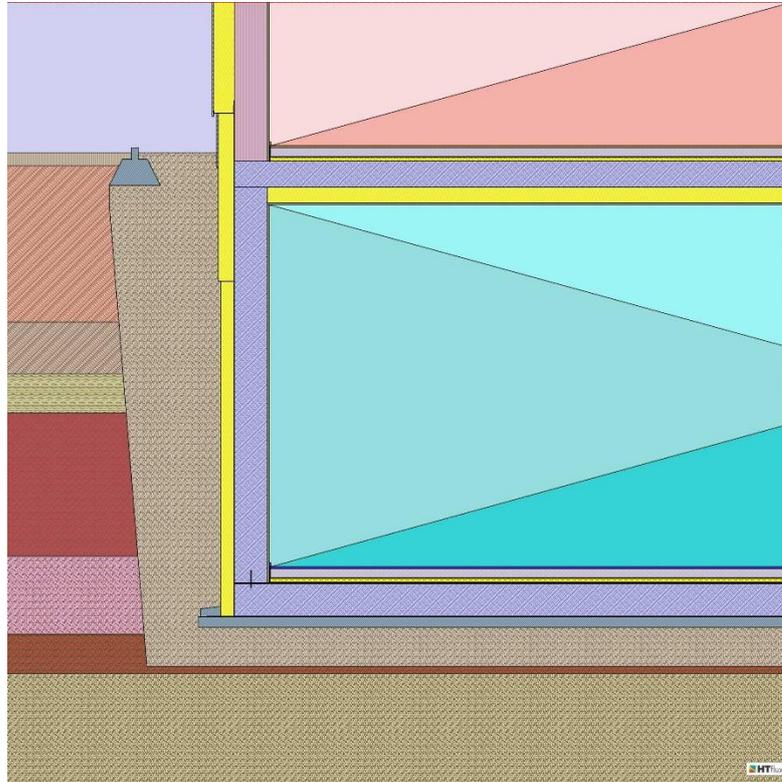


Abb. 53: Materialansicht unkonditionierter Keller Modell 1

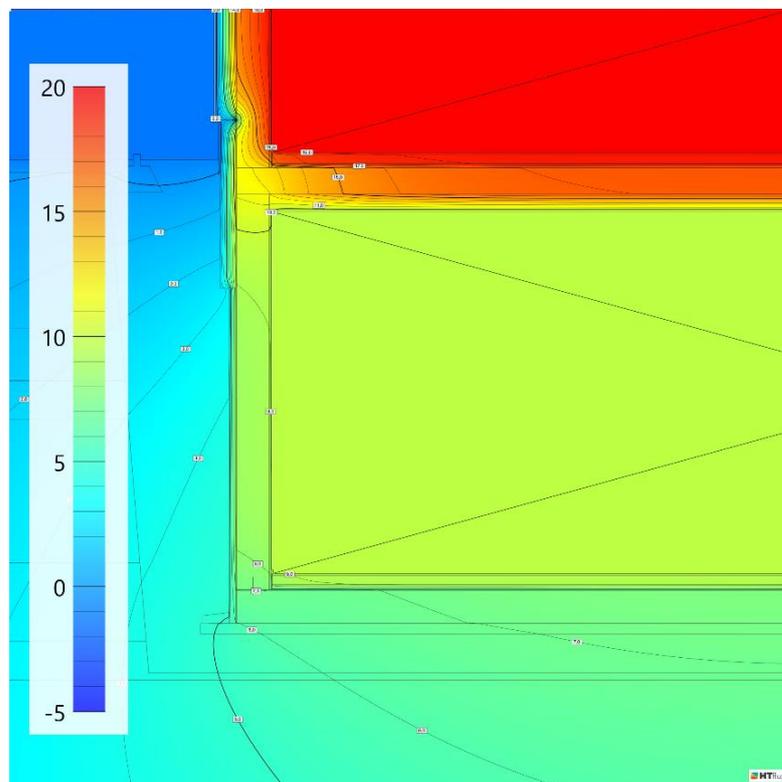


Abb. 54: Temperaturansicht unkonditionierter Keller Modell 1

### Unkonditionierter Keller Modell 2

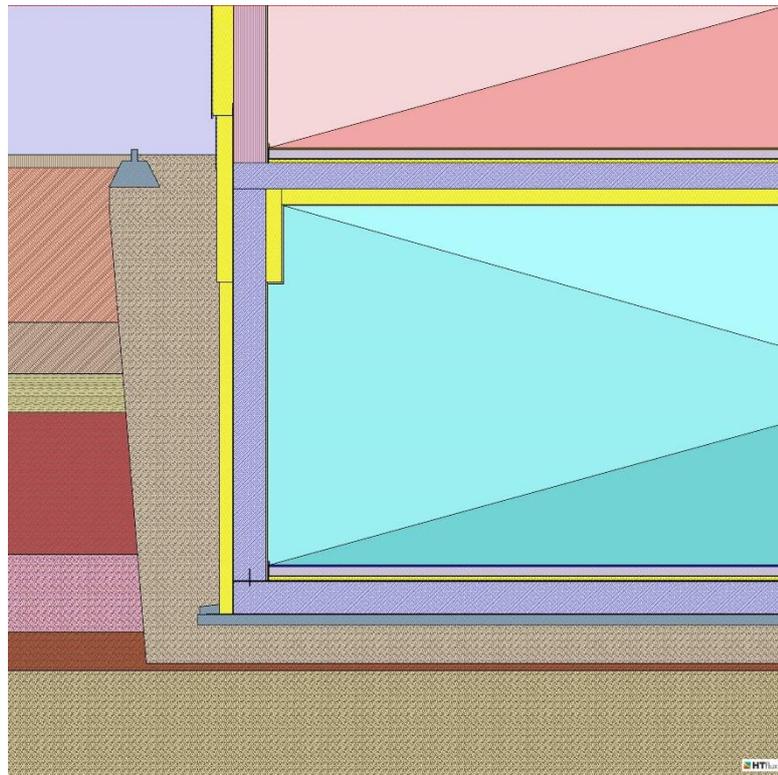


Abb. 55: Materialansicht unkonditionierter Keller Modell 2

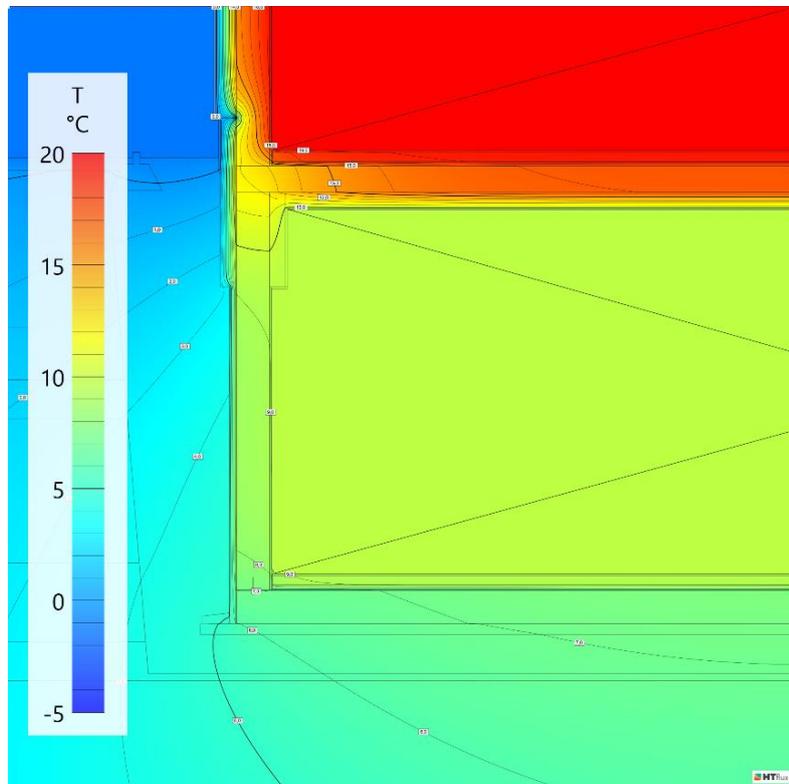


Abb. 56: Temperaturansicht unkonditionierter Keller Modell 2

### Unkonditionierter Keller Modell 3

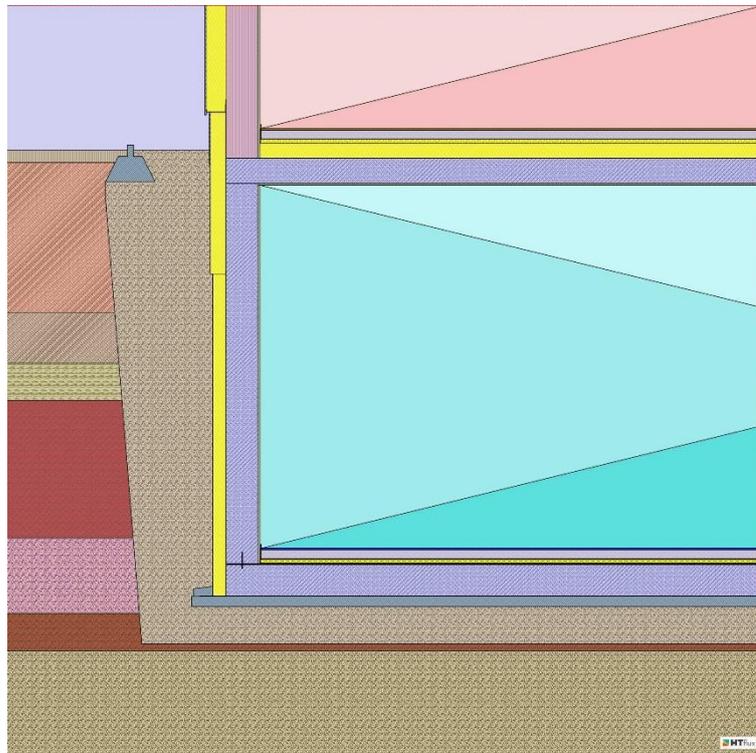


Abb. 57: Materialansicht unkonditionierter Keller Modell 3

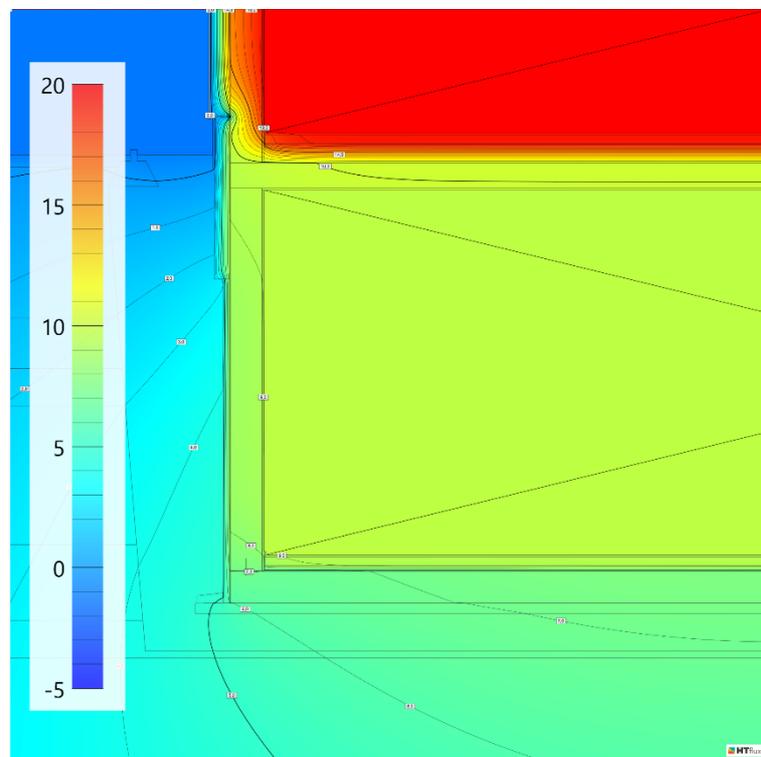


Abb. 58: Temperaturansicht unkonditionierter Keller Modell 3

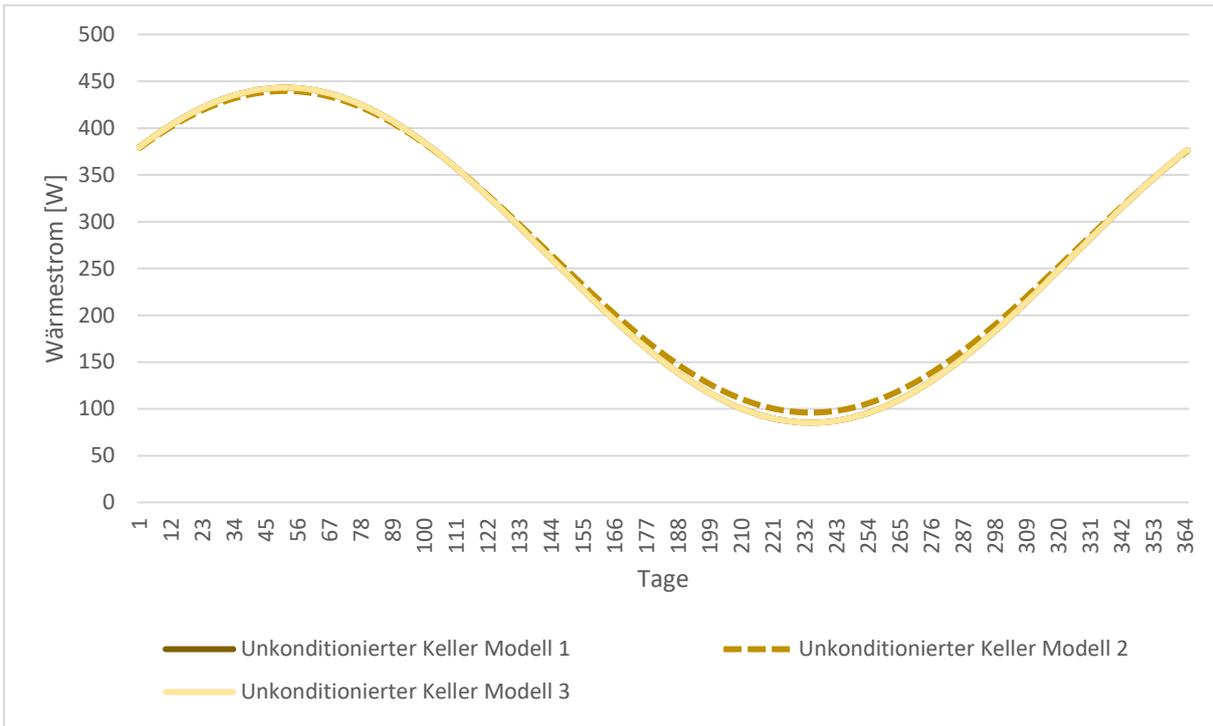


Abb. 59: Wärmeströme in W der unconditionierten Keller Modelle berechnet in HTflux anhand sinusförmiger Temperaturvariationen

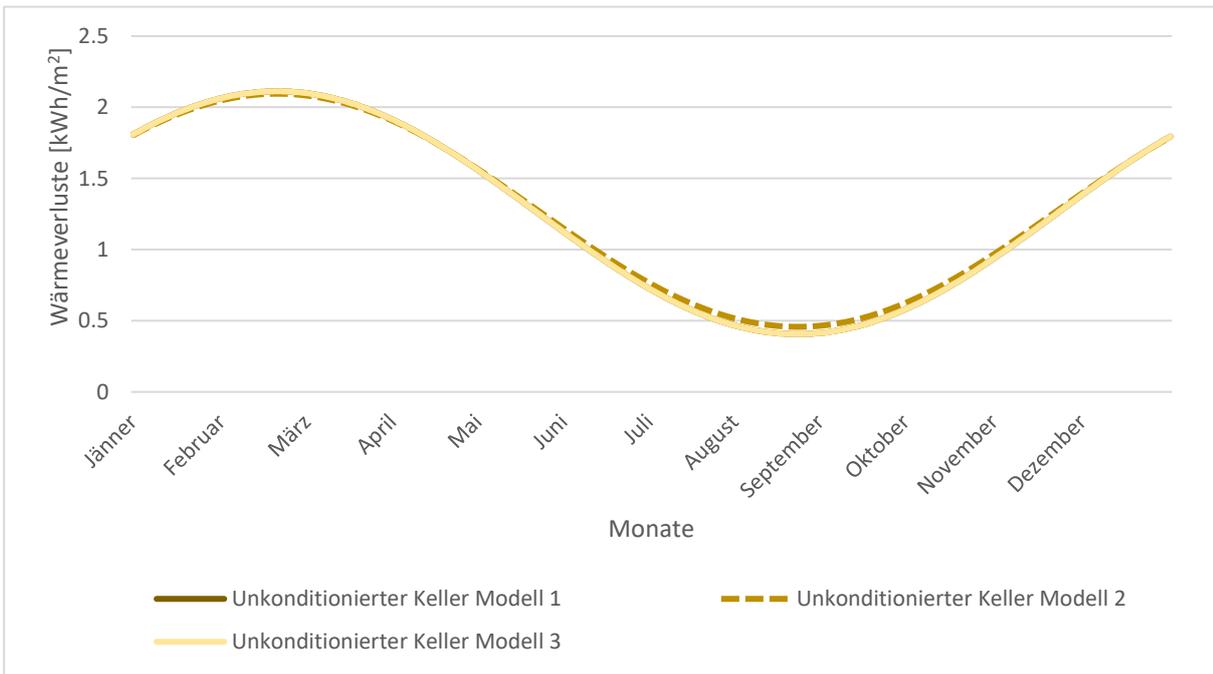


Abb. 60: Wärmeverluste in kWh/m² der unconditionierten Keller Modelle berechnet in HTflux anhand sinusförmiger Temperaturvariationen

In Abbildung 59 sind die Wärmestromverläufe der unkonditionierten Keller Modelle dargestellt. Die Unterschiede zwischen Modell 1, 2 und 3 sind geringer als bei den Modellen mit konditioniertem Keller. Die Wärmeströme schwingen im Bereich von 443W im Februar bis 85W im September. Es ist auch ersichtlich, dass bei jeden dieser Modelle ein fast identischer Verlauf des Wärmestroms auftritt. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, dass alle Modelle mit gleichem Aufbau der Kellerwand und der Kellerbodenplatte modelliert sind. Die Unterschiede zwischen diesen Modellen sind durch die Detailsausbildung der Kellerdecke gekennzeichnet (Abb.7). Diese Vorgehensweise soll zeigen, ob und in welchem Umfang die Ausbildung der Kellerdecke bzw. Kellerkanten die Wärmeverluste des unkonditionierten teilweise gedämmten Kellergeschosses beeinflusst. Wie die Diagramme in Abbildung 62 zeigen, sind diese Einflüsse vernachlässigbar klein.

Die Temperaturen im Erdreich verhalten sich genau wie bei den konditionierten Keller Modellen. Der Temperaturverlauf im Boden ist in der folgenden Abbildung 61 dargestellt. Mit zunehmender Erdreichtiefe schwanken die Temperaturen mit niedrigeren Amplituden und der Einfluss der Außentemperatur auf die Temperaturen in Erdreich nimmt ab. Infolge dieses Verhaltens und der Tatsache, dass die Innentemperatur des Kellergeschosses als gewichtet definiert ist (Abschnitt 4.3.2), kommt es dazu, dass das Kellergeschoss niedrige Wärmegewinne durch die Kellerbodenplatte aufweist. Diese Gewinne beeinflussen die Endergebnisse nicht in entscheidendem Maß, sondern die Wärmeverluste durch die Kellerwände.

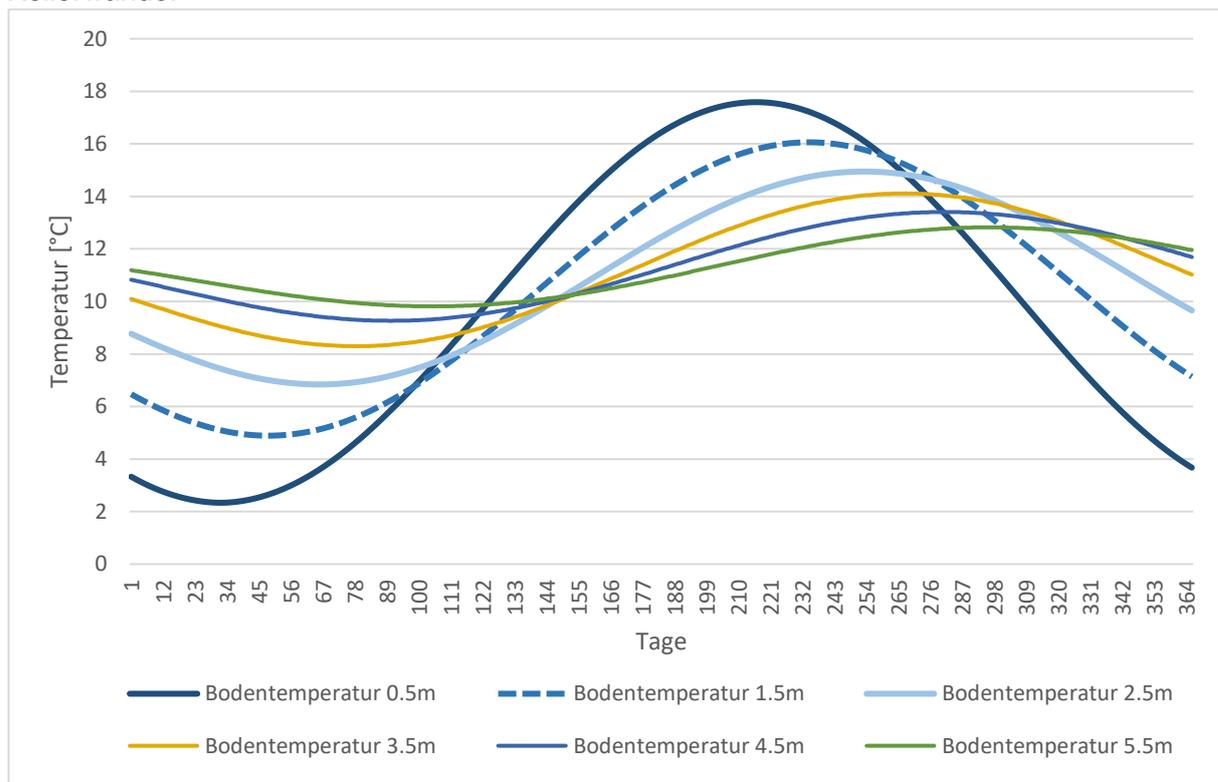


Abb. 61: Jährlicher Verlauf der Bodentemperatur

Es sollte nicht unerwähnt bleiben, dass die Gesamttransmissionswärmeverluste für drei andere Varianten des unconditionierten Kellers untersucht wurden. Bei diesen Varianten wurde die Dämmung der Kellerwände mit einer reduzierten Dicke von 5cm angenommen. Die Ergebnisse der Wärmeverluste wurden den Berechnungsergebnissen des unconditionierten Kellers (Abb. 59) gegenübergestellt. Die Wärmeverluste in der Heizperiode erhöhen sich dann beim unconditionierten Keller mit reduzierter Dämmungsdicke um 17%.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Wärmeströme zwischen dem konditionierten Raum und dem Kellergeschoss durch die Kellerdecke analysiert. Um den Einfluss der unterschiedlichen Kellerdeckenausbildung auf die Wärmeübertragung durch die Kellerdecke festzustellen, wird in Abbildung 62 der jährliche Wärmestromverlauf für drei Kellerdeckenvarianten dargestellt.

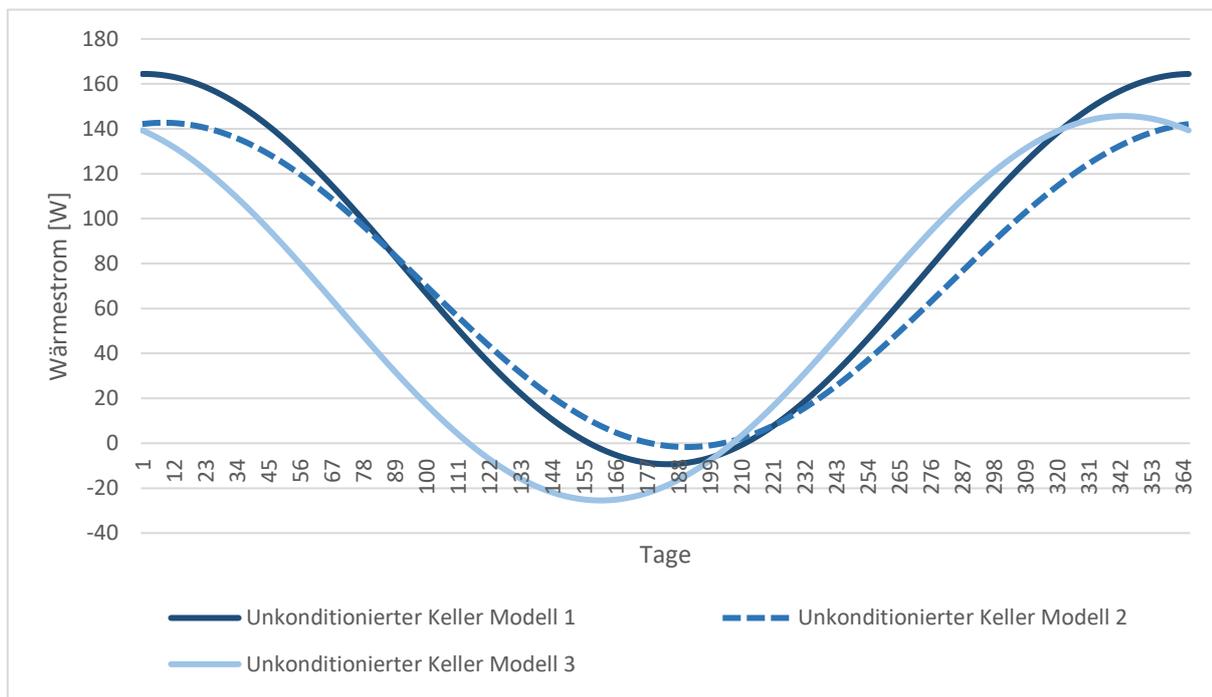


Abb. 62: Wärmeströme in W der unconditionierten Kellerdecken Modelle berechnet in HTflux

Die Variante mit der Wärmedämmung auf der Unterseite der tragenden Erdgeschossdecke und seitlicher Wärmedämmung der Kellerwand (Modell 2) weist im Vergleich zur Variante mit der Wärmedämmung auf der oberen Seite der Erdgeschossdecke (Modell 3) deutlich geringere Schwankungen des Wärmestroms auf. Aus dem Diagramm wird ersichtlich, dass Modell 3 in einem Zeitfenster auch kleine Wärmegewinne erfährt. Daraus lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass dieses Modell eine schlechtere wärmetechnische Qualität besitzt. Auf der anderen Seite hat das Modell 2 bessere wärmetechnische Eigenschaften gezeigt. Die Variante mit der Wärmedämmung auf der Unterseite (Modell 1) kann man als Mittelding zwischen den zwei anderen Varianten kennzeichnen.

#### 4.4.5 Wärmestromverläufe anhand des mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur

Auf den nächsten Seiten werden die Wärmestromverläufe anhand des mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur aus den Jahren 2005-2007 (Abb.23) dargestellt. Diese ermittelte Außentemperatur wurde als neue Randbedingung herangezogen. Die Wärmeströme wurden für die gleichen Modelle berechnet, namentlich nicht unterkellerte, konditionierter Keller und unkonditionierter Keller berechnet. Die Geometrie, der Detailaufbau und die Innentemperatur der Modelle bleiben unverändert.

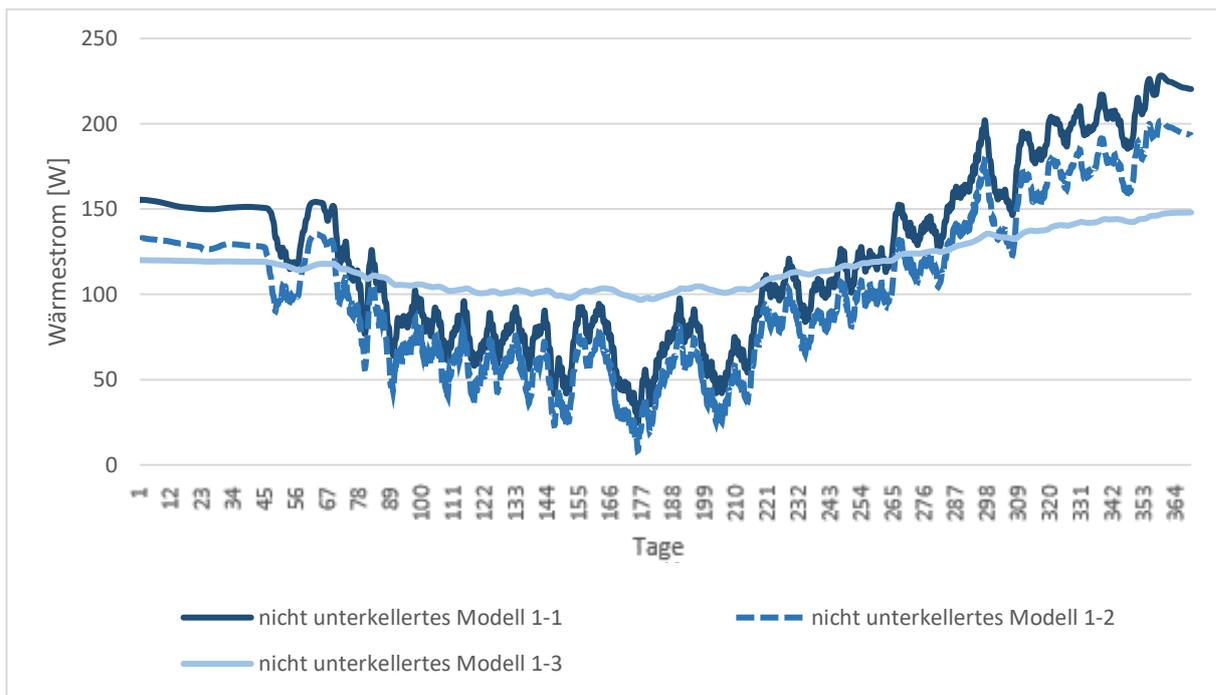


Abb. 63: Wärmeströme in W der nicht unterkellerten Modelle 1 berechnet in HTflux anhand des mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur

In Abbildung 63 sind die Wärmestromverläufe für die nicht unterkellerte Modellgruppe 1 dargestellt. Im Vergleich zu den Ergebnissen der Modelle mit sinusförmigem Verlauf der Außentemperatur (Abb. 32) weisen diese Modelle veränderliche Verläufe auf, die von der Schwankung der Außentemperatur bestimmt sind. Am Anfang schwankt die Außentemperatur in der Temperaturspanne von  $-7^{\circ}\text{C}$  bis  $8^{\circ}\text{C}$  und der Wärmestromverlauf hat einen fast kontinuierlichen Verlauf. In Folge der Steigerung der Außentemperatur werden die Wärmeverluste geringer bis hin zum Juli, wenn die Wärmeverluste am geringsten sind. Ab Juli werden die Wärmestromverluste infolge der Senkung der Außentemperatur größer. Für diese Modelle ist, wie bei anderen Modellen, der U-Wert der Faktor, der die wesentlichen Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Aufbauten bewirkt. Demzufolge weisen die Modelle mit dem geringsten U-Wert (Bodenaufbau 1 und 2) größere Gesamtwärmeverluste als das Modell mit Bodenaufbau 3 auf.

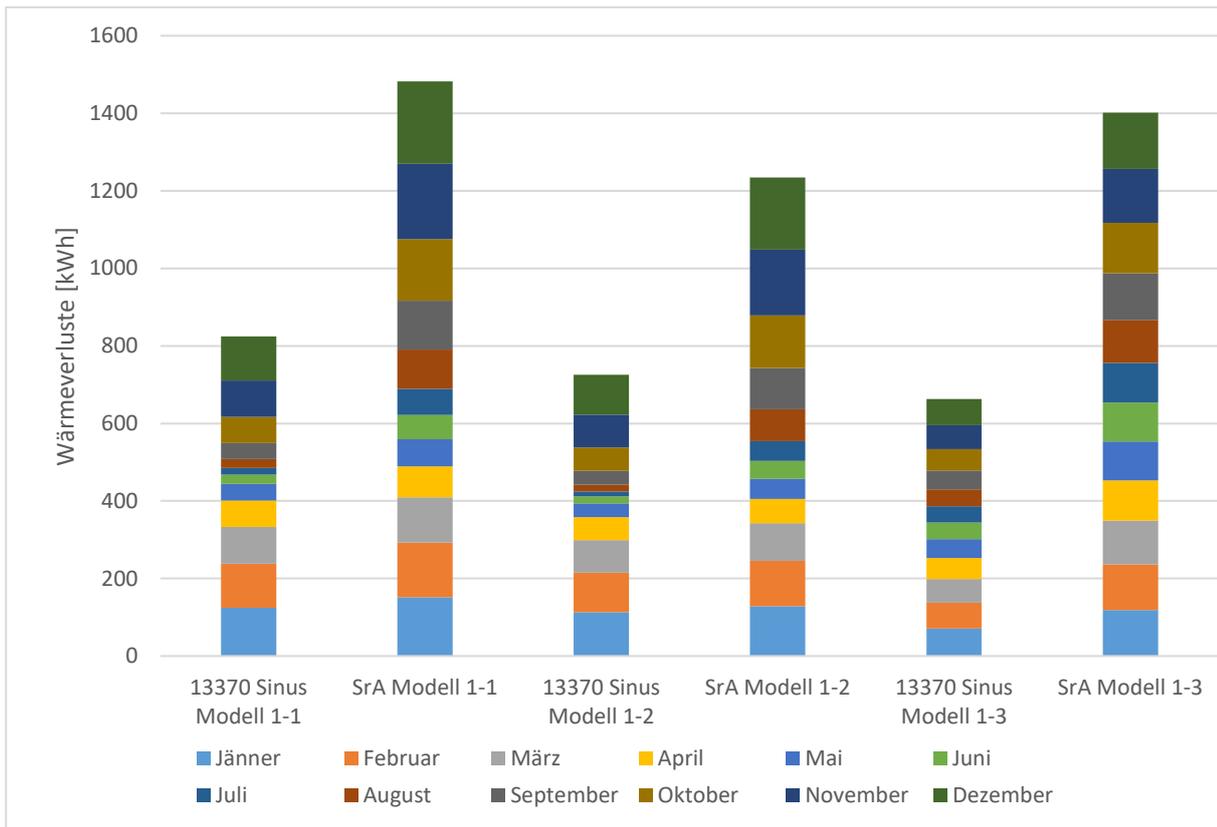


Abb. 64: Vergleich der Wärmeverluste der nicht unterkellerten Modellgruppe 1 berechnet anhand des sinusförmigen und mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur

Die Abkürzung 13370 Sinus, bezieht sich auf die Ermittlung der Wärmeverluste mittels einer sinusförmigen Temperaturschwankung (Abb. 23) und die Abkürzung SrA auf die Berechnung der Wärmeverluste mittels der Stundenwerte realer Außenklimadaten (Abb. 24).

Aus dem Diagramm (Abb. 64) wird ersichtlich, dass die Wärmeverlust der Modelle mit realen Außenklimadaten größer sind als die Gesamtwärmeverluste der Modelle mit sinusförmiger Temperaturschwankung. Eine Änderung des Außentemperaturverlaufs führt zur Erhöhung des Wärmeverlustes. Bei den Modellen mit Aufbau 1 ergibt sich eine Erhöhung der Wärmeverluste von 40%, bei den Modellen mit Aufbau 2 von 41% und bei den Modellen mit Schaumglasschotter um etwa 52%.

Der Zusammenhang zwischen den Wärmestromverläufen im Jahresgang und der Detailausbildung mit unterschiedlichen Aufbauten der Modellgruppe 2 wird in der nächsten Abbildung dargestellt.

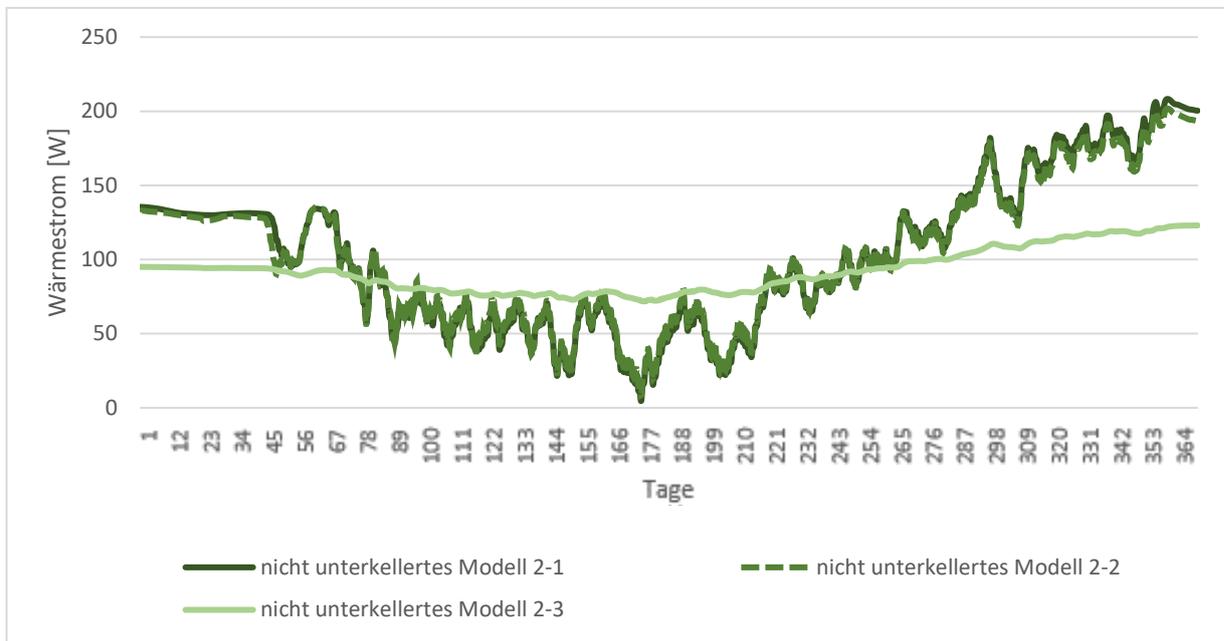


Abb. 65: Wärmeströme in  $W$  der nicht unterkellerten Modelle 2 berechnet in HTflux anhand des mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur

Die Anmerkungen für die Modellgruppe 1 gelten auch für diese Modelle. Die Wärmestromverläufe werden durch die Außentemperatur und die U-Werte der Bauteilaufbauten bestimmt. Im Vergleich mit Modell 1-1, 1-2 und 1-3 weisen diese Modelle geringere Gesamtwärmeverluste auf. Dies basiert auf der Tatsache, dass die Temperaturen im umgebenden Erdreich bei den nicht unterkellerten Modellen 2 durch die Ausbildung der Frostschräge beeinflusst werden. Auch hier erweist sich das Modell mit dem Bodenaufbau 3 als das mit dem geringsten Wärmeverlust.

Der Vergleich der über die verschiedenen Außenklimadaten ermittelten Wärmeverluste wird in Abbildung 66 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Wärmeverluste der Modelle, die mit den Stundenwerten realer Außenklimadaten berechnet wurden, größer sind. Bei den Modellen mit Aufbau 1 ergibt sich eine Erhöhung der Wärmeverluste von 22%, bei den Modellen mit Aufbau 2 von 27% und bei Aufbau 3 um 40%.

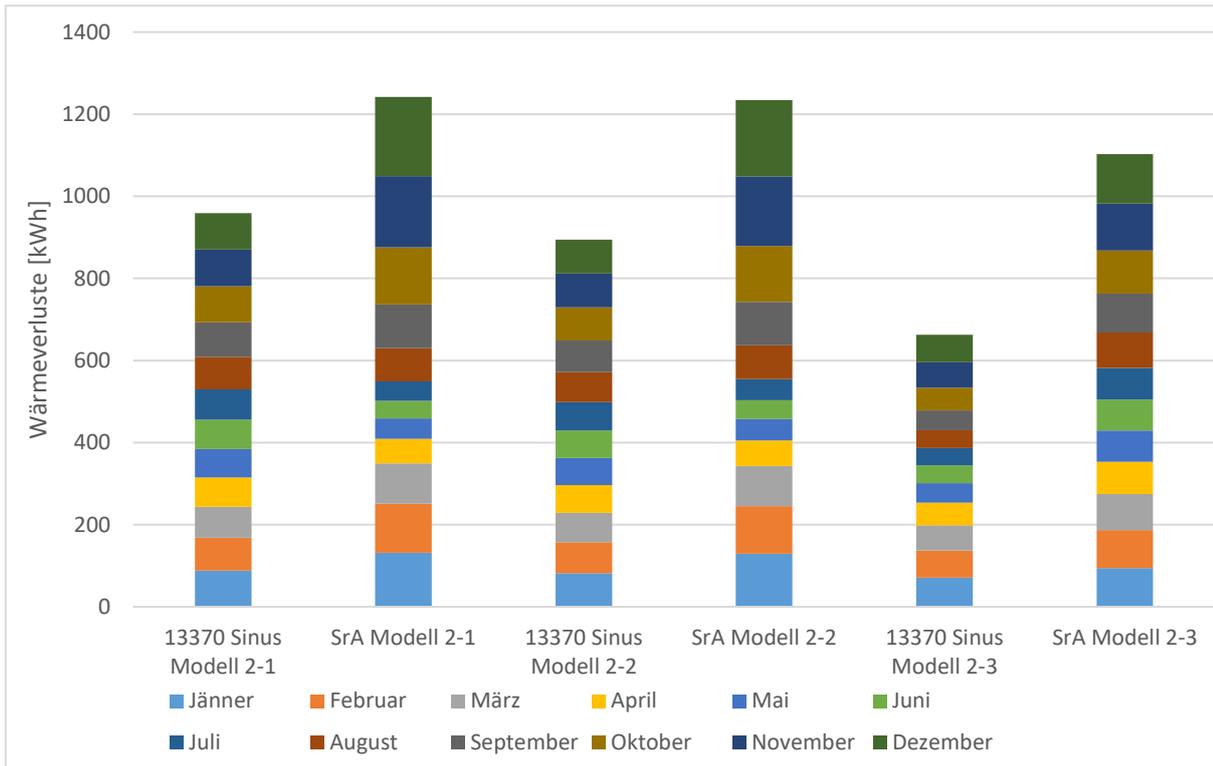


Abb. 66: Vergleich der Wärmeverluste der nicht unterkellerten Modellgruppe 2 berechnet anhand des sinusförmigen und mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur

In Abbildung 67 sind Wärmestromverläufe für konditionierte Keller Modelle dargestellt. Der Bauteilaufbau hat großen Einfluss auf die Gesamtwärmeverluste. Es ist ersichtlich, dass die Modelle in Abhängigkeit von den U-Werten unterschiedliche Wärmestromverluste aufweisen. Im Vergleich zum konditionierten Keller Modell 3 haben Modell 1 und 2 fast identische Wärmestromverläufe, weil der Unterschied zwischen den U-Werten von Modell 1 und 2 nur 0,005 beträgt.

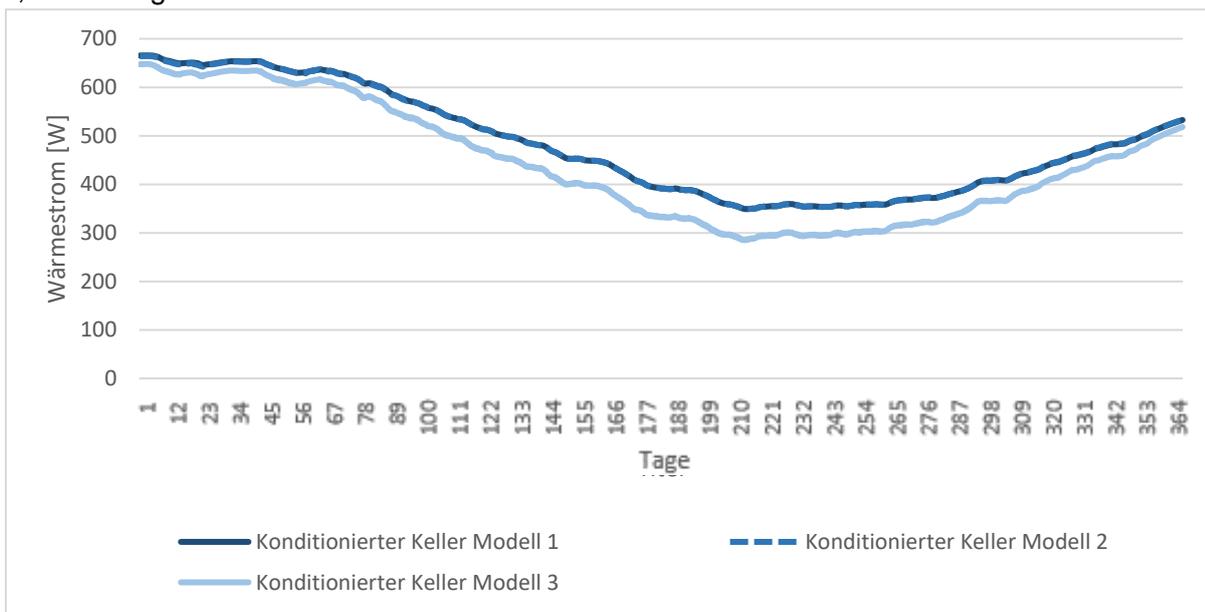


Abb. 67: Wärmeströme in W der konditionierten Keller Modelle berechnet in HTflux anhand des mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur

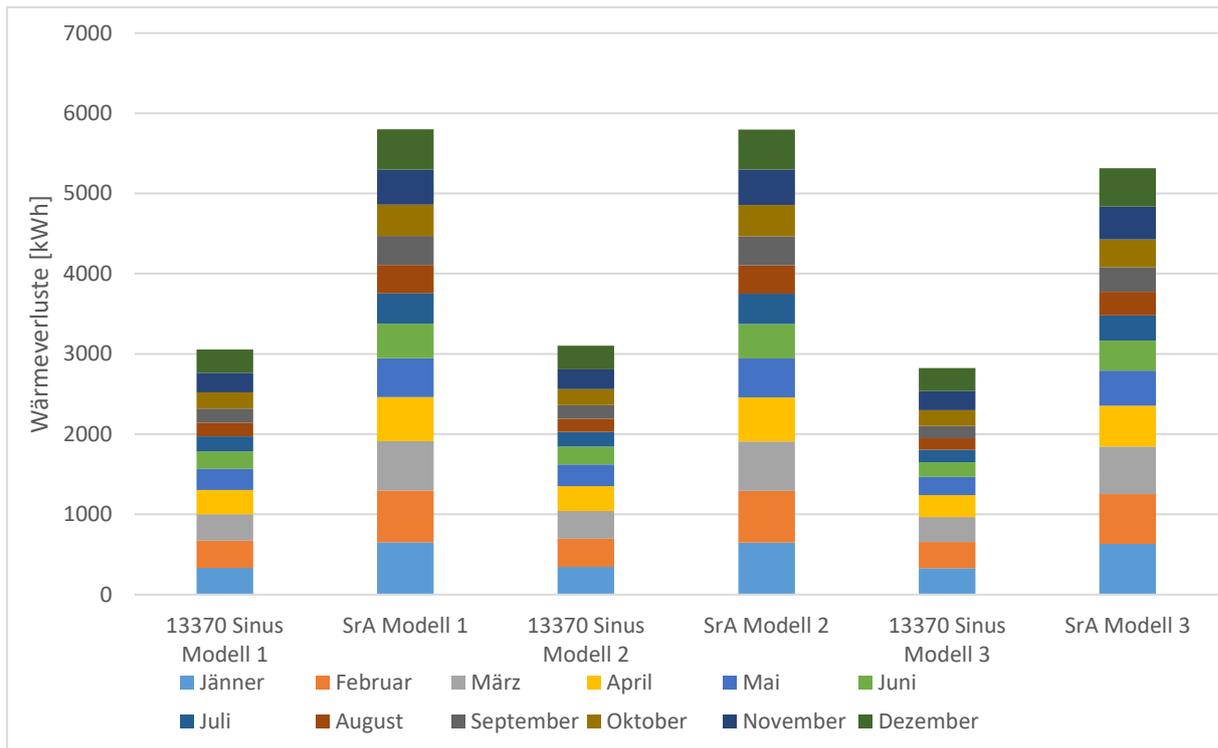


Abb. 68: Vergleich der Wärmeverluste der konditionierten Keller berechnet anhand des sinusförmigen und mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur

Um den Einfluss des Klimas in Bezug auf die Wärmeverluste des konditionierten Kellers festzustellen, werden in Abbildung 68 die Wärmeverluste der Variante mit sinusförmiger Temperaturverlauf mit denen der Variante mit realer Außenklimadaten verglichen. Es ist ersichtlich, dass die Wärmeverluste, die anhand realer Außenklimadaten berechnet werden, für alle Modelle größer sind als diejenigen, die anhand sinusförmiger Außentemperaturverlauf berechnet werden. Bei den Modellen mit Aufbau 1 ergibt sich eine Erhöhung der Wärmeverluste von 47%, bei Aufbau 2 von 46% und bei den Modellen mit Aufbau 3 um 47%.

Die Wärmestromverläufe der unkonditionierten Keller Modelle sind in nachfolgender Abbildung dargestellt.

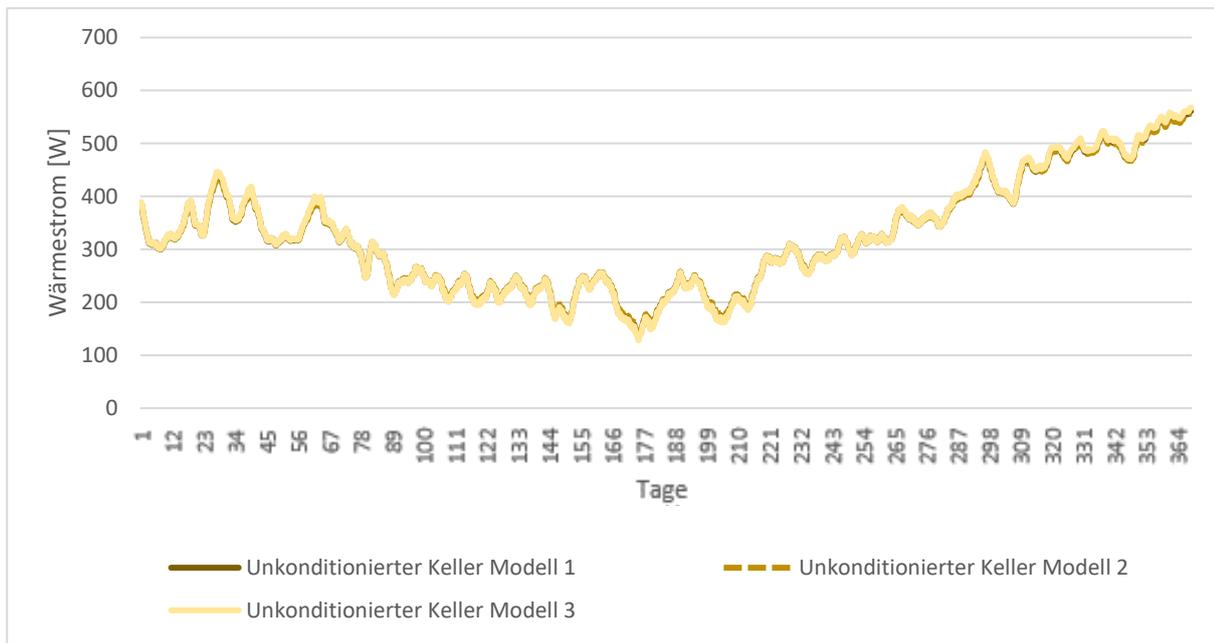


Abb. 69: Wärmeströme in W der unkonditionierten Keller Modelle berechnet in HTflux anhand des mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur

Wie das Bild zeigt, weisen alle drei Modelle einen ähnlichen Verlauf im Jahrgang auf. Im Vergleich zu den konditionierten Modellen schwankt der Wärmestromverlauf stärker, weil diese Modelle wegen ihrer wärmetechnische Qualitäten empfindlicher auf Schwankung der Außentemperatur reagieren. Auch wenn diese Modelle schlechtere U-Werten aufweisen, sind die Gesamtwärmeverluste geringer als bei den konditionierten Modellen. Die Begründung dafür ist die Innentemperatur, die bei unkonditionierten Keller Modellen veränderlich ist.

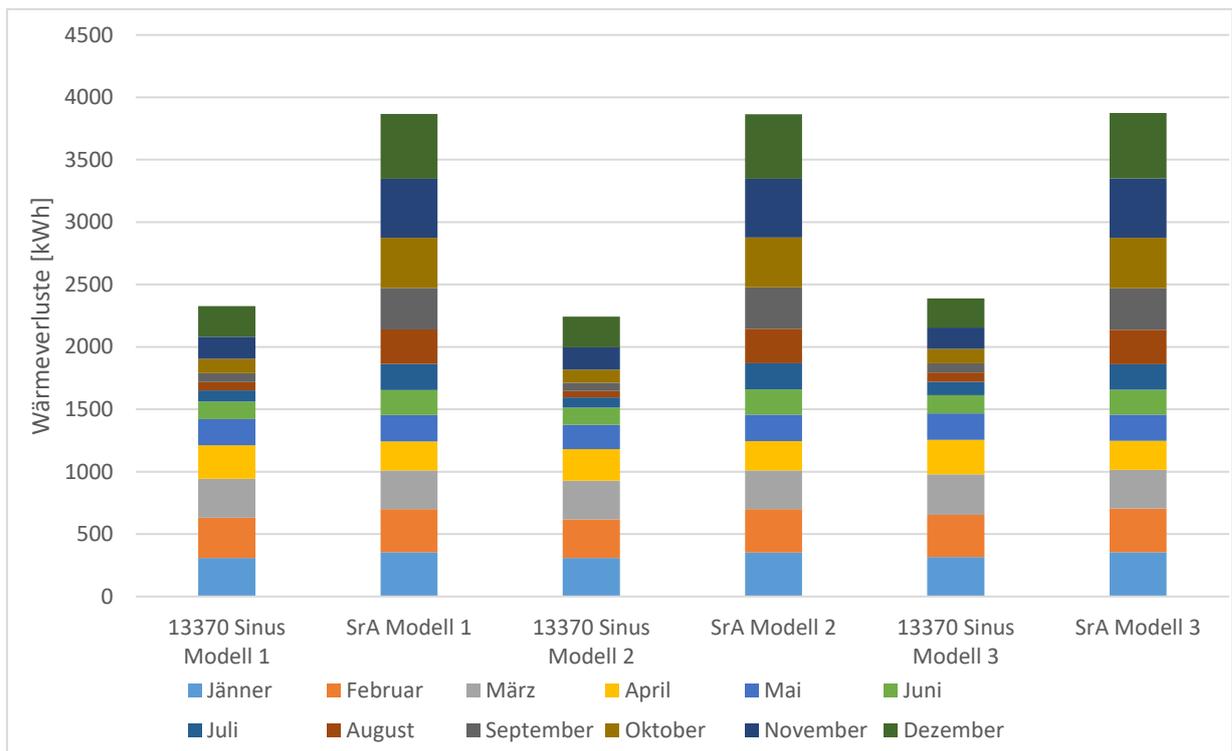


Abb. 70: Vergleich der Wärmeverluste der unkonditionierten Keller berechnet anhand des sinusförmigen und mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur

In Abbildung 70 ist ein Vergleich zwischen den Wärmeverlusten der unkonditionierten Keller dargestellt. Die Wärmeverluste wurden einerseits anhand sinusförmiger Temperaturschwankung der Außentemperatur, andererseits unter Verwendung der realen Außenklimadaten berechnet. Es ist ersichtlich, dass die Modelle mit den realen Außentemperaturdaten größere Wärmeverluste aufweisen. Beim Vergleich ergibt sich bei den Modellen 1 eine Erhöhung der Wärmeverluste von 40%, bei den Modellen 2 von 42% und bei den Modellen 3 um 38%.

## 4.5 Zusammenfassung

Neben den vereinfachten Berechnungsverfahren nach EN ISO 13370 [1] wurde in dieser Arbeit auch die Berechnung der Wärmeströme bzw. Wärmeverluste von Modellen mit den unterschiedlichen Konstruktionsausbildungen und Variationen der Aufbauten mit Hilfe des zweidimensionalen Simulationsprogramms HTflux durchgeführt.

Um den Einfluss der unterschiedlichen Faktoren, von denen der Wärmestrom abhängig ist, (darunter das wärmetechnische Verhalten des Erdreichs, dessen dämmende und speichernde Wirkung den Verlauf des Wärmestroms wesentlich beeinflusst) zu berücksichtigen, sind instationäre Simulationen erforderlich. Ein anderer Grund für die Durchführung zweidimensionaler Simulationen liegt in der Tatsache, dass die Leitwerte instationär und numerisch berechnet werden und somit die Auswirkungen der Wärmebrücken genauer abbilden.

Die Simulationsergebnisse haben gezeigt, dass die Temperatur im Erdreich auch einen sinusförmigen Verlauf wie die Außentemperatur aufweist, jedoch ändert sich die Amplitude der Temperaturschwankung in Abhängigkeit von der Erdreichtiefe. Die Innenraumtemperatur bleibt konstant außer bei den unkonditionierten Modellen (Abschnitt 4.3). Infolge dieses Verhaltens weisen auch die Wärmestromverläufe eine sinusförmige Form auf.

Parallel zur Simulation mit dem sinusförmigen Verlauf der Außentemperatur wurden auch Simulationen mit den Stundenwerten realer Außenklimadaten durchgeführt. Die Ergebnisse haben nachgewiesen, dass der Wärmestromverlauf wesentlich von Verlauf der Außentemperatur beeinflusst wird. Außerdem ist es mit guten Annahmen zum sinusförmigen Außenklimaverlauf möglich, die Ergebnisse vergleichbar mit realen Außenklimadaten darzustellen.

Andere Randbedingungen und Annahmen, die für die Durchführung der instationären Simulationen erforderlich sind, finden sich in Abschnitt (4.2).

## 5 3D Simulationen mit Antherm

Das in Kapitel 3 beschriebene Berechnungsverfahren mit dem längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\psi_g$  berechnet die Wärmeströme vereinfacht mit den Leitwerten, die durch die Geometrie des Gebäudes, die wärmetechnischen Eigenschaften des Erdreichs und die U-Werte der erdberührten Bauteile bestimmt sind. In Formel 3.5 für die Berechnung der stationären Leitwerte fließt der  $\psi_g$ -Wert ein, der die Einflüsse der Wärmebrücken berücksichtigt. Die Wärmeübertragung bei den erdberührten Bauteilen an das umgebende Erdreich findet nicht nur in einer bestimmten Richtung statt, sondern durch einen zwei- bzw. dreidimensionalen Vorgang. Daher sollten die Wärmebrücken und Wärmeströme bei erdberührten Bauteilen zwei- und dreidimensional betrachtet werden. Mit dieser Vorgehensweise werden die gesamten Wärmeverluste besser abgeschätzt.

Da die Einflüsse der mehrdimensionalen Wärmeleitung nicht mit Näherungsverfahren nach EN ISO 13370 [1] bestimmt werden können, werden die Simulationen softwaremäßig mit dem dreidimensionalen Programm Antherm [11] durchgeführt. Mit Antherm ist es möglich, das wärmetechnische Verhalten von Bauteilen zu analysieren.

### 5.1 Beschreibung des Simulationsmodells

In diesem Abschnitt wird erläutert, wie die dreidimensionalen Modelle in Antherm modelliert und thermisch untersucht wurden.

Auch für die Simulationen in Antherm wurden die Aufbauten und Materialeigenschaften aus Abschnitt (2.1) herangezogen. Zur Vereinfachung der Modelle wurden die dünnen Schichten, beispielsweise dünne Membranen, die als Feuchtigkeits- und Dampfbremsen bei Bauteilen dienen, vernachlässigt. Diese Vereinfachung ist normgemäß nach EN ISO 10211 [10] für dreidimensionale Modelle erlaubt.

Die wärmetechnischen Eigenschaften des Erdreichs wurden gemäß EN ISO 13370 [1] mit folgenden Werten angenommen:

- Wärmeleitfähigkeit  $\lambda=2W/(m \cdot K)$
- Volumenbezogene Wärmekapazität  $\rho \cdot c=2 \cdot 10^6 J/(m^3 \cdot K)$

Die untersuchten Systeme (nicht unterkellert, konditionierter und unkonditionierter Keller) wurden mit dem umgebenden Erdreich mit den Dimensionen gemäß ÖNORM EN ISO 10211 [10] modelliert. Genauer gesagt, wurde immer ein Viertel des gesamten Gebäudes sowie das

seitliche und unterhalb liegende Erdreich mit dem 2,5-fachen Maß des Bauwerks abgebildet. Abbildung 69 zeigt ein Beispiel, in diesem Fall das nicht unterkellerte Modell 1-1.

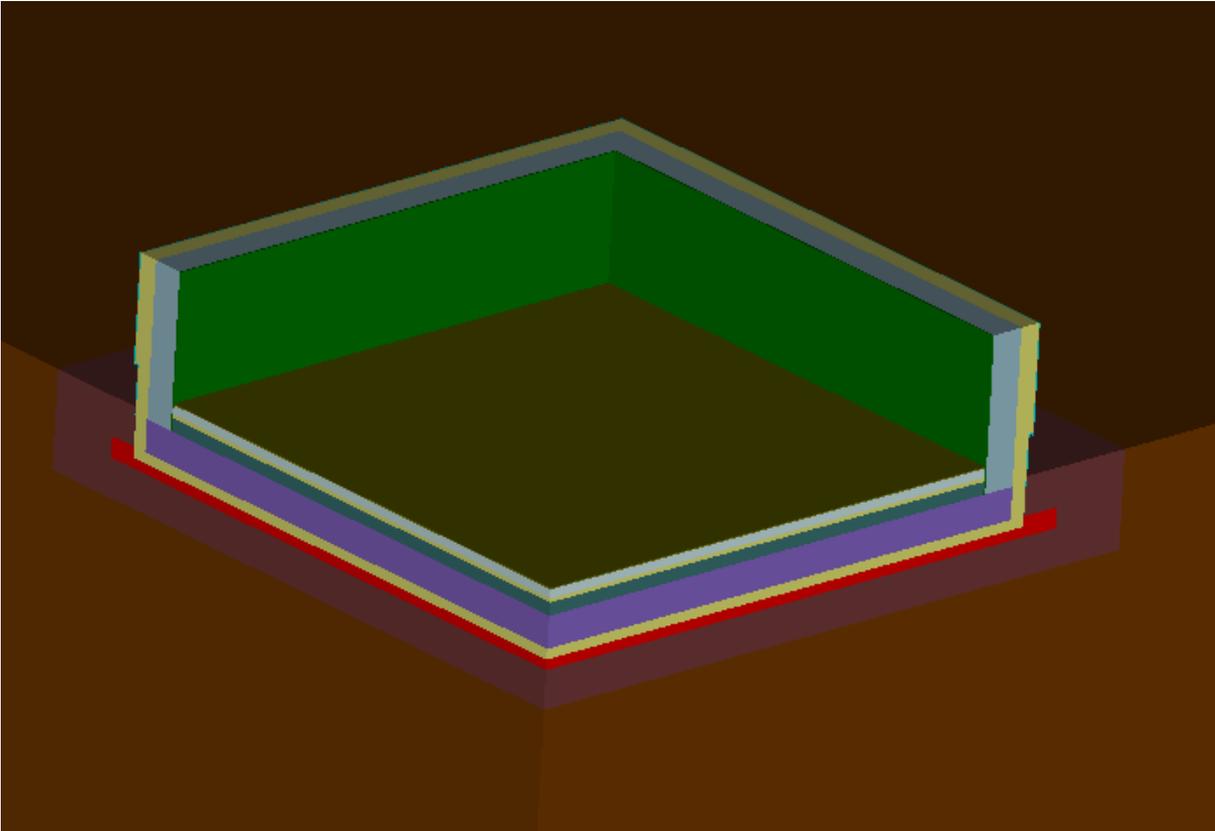


Abb. 71: 3D Abschnitt der Ecke der Bodenplatte Modell 1-1

In Abbildung 71 ist erkennbar, dass das Modell mit den Außenwänden modelliert wurde. Der Hintergrund für eine solche Modellierung liegt in der Tatsache, dass auf diese Weise der Einfluss der dreidimensionalen Wärmebrücken berücksichtigt wird. Die Länge der Außenwände beträgt einen Meter oberhalb der Fußbodenoberkante.

Die grafischen Darstellungen der anderen betrachteten Modelle befinden sich in Anhang 2.

Die Randbedingungen und Klimadaten für die dreidimensionale Berechnung der Leitwerte sind dieselben wie die in Abschnitt 3.6 für die Berechnung des Wärmestroms mit den monatlichen Mitteltemperaturen.

## 5.2 Simulationsergebnisse

### 5.2.1 Allgemeines

Die Berechnungsergebnisse hängen von den gewählten Randbedingungen bzw. von den wärmetechnischen Eigenschaften der Bauteile ab sowie von den angewendeten Temperaturen, die im Innenraum und Außenumgebung herrschen. Ein weiterer Faktor, der Einfluss auf die Endergebnisse hat, ist das ausgewählte Finite-Elemente-Netz, von dem die Genauigkeit der Ergebnisse bestimmt wird. Das Programm liefert nach Durchführung der Simulationen die Ergebnisse in Form von Leitwert-Matrizen. Die stationären Leitwerte werden für die Leitwerte zwischen den Räumen, wo die anderen Randbedingungen definiert sind, festgelegt. [11]

Wenn die Leitwert-Matrix zur Verfügung steht, kann der Wärmestrom nach Formel 5.1 ermittelt werden.

$$\Phi = L_{3D} \cdot (\theta_1 - \theta_2) \quad (5.1)$$

$\phi_m$  – der Wärmestrom [W]

$L_{3D}$  – der thermische Leitwert für dreidimensionale Berechnung [W/K]

$\theta_1$  – die Innentemperatur [°C]

$\theta_2$  – die Außentemperatur [°C]

Der Parameter  $L_{3D}$  ist der dreidimensionale Leitwert für das untersuchte Modell und  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  sind die Temperaturen, die als Randbedingungen vorgegeben sind. Die Verläufe des Wärmestroms in Abhängigkeit von der Änderung der Außentemperaturen werden für das betrachtete System in Form eines Diagramms dargestellt. Da es sich um einen stationären Leitwert handelt, werden die monatlichen Mitteltemperaturen zur Bestimmung des Verlaufs der Wärmeströme verwendet.

Das Programm Antherm ermöglicht auch die Bestimmung des Temperaturfaktors  $f_{Rsi}$ . Dieser Parameter dient zur Abschätzung eines möglichen Oberflächenkondensats oder zur Bewertung des Schimmelrisikos. Die Ergebnisse für die betrachteten Modelle werden in Abschnitt 6.3 dargelegt.

### 5.2.2 Nicht unterkellert

#### Modelle 1-1, 1-2 und 1-3

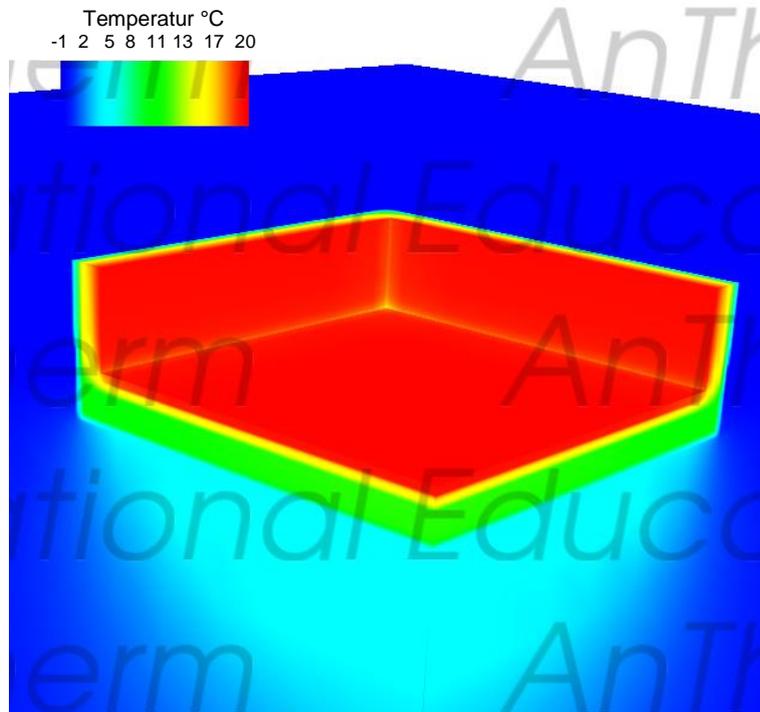


Abb. 72: Temperaturansicht nicht unterkellertes Modell 1-1

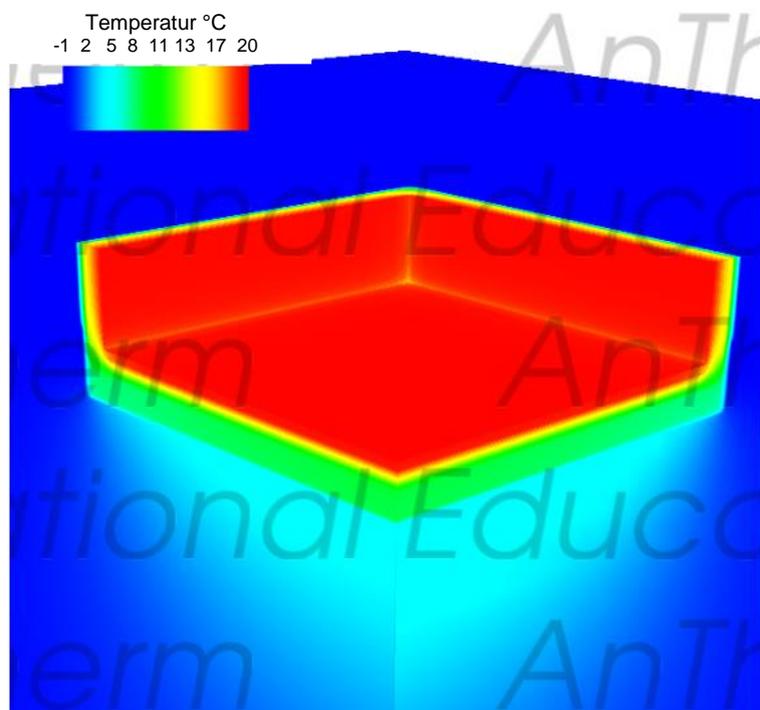


Abb. 73: Temperaturansicht nicht unterkellertes Modell 1-2

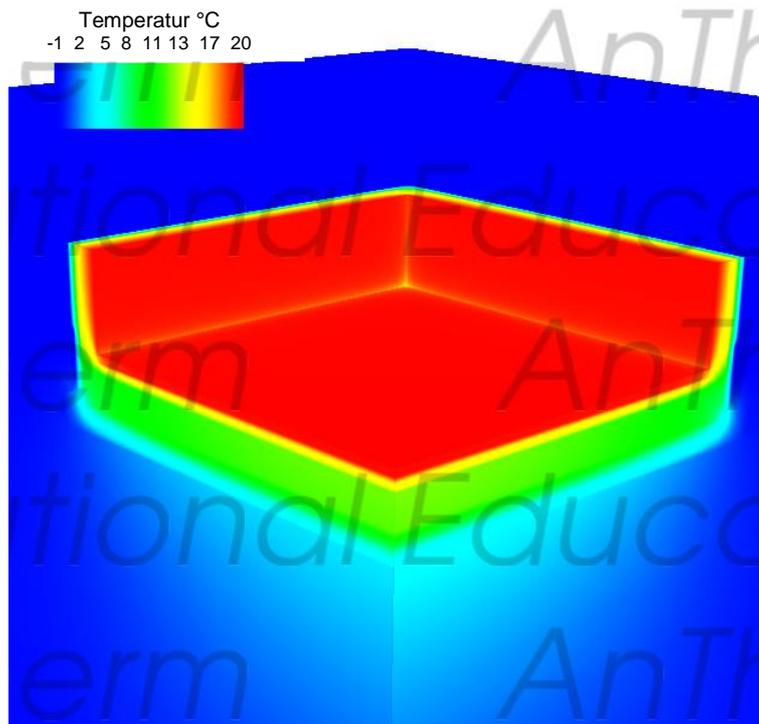


Abb. 74: Temperaturansicht nicht unterkellertes Modell 1-3

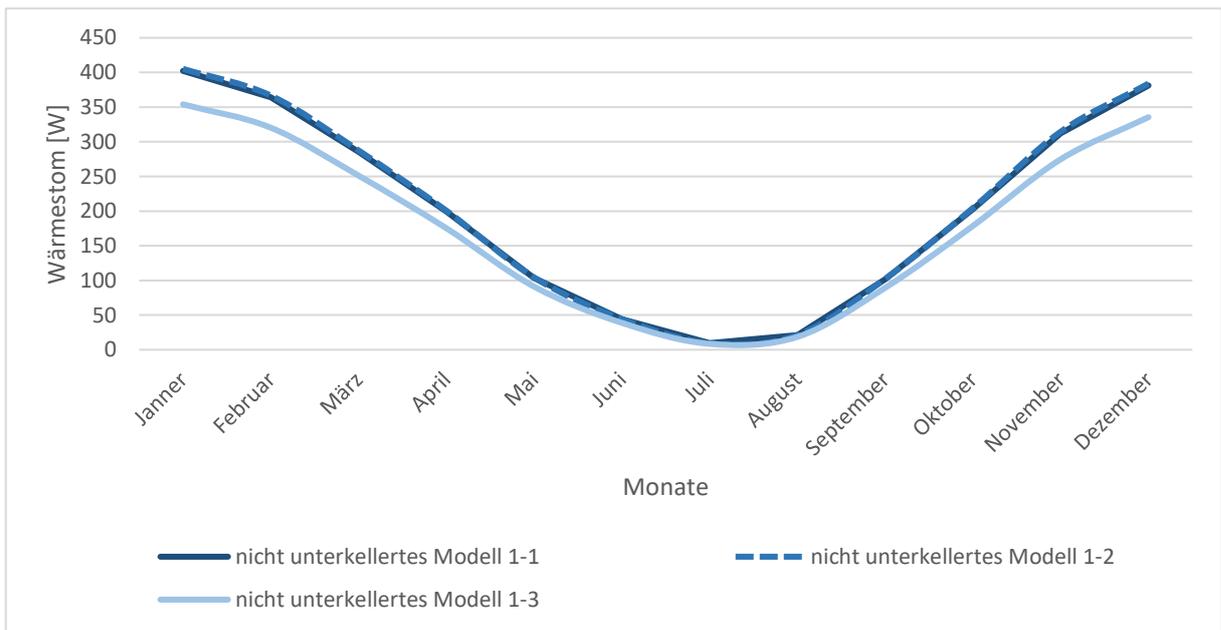


Abb. 75: Wärmeströme in  $W$  der nicht unterkellerten Modelle 1 berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen - 3D stationär

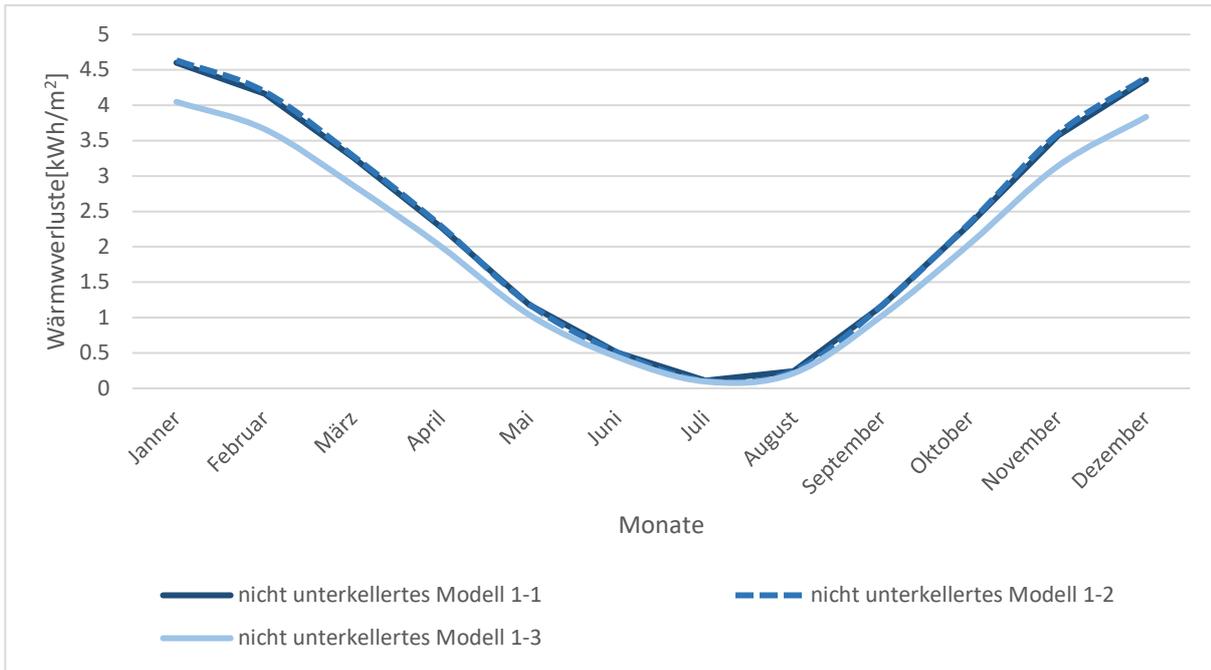


Abb. 76: Wärmeverluste in  $kWh/m^2$  der nicht unterkellerten Modelle 1 berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen - 3D stationär

Der thermische Leitwert für nicht unterkellertes Modell 1-1 beträgt  $4,73W/K$ , für das Modell 1-2  $4,82W/K$  und für das Modell 1-3  $4,21W/K$ .

**Modelle 2-1, 2-2 und 2-3**

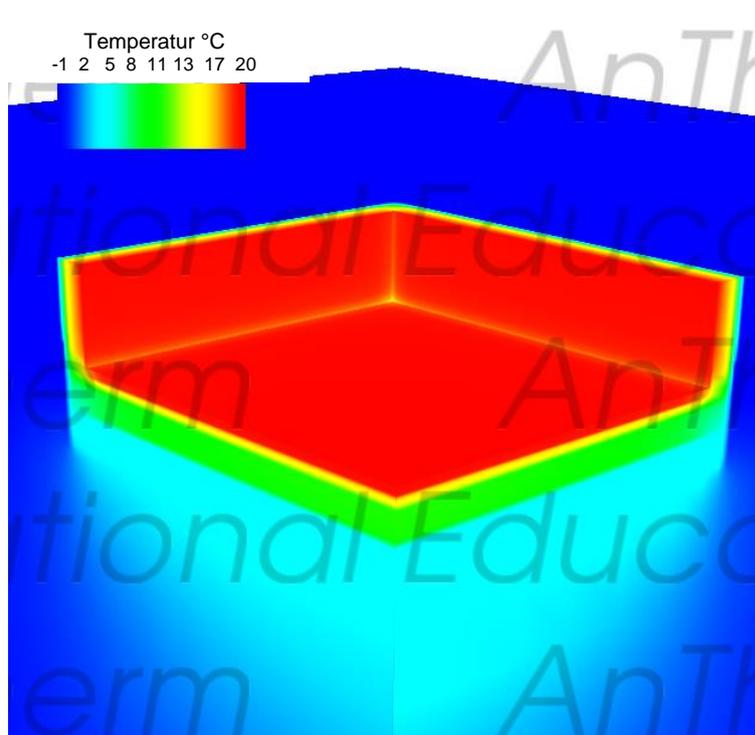


Abb. 77: Temperaturansicht nicht unterkellertes Modell 2-1

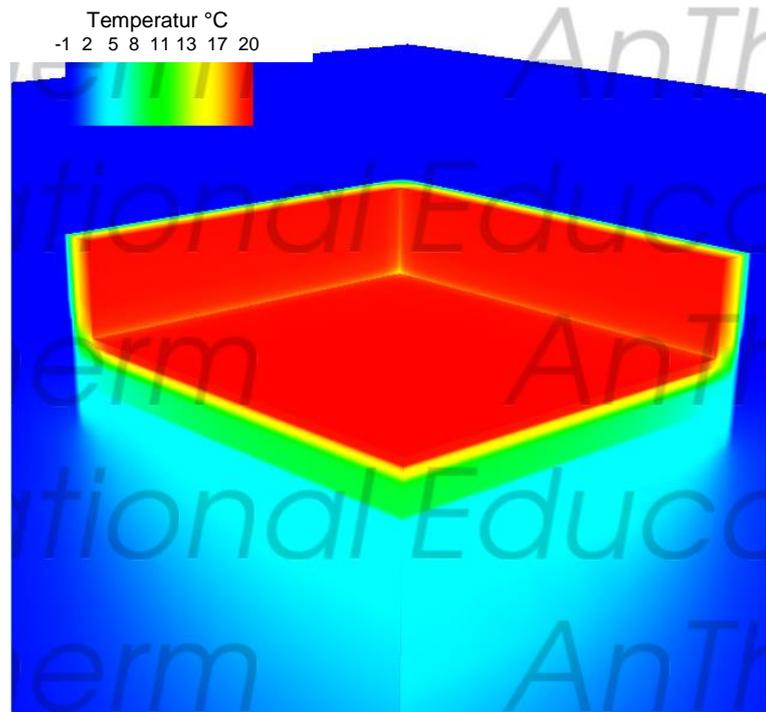


Abb. 78: Temperaturansicht nicht unterkellertes Modell 2-2

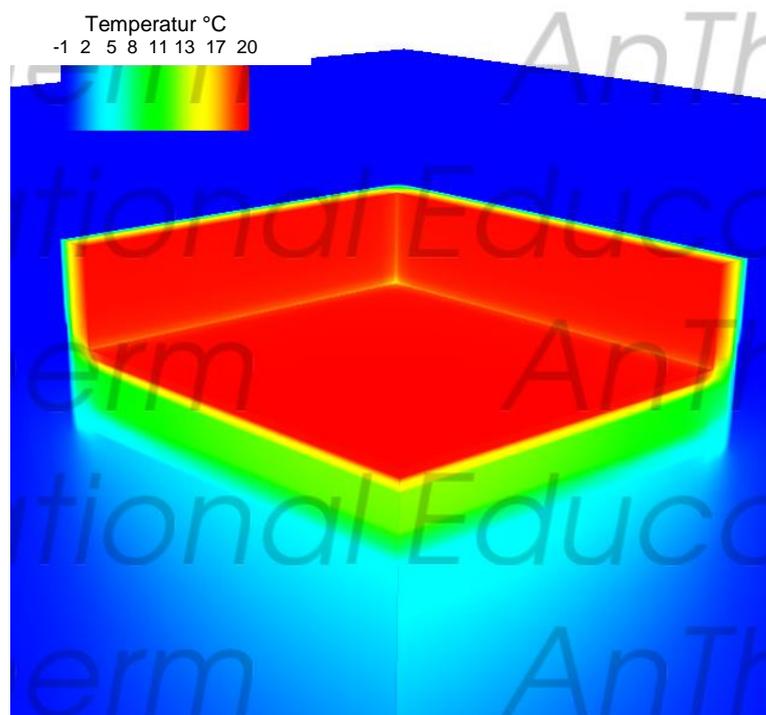


Abb. 79: Temperaturansicht nicht unterkellertes Modell 2-3

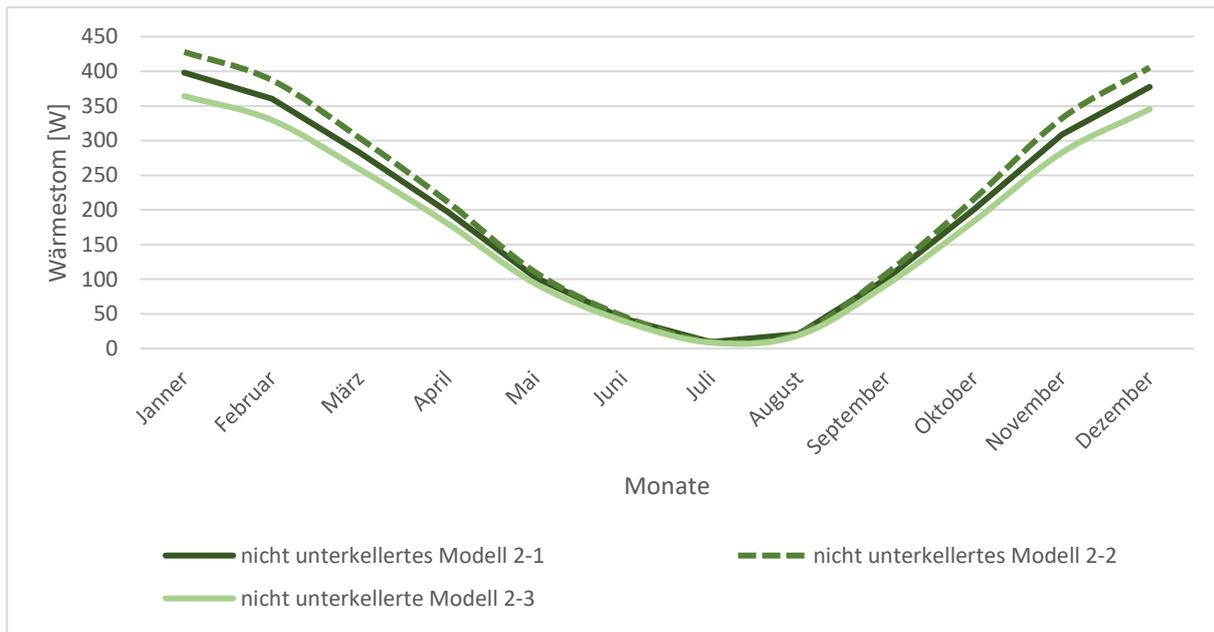


Abb. 80: Wärmeströme in W der nicht unterkellerten Modelle 2 berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen - 3D stationär

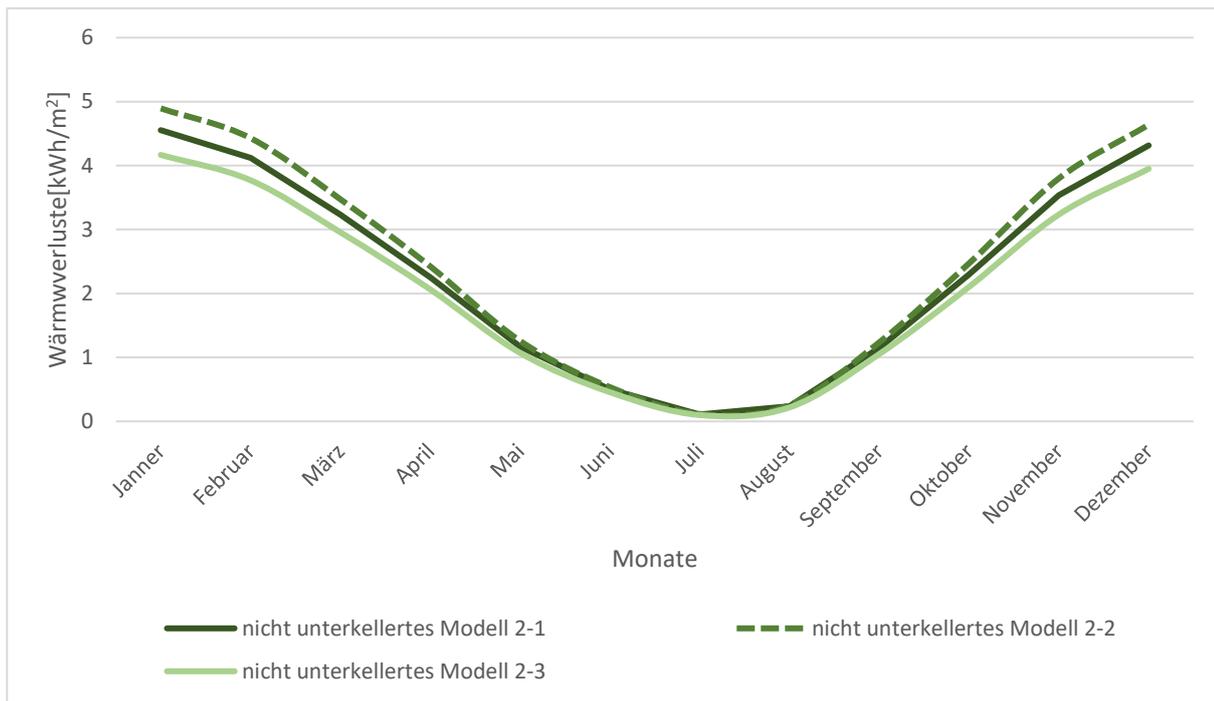


Abb. 81: Wärmeverluste in kWh/m<sup>2</sup> der Bodenplatte auf Erdreich Modelle 2 berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen - 3D stationär

Der thermische Leitwert für nicht unterkellertes Modell 2-1 beträgt  $4,79\text{W/K}$ , für das Modell 2-2  $5,09\text{W/K}$  und für das Modell 1-3  $4,34\text{W/K}$ . Die gesuchten Wärmestromverläufe für diese Modelle sind in Abbildung 80 dargestellt.

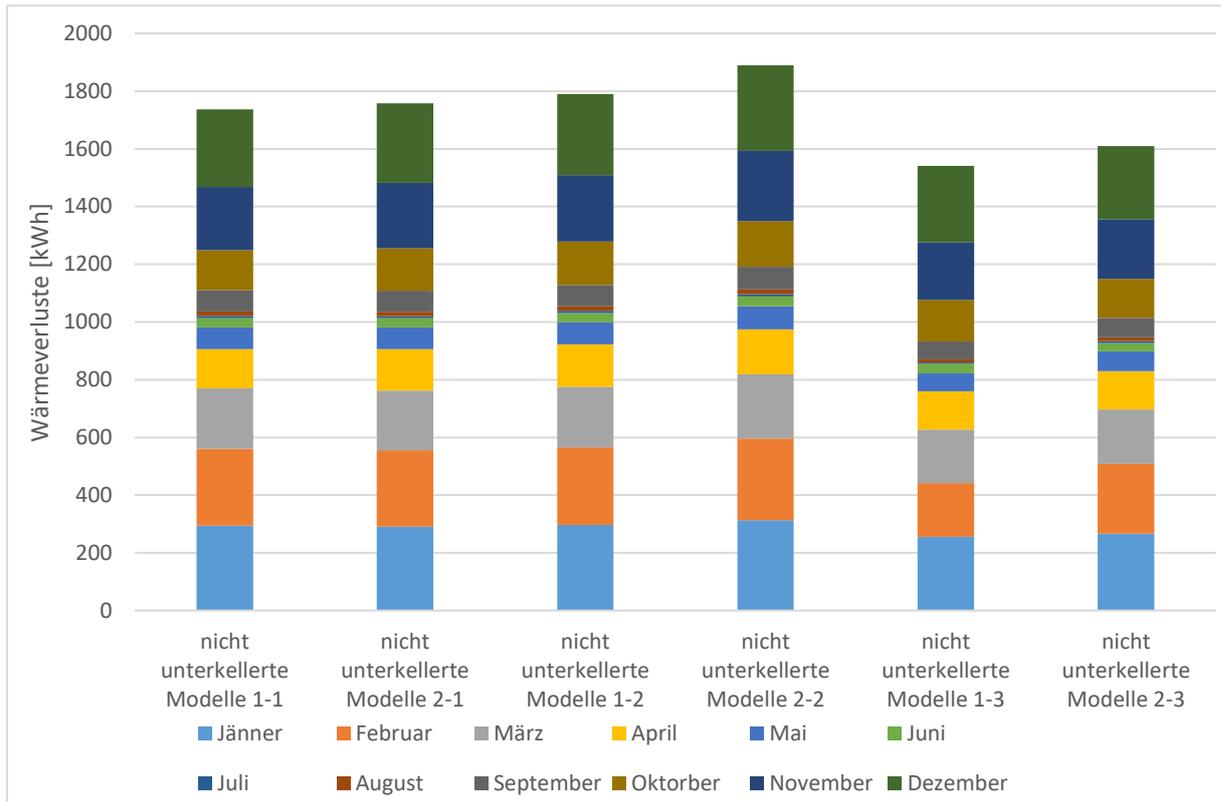


Abb. 82: Vergleich der Wärmeverluste berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen zwischen den nicht unterkellerten Modelle - 3D stationär

Eine Änderung der Detailausbildung führt zu einer minimalen Erhöhung des stationären Leitwertes. In einer dreidimensionalen Untersuchung der Sockeldetails mit der Frostschürze erhöht sich der stationäre Leitwert von  $4,73\text{W/K}$  auf  $4,79\text{W/K}$  für das Modell mit dem Bodenaufbau 1. Für das Modell mit dem Bodenaufbau 2 erhöht sich Leitwert von  $4,82\text{W/K}$  auf  $5,09\text{W/K}$  und für das Modell mit dem Bodenaufbau 3 von  $4,21\text{W/K}$  auf  $4,34\text{W/K}$ . Demzufolge weisen die Modelle mit der Frostschürze größere Gesamtwärmeverluste auf (Abb. 82). Bei den Modellen mit Aufbau 1 ergibt sich ein Unterschied zwischen den Wärmeverlusten von 1,3%, bei den Modellen mit Aufbau 2 von 5,3% und bei den Modellen mit Schaumglasschotter um etwa 4,2%.

### 5.2.3 Konditionierter Keller

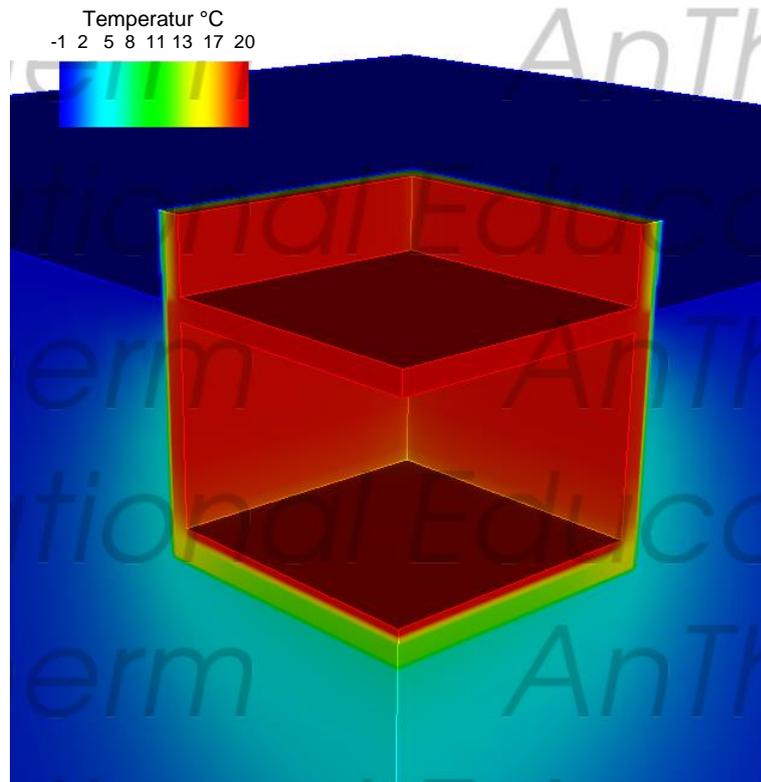


Abb. 83: Temperaturansicht konditionierter Keller Modell 1

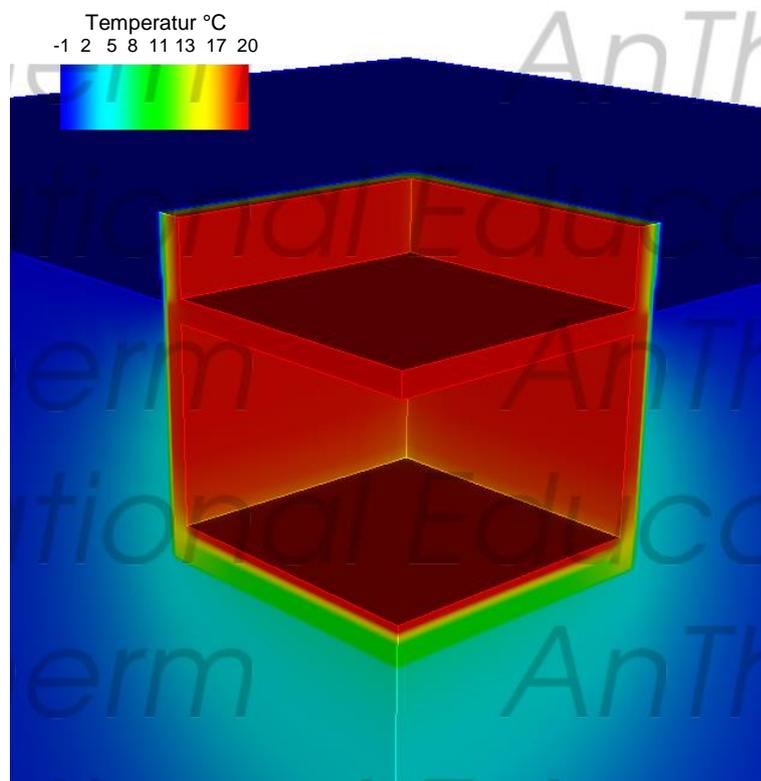


Abb. 84: Temperaturansicht konditionierter Keller Modell 2

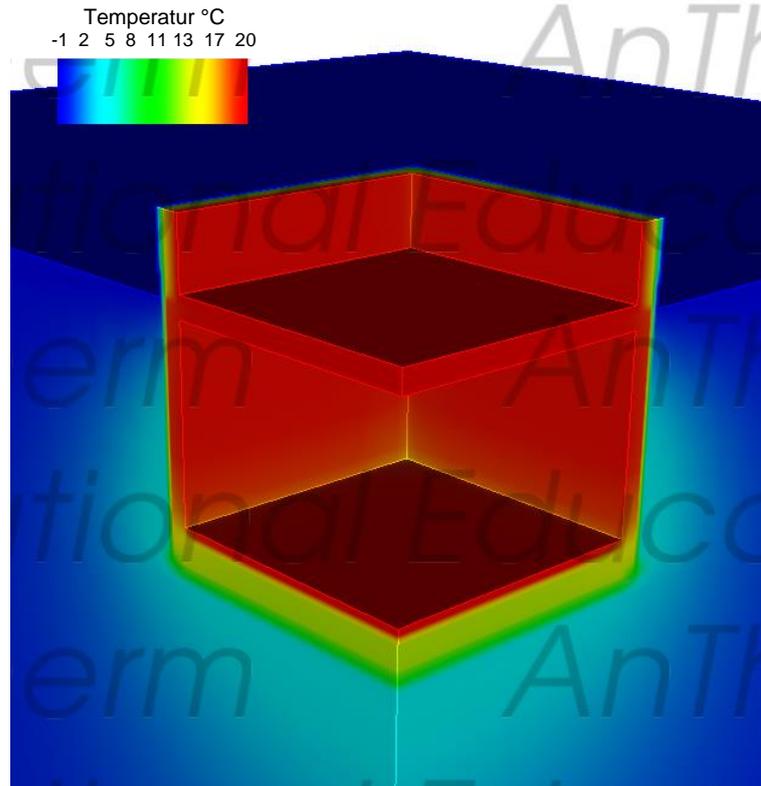


Abb. 85: Temperaturansicht konditionierter Keller Modell 3

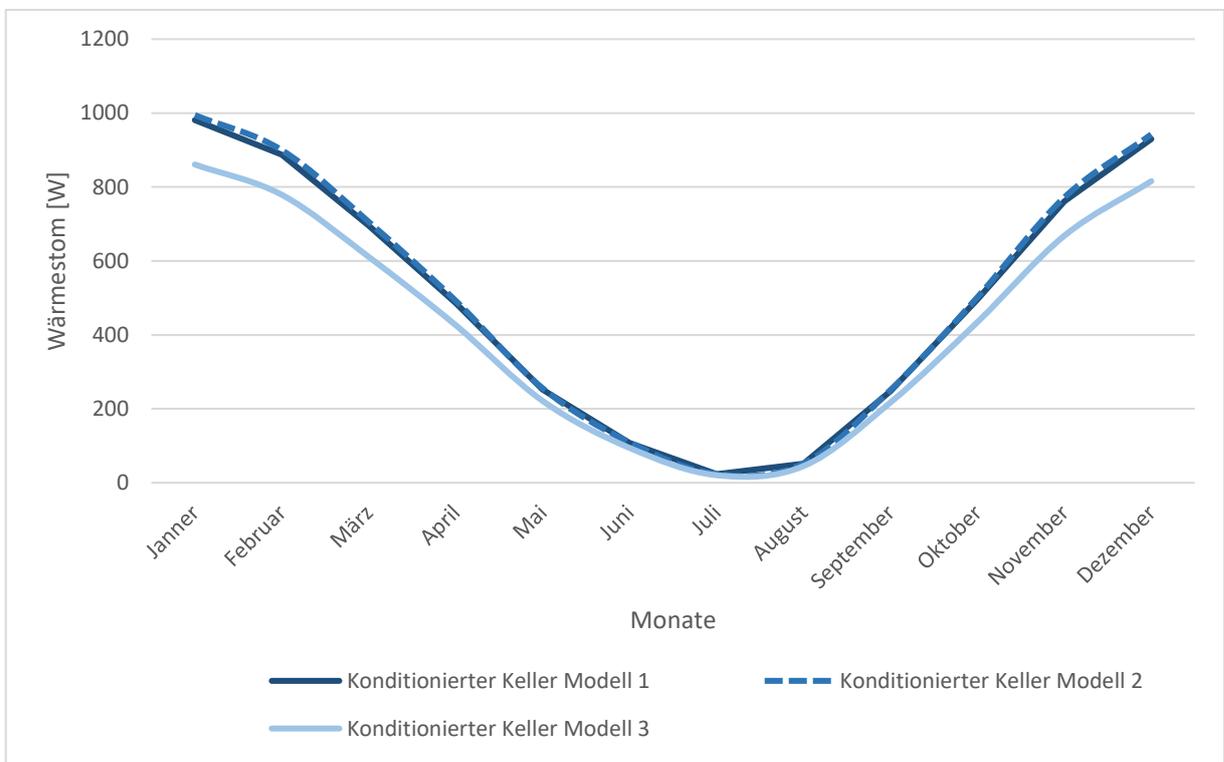


Abb. 86: Wärmeströme in W der konditionierten Keller berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen - 3D stationär

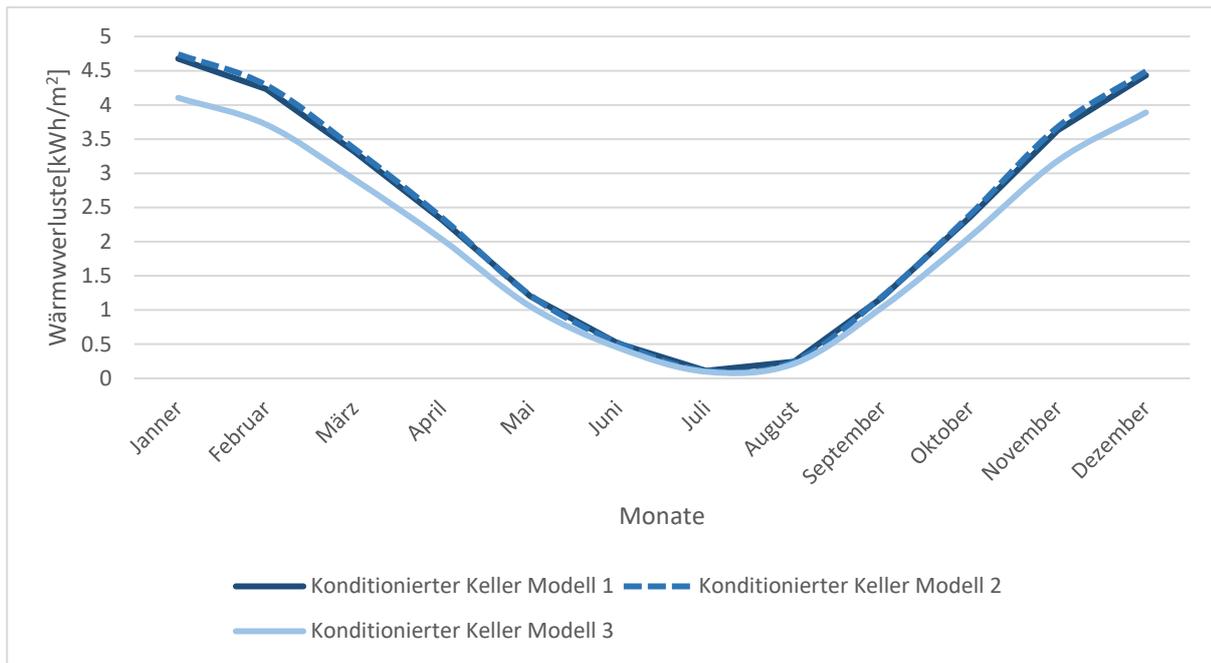


Abb. 87: Wärmeverluste in kWh/m<sup>2</sup> der konditionierten Keller Modelle berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen -3D stationär

Die Aufsummierung der dreidimensionalen Leitwerte des Eckbauteils aus dem konditionierten Keller zum Außenraum ergibt für das Modell 1 eine Gesamtleitwert von 46,72W/K. Das Modell 2 weist eine Gesamtleitwert von 47,36W/K und das Modell 3 41W/K. Die berechneten Wärmeströme des konditionierten Kellers werden in Abbildung 86 dargestellt.

## 5.2.4 Unkonditionierter Keller

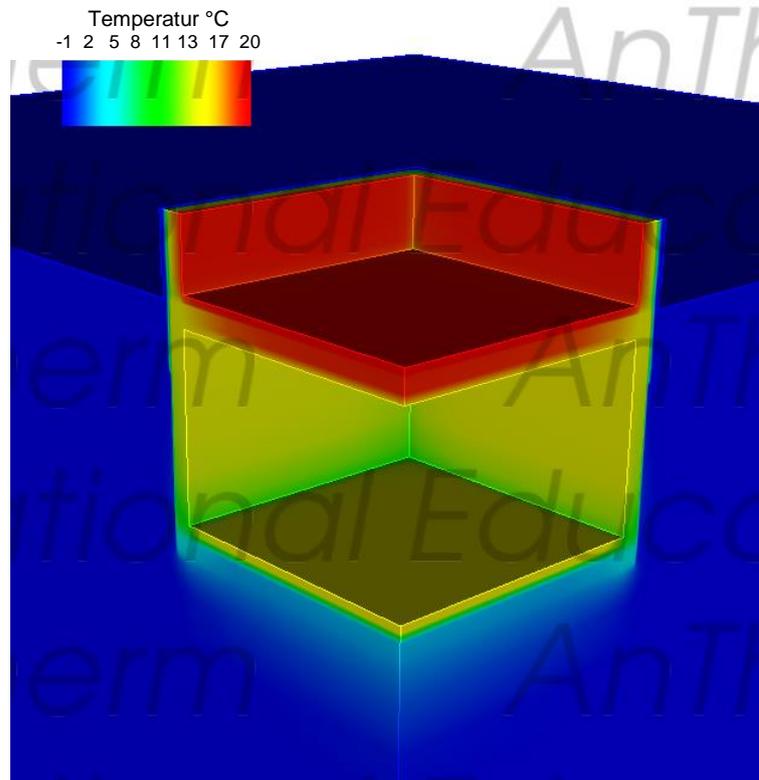


Abb. 88: Temperaturansicht unkonditionierter Keller Modell 1

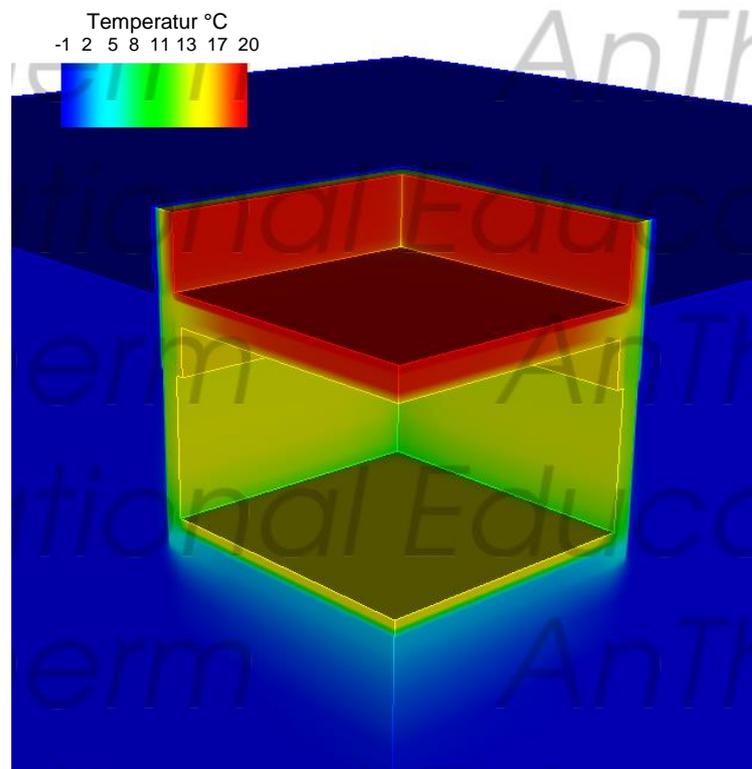


Abb. 89: Temperaturansicht unkonditionierter Keller Modell 2

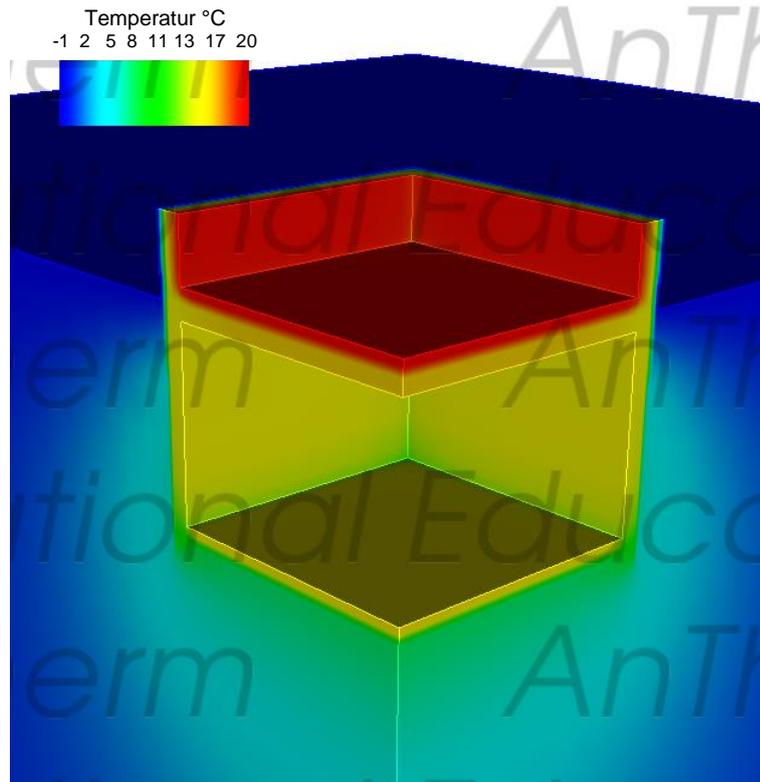


Abb. 90: Temperaturansicht unconditionierter Keller Modell 3

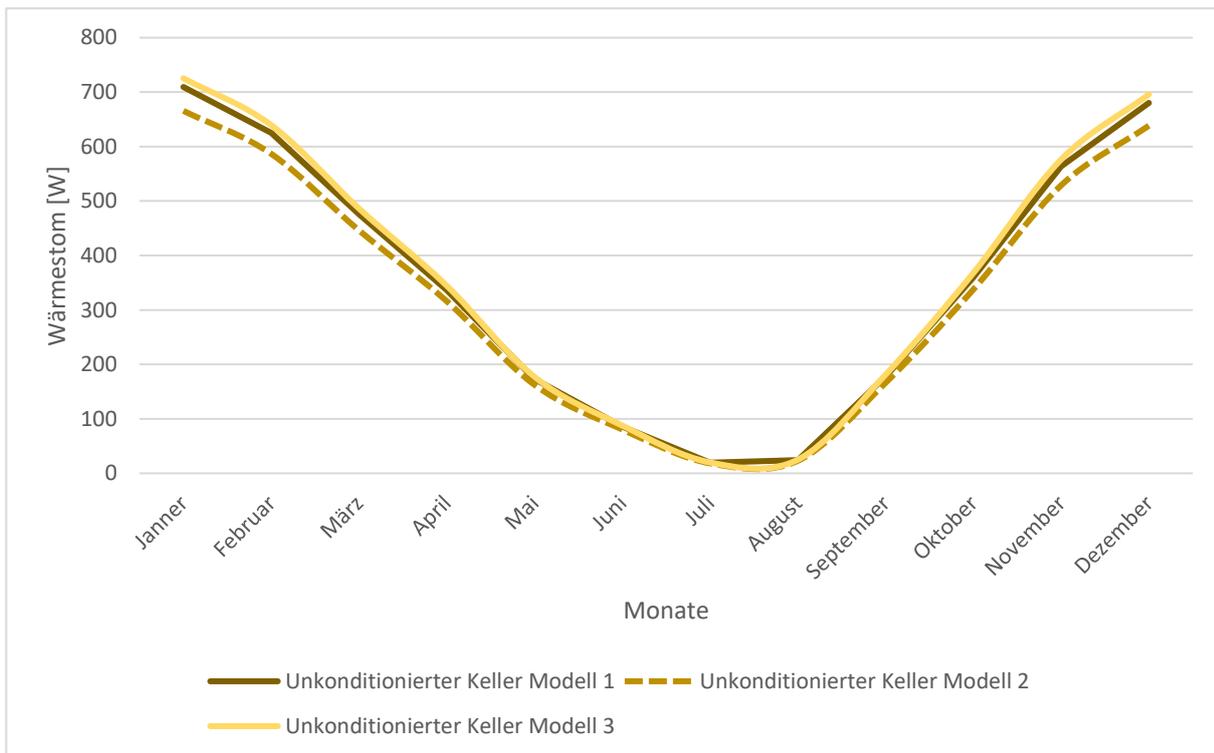


Abb. 91: Wärmeströme in W der unconditionierten Keller berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen - 3D stationär

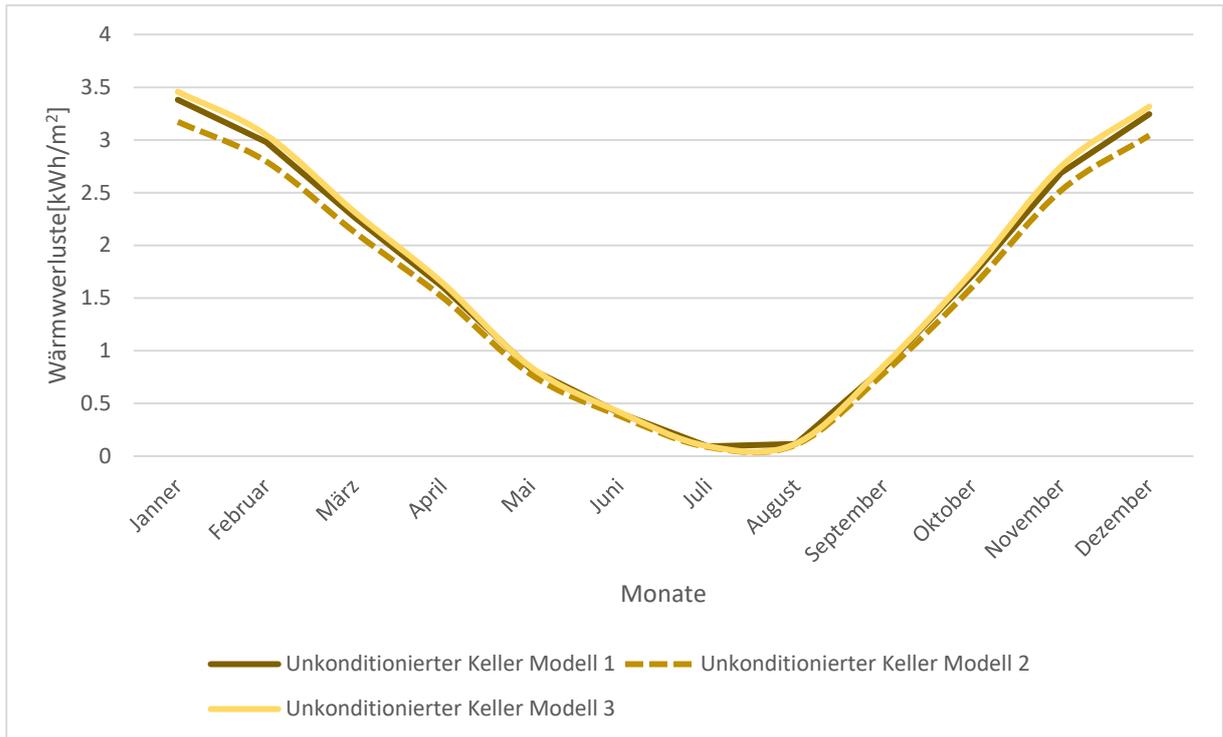


Abb. 92: Wärmeverluste in kWh/m<sup>2</sup> der unconditionierten Keller Modelle berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen -3D stationär

Die Wärmeströme der unconditionierten Keller Modelle sind in Abbildung 91 dargestellt. Die ermittelten Gesamtleitwerte für das Modell 1 beträgt 49,5W/K , für das Modell 2 47,6W/K und für das Modell 3 50,9W/K.

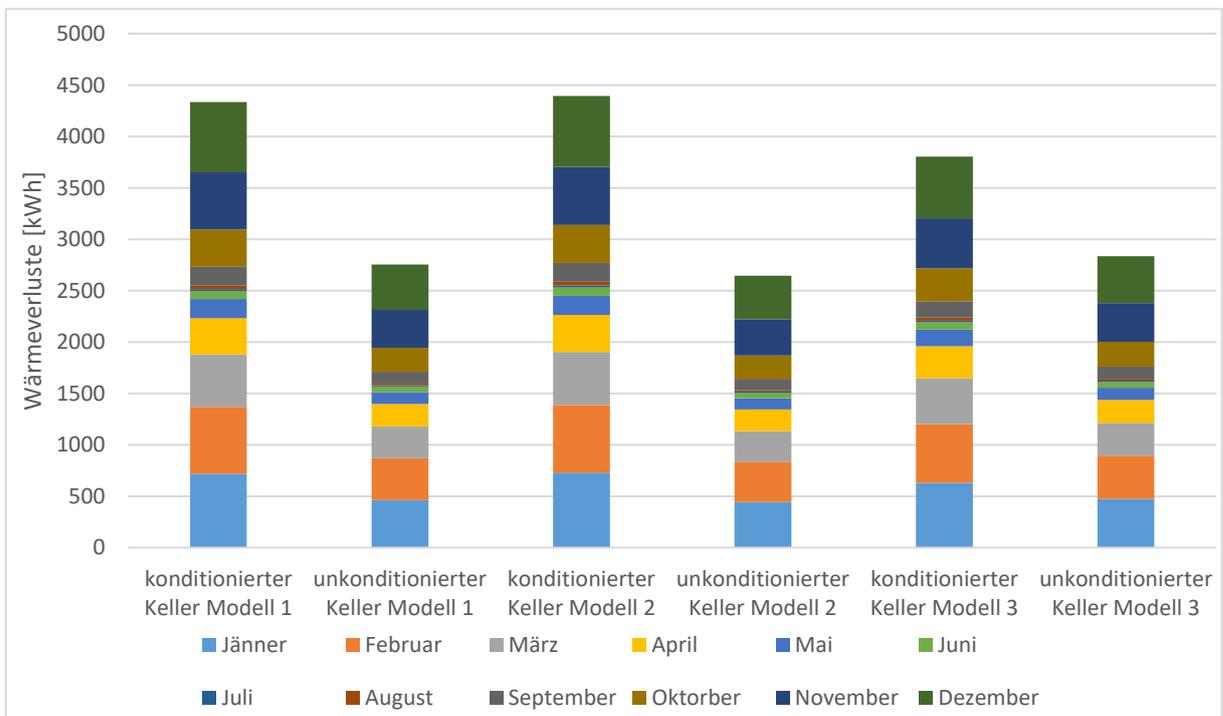


Abb. 93: Vergleich konditionierter Keller zu unconditioniertem Keller -3D stationär

In Abbildung 93 werden die Wärmeverluste der konditionierten Keller Modelle mit denen der unkonditionierten Keller Modelle verglichen. Aus dem Diagramm wird ersichtlich, dass die konditionierten Keller Modelle größere Gesamtwärmeverluste aufweisen. Die Begründung für ein solches Verhalten liegt in der Tatsache, dass die Temperatur im unkonditionierten Keller durch die Schwankung der Außentemperatur beeinflusst wird. Die Kellertemperatur bei dem konditionierten Keller wurde im Jahresgang als konstant angenommen. Demzufolge wird der Temperaturunterschied zwischen der Außentemperatur und dem Kellerinnenraum bei den konditionierten Keller Modellen größer als bei den unkonditionierten Modellen sein. Das hat zur Folge, dass der Wärmestrom, der von beheizten Bereichen durch die erdberührten Bauteile an die Außenluft verläuft, bei den konditionierten Keller Modellen größer als bei den unkonditionierten Keller Modellen ist.

## 5.1 Zusammenfassung

Neben der Berechnung der Wärmeströme mit dem vereinfachten Näherungsverfahren mit den Formeln aus EN ISO 13370 (Kapitel 3) und mit der zweidimensionalen Simulation mit Hilfe des Programms HTflux (Kapitel 4) wurden Simulationen der betrachteten Systeme auch mit der dreidimensionalen Wärmebrücken-Simulations-Software Antherm durchgeführt. Das Ziel ist dabei, die Einflüsse der Wärmebrücken komplett abzudecken.

Es wurden dreidimensionale Modelle in Antherm modelliert und thermisch untersucht. Das gesamte Gebäude wird dazu in vier gleichmäßige Teilebereiche aufgeteilt und ein Teil bzw. ein Viertel des Gebäudes modelliert. Die Ergebnisse der Simulation wurden mit dem Faktor vier multipliziert, um die Ergebnisse für das gesamte Gebäude zu erhalten. Um den Einfluss der Wärmebrücken richtig zu ermitteln, wurden die Außenwände mit Länge ein Meter ab der Fußoberkante des Erdgeschoßes mitmodelliert.

Die Ergebnisse zu den Wärmeströmen und Wärmeverlusten wurden in Form von Diagrammen dargestellt. Da die verwendete Version von Antherm nur den stationären dreidimensionalen Leitwert ermittelt, wurden die Verläufe der Wärmeströme mit den monatlichen Mitteltemperaturen berechnet. Infolge der Abhängigkeit des Wärmestroms von Außentemperaturen im Jahresgang und vom dreidimensionalen Leitwert nach Formel 5.1 bewegen sich auch die Wärmeströme im Bereich von maximalen Werten für die nicht unterkellerten Modelle von  $402\text{ W}$ , die im Jänner auftreten, bis zu minimalen  $10\text{ W}$  im Juli. Die konditionierten Keller Modelle weisen im Jänner Wärmeströme von  $981\text{ W}$  auf, im Juli  $23\text{ W}$ . Die berechneten Wärmeströme der unkonditionierten Keller Modelle weisen im Jänner  $631\text{ W}$  und im Juli  $17\text{ W}$  auf.

Die Visualisierung der Ergebnisse mit Falschfarben gibt die Möglichkeit, dass man leicht die Bereiche mit niedrigeren Temperaturen erkennt. Es ist ersichtlich, dass an den Kanten, wo die geometrisch bedingten Wärmebrücken auftreten, die Temperatur niedriger als in anderem Bereich der Konstruktion ist.

Im Rahmen der Analyse der dreidimensionalen Berechnungsergebnisse wurde nicht nur die Temperaturverteilung betrachtet, sondern auch die Verläufe der Wärmestromlinien. Die Analyse der Bauteile mit Wärmestromlinien wird detailliert in Abschnitt 6.2 erläutert. Außerdem wurden in Abschnitt 6.3 die Temperaturfaktoren, die Hinweise auf den kritischen Punkt der Bauteile ergeben, für alle Modelle ermittelt.

## 6 Nebenrechnungen und Analyse

Im folgenden Kapitel werden die Nebenberechnungen und Analysen der untersuchten Modelle dargestellt.

### 6.1 Wärmeübergangswiderstand $R_{se}$ an Erdreich

In dieser Arbeit wurde für den äußeren Wärmeübergangswiderstand an das Erdreich  $R_{se}$  ein Wert von  $0,00 \text{ m}^2\text{K/W}$  anstatt  $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  gesetzt. Mit dieser Annahme werden auch in der Praxis U-Werte von erdreichberührten Bauteilen gemäß EN ISO 6946 [4] berechnet. Im Anhang K der EN ISO 13370 [1] wurden die praktischen Beispiele mit einem Wärmeübergangswiderstand an Erdreich von  $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  berechnet. Der Einfluss des Wärmeübergangswiderstands an das Erdreich auf den gesamten Wärmeverlust des Gebäudes wurde auf Basis der Berechnung laut EN ISO 13370 [1] untersucht. In Kapitel 3 sind die Formeln für die Berechnung der Wärmeströme angeführt. Es ist anzumerken, dass der Wärmeübergangswiderstand einen direkten Einfluss auf die Berechnung der wirksamen Dicken  $d_t$  und  $d_w$  hat und daher auch auf die Berechnung des U-Werts der erdberührten Bauteile. Der Einfluss der wirksamen Dicken  $d_t$  und  $d_w$  fließt in die Gleichungen für den stationären Leitwert  $H_g$  und die harmonisch thermischen Leitwerte  $H_{pe}$  und  $H_{pi}$  ein. Die Abweichung zwischen den Ergebnissen mit einem Wärmeübergangswiderstand von  $0,00 \text{ m}^2\text{K/W}$  und von  $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  beträgt für nicht unterkellertes Keller Modell 1-1 etwa 0,72%. Der Unterschied beim Gesamtwärmestrom für Modell 1-1 beträgt ungefähr  $1 \text{ W}$  und bei Modell 2-1  $1,2 \text{ W}$ . Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der statischen Leitwerte mit unterschiedlichen Wärmeübergangswiderständen gegen das Erdreich werden in folgenden Tabelle aufgelistet. Es ist erkennbar, dass die Unterschiede vernachlässigbar klein sind.

Tab. 6: Berechnung der statischen Leitwerte mit unterschiedlichen Wärmeübergangswiderständen an das Erdreich

Modell		$R_{se}$ $0,00 \text{ m}^2\text{K/W}$			$R_{se}$ $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$			Unterschied [%]
		$d_t$ [m]	$d_w$ [m]	$H_g$ [W/K]	$d_t$ [m]	$d_w$ [m]	$H_g$ [W/K]	
Nicht unterkellert	1-1	11,35	/	11,12	11,43	/	11,04	0,72
	1-2	11,55	/	10,42	11,63	/	10,34	0,76
	1-3	14,93	/	13,75	15,01	/	13,69	0,44
Nicht unterkellert	2-1	11,35	/	12,22	11,43	/	12,14	0,65
	2-2	11,55	/	10,92	11,63	/	10,86	0,55
	2-3	14,93	/	11,24	15,01	/	11,19	0,45
Konditionierter Keller	1	11,35	6,35	38,12	11,43	6,43	37,84	0,73
	2	11,55	6,35	35,38	11,63	6,35	35,12	0,73
	3	14,93	6,35	36,12	15,01	6,42	35,87	0,69
Unkonditionierter Keller	1	2,89	5,51	40,85	2,97	5,59	40,35	1,22
	2	2,89	5,51	38,66	2,97	5,59	38,16	1,29
	3	2,89	5,51	42,92	2,97	5,59	42,42	1,16

## 6.2 Analyse der Bauteile mittels Wärmestromlinien

Die wärmetechnische Untersuchung der Wärmebrücken mit Antherm und HTflux gibt die Möglichkeit, die Verläufe der Wärmestromlinien darzustellen. Generell kann man zur Schlussfolgerung kommen, dass die betrachteten Details gut ausgebildet sind und dass keine problematischen Wärmebrücken auftreten. Die grafische Darstellung mittels Wärmebild mit den Wärmestromlinien wird in den nächsten Abschnitten für die Modelle ohne Unterkellerung, mit konditioniertem Keller und mit unkonditioniertem Keller dargestellt. Für die Auswertung der Bauteile mit den Wärmestromlinien wird eine Innentemperatur von 20 °C (für die konditionierten Räume) bzw. 14,5 °C (für die unkonditionierten Räume) und eine Außentemperatur von 9,5 °C (Jahresmittel) angenommen.

### 6.2.1 Nicht unterkellert

Die Hauptkonstruktion für alle nicht unterkellerte Systeme besteht aus einer 25cm dicken Stahlbeton-Fundamentplatte. Die Varianten für eine Modellgruppe unterscheiden sich durch den Einsatz verschiedener Materialien, die als Wärmedämmung der Konstruktion verwendet werden.

Die zweidimensionale stationäre Auswertung der nicht unterkellerten Modellgruppe 1 wird in Tabelle 7 gelistet.

Tab. 7: Zweidimensionale Leitwerte-nicht unterkellerte Modellgruppe 1

Nicht unterkellert	Zweidimensionaler Leitwert $L_{2D}$ [W/(m·K)]
Modell 1-1	0,807
Modell 1-2	0,825
Modell 1-3	0,806

In Abbildung 94 wird das Wärmebild mit den Wärmestromlinien für das nicht unterkellerte Modelle 1-1 dargestellt.

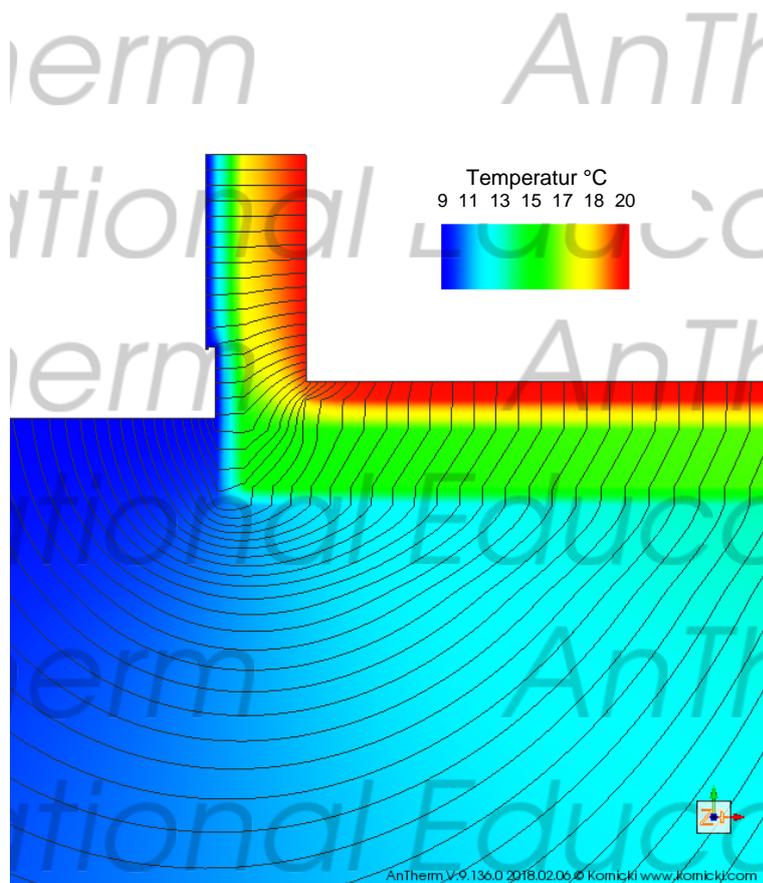


Abb. 94: Nicht unterkellertes Modell 1-1 mit Wärmestromlinie (62 Intervalle entspricht 0,1 W/m pro Intervall)

Sowohl für alle nicht unterkellerten Modelle als auch für die unterkellerten Modelle ist die Außenwand (AW01) angesetzt. Die Außenwand stellt ein Hochlochziegel mit einer Dicke von 25cm dar. An der Außenseite liegt eine 16cm starke Schicht expandiertes Polystyrol (EPS) als Wärmedämmung. Im Spritzwasserbereich bis 30cm über der Bodenoberkante wurde für die Konstruktion XPS anstatt EPS verwendet. Die Länge der Perimeterdämmung, die sich unten dem Boden befindet, hängt von den unterschiedlichen Ausbildungen des Sockelbereichs ab.

Für die Modellgruppe 2 ist charakteristisch, dass der Sockelbereich mit einer Frostschräge ausgebildet ist. Als Material für die Frostschräge wird Beton verwendet. Die Varianten der Aufbauten sind in gleicher Weise wie bei Modellgruppe 1 definiert. Infolge der Änderung des Sockelbereichs haben sich auch die zweidimensionalen Leitwerte geändert. Die Leitwerte der nicht unterkellerten Modellgruppe 2 und die Unterschiede im Vergleich zur nicht unterkellerten Modellgruppe 1 sind in nachfolgender Tabelle gelistet.

Tab. 8: Zweidimensionale Leitwerte-nicht unterkellerte Modellgruppe 2

Nicht unterkellert	Zweidimensionaler Leitwert $L_{2D}$ [W/(m·K)]	Unterschied [%]			
		Modell 1-1	Modell 1-2	Modell 1-3	
Modell 2-1	0,874	Modell 2-1	7,7	5,6	7,8
Modell 2-2	0,833	Modell 2-2	3,1	1	3,2
Modell 2-3	0,807	Modell 2-3	0,1	2,2	0,12

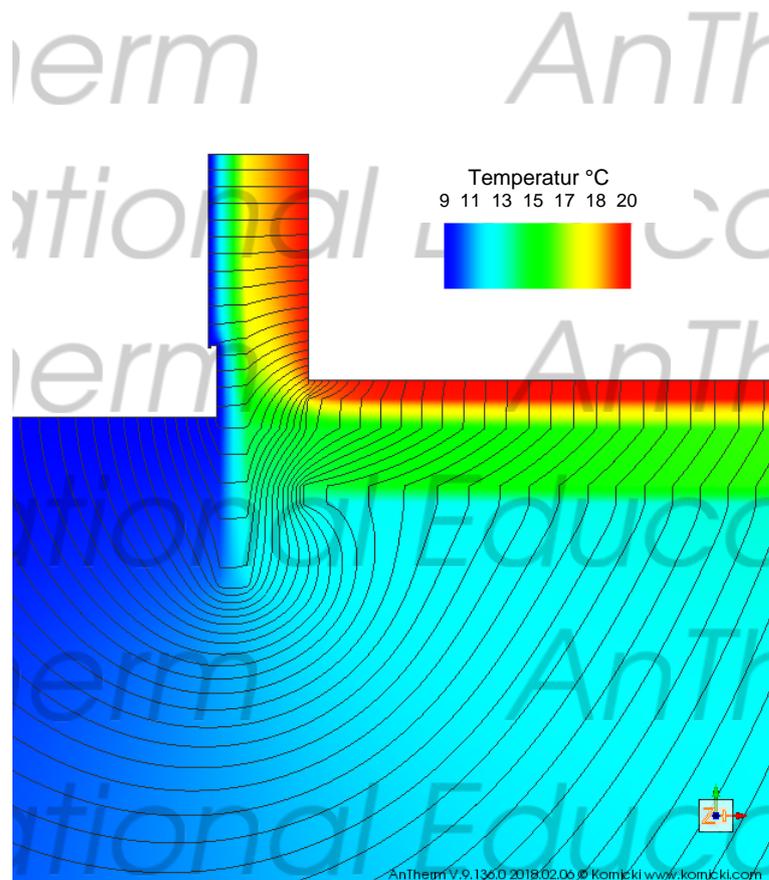


Abb. 95: Nicht unterkellertes Modell 2-1 mit Wärmestromlinie (62 Intervalle entspricht 0,1 W/m pro Intervall)

### 6.2.2 Konditionierter Keller

Im Vergleich zum unkonditionierten Keller werden die Varianten der konditionierten Keller mit verschiedenen Kellerbodenplatten ausgebildet. Die Abbildung 96 stellt das konditionierte Keller Modell 1 mit Wärmestromlinien dar. Die zweidimensionalen Leitwerte und die Unterschiede im Vergleich der unterkellerten Modelle sind in folgender Tabelle aufgelistet.

Tab. 9: Zweidimensionale Leitwerte-konditionierter Keller

Konditionierter Keller	Zweidimensionaler Leitwert $L_{2D}$ [W/(m·K)]	Unterschied [%]			
			Modell 1	Modell 2	Modell 3
Modell 1	1,552	Modell 1	/	0,7	3,1
Modell 2	1,563	Modell 2	0,7	/	3,8
Modell 3	1,504	Modell 3	3,1	3,8	/

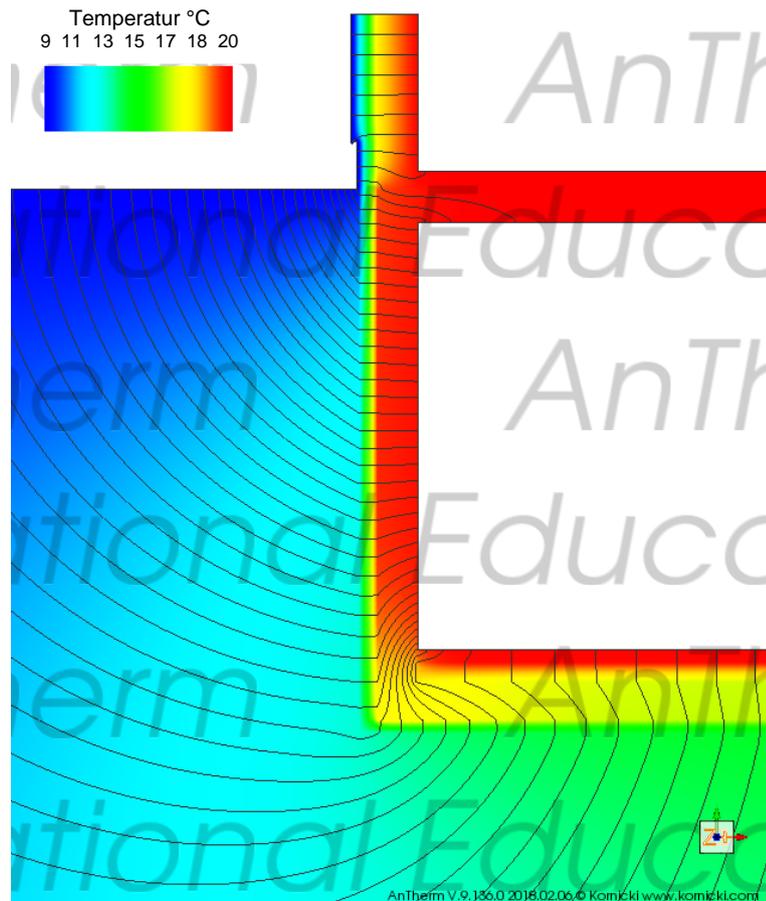


Abb. 96: Konditionierter Keller Modell 1 mit Wärmestromlinie (62 Intervalle entspricht 0,2 W/m pro Intervall)

### 6.2.3 Unkonditionierter Keller

Die Temperatur des unkonditionierten Kellers wird als gewichtete Temperatur berechnet und ergibt beispielsweise bei einer Außentemperatur von 9,5°C und einer Innentemperatur von 20°C einen Wert von 14,7°C für die stationäre Berechnung. Abbildung 93 zeigt das unkonditionierte Keller Modell 1 mit Wärmestromlinien. Die zweidimensionalen Leitwerte der unkonditionierten Keller Modelle und die Unterschiede im Vergleich zu den konditionierten Keller-Modellen sind in Tabelle 10 gelistet.

Tab. 10: Zweidimensionale Leitwerte-unkonditionierter Keller

Unkonditionierter Keller	Zweidimensionaler Leitwert $L_{2D}$ [W/(m·K)]	Unterschied [%]			
			Konditionierter Keller		
			Modell 1	Modell 2	Modell 3
Modell 1	1,564	Modell 1	0,7	0,06	3,8
Modell 2	1,491	Modell 2	3,9	4,6	0,8
Modell 3	1,626	Modell 3	4,5	3,8	7,5

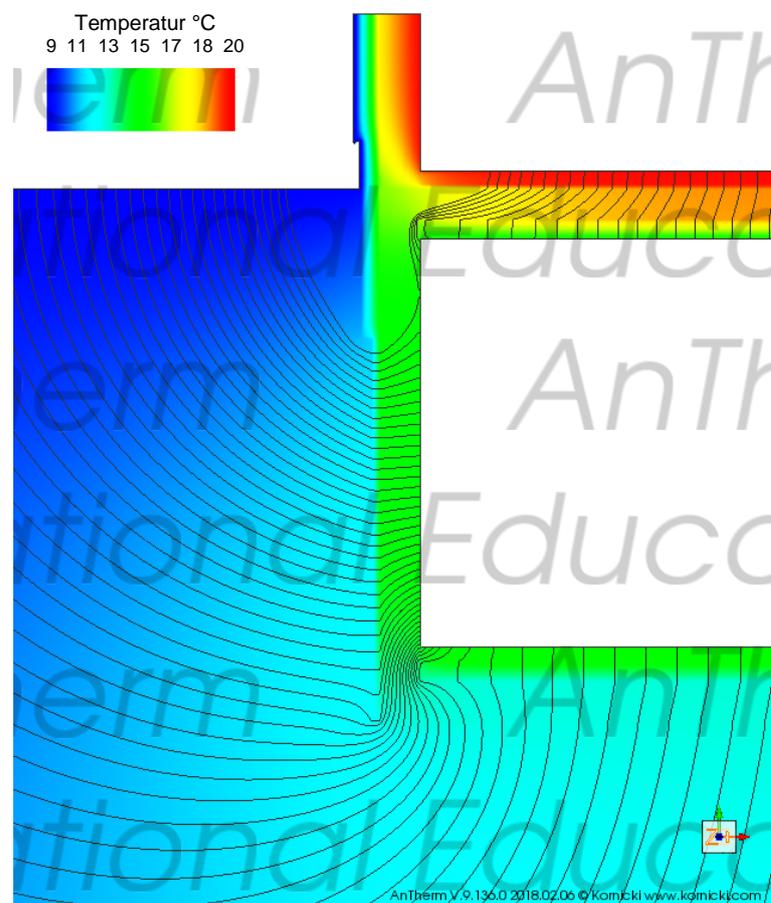


Abb. 97: Unkonditionierter Keller Modell 1 mit Wärmestromlinie (62 Intervalle entspricht 0,1 W/m pro Intervall)

### 6.3 Temperaturfaktor $f_{Rsi}$

Durch den Temperaturfaktor  $f_{Rsi}$  ist es möglich, das Risiko der Schimmelbildung bzw. des Oberflächenkondensats abzuschätzen. Zur Quantifizierung des Temperaturfaktors  $f_{Rsi}$  werden gemäß ÖNORM B 8110-2 [13] die Innen- und Außentemperatur sowie die innere Oberflächentemperatur angegeben.

Wärmebrücken sind die Stellen erhöhter Wärmedurchlässigkeit des Gebäudebauteils. Durch ihren erhöhten Wärmedurchgang verursachen die Wärmebrücken eine Verringerung des mittleren U-Wertes eines Bauteiles. Demzufolge führen die Wärmebrücken zur Absenkung der Oberflächentemperatur. Durch diese Absenkung erhöht sich die Gefahr von Tauwasserbildung bei kälteren Außentemperaturen. Demnach bewirken die Wärmebrücken nicht nur erhöhte Wärmeverluste, sondern auch Schäden verschiedener Art an der Konstruktion. Die geometrischen Wärmebrücken treten zum Beispiel in Ecken der Konstruktion auf. Die innere Oberflächentemperatur weist an dieser Stelle den niedrigsten Wert auf. Dementsprechend sind Kanten und Ecken die Schwachstellen der Konstruktion, an denen das Risiko einer Kondensat- und Schimmelbildung höher ist. [15]

Die Temperaturansichten der untersuchten Modelle aus Kapitel 5 beweisen diese Ansätze. Demzufolge wurde für die Bestimmung des Temperaturfaktors die kritische Oberflächentemperatur im Eck des Modells angesetzt. Die Abbildung 94 zeigt die Stellen, für die der Temperaturfaktor berechnet wurde.

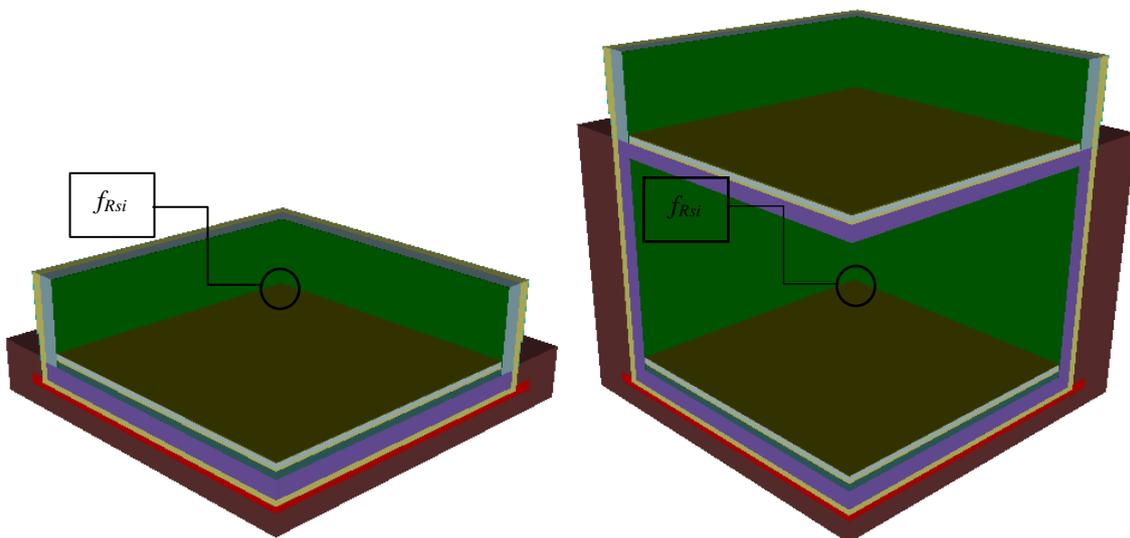


Abb. 98: Stellen mit kritischen Temperaturen zur Berechnung des Temperaturfaktors

Der Temperaturfaktor  $f_{Rsi}$  beschreibt über eine Kennzahl, ob die Temperatur an der ungünstigsten Stelle kritisch oder nicht ist. Die Nachweisführung und die Mindestanforderung für alle konstruktiven und materialbedingten Wärmebrücken sind in ÖNORM B 8110-2 [13] festgestellt. Laut dieser Norm gelten für den Fall des Norm-Innenraumklimas folgende Mindestanforderungen:

- $f_{Rsi} \geq 0,71$  zur Vermeidung des Risikos der Schimmelbildung
- $f_{Rsi} \geq 0,69$  zur Vermeidung von Kondensation

In der nachfolgenden Tabelle werden die Temperaturfaktoren an den Stellen mit kritischen Oberflächentemperaturen für den Monat Jänner dargestellt.

Tab. 11: Ergebnisse für den Temperaturfaktor  $f_{Rsi}$

Modell		Innentemperatur [°C]	Außentemperatur für Jänner [°C]	Kritische Oberflächen- temperatur [°C]	Temperaturfaktor $f_{Rsi}$
Nicht unterkellert	1-1	20	-1	15,49	0,79
	1-2	20	-1	15,28	0,78
	1-3	20	-1	15,36	0,78
Nicht unterkellert	2-1	20	-1	15,15	0,77
	2-2	20	-1	15,23	0,78
	2-3	20	-1	15,27	0,77
Konditionierter Keller	1	20	-1	16,42	0,83
	2	20	-1	15,98	0,81
	3	20	-1	15,76	0,80
Unkonditionierter Keller	1	11,7	-1	8,47	0,74
	2	11,7	-1	8,51	0,75
	3	11,7	-1	8,17	0,72

## **6.4 Zusammenfassung**

Neben der Berechnung der Wärmeströme mit verschiedenen Berechnungsarten wurde in dieser Arbeit auch der Einfluss der unterschiedlichen Wärmeübergangswiderstände an Erdreich untersucht, die den Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils beeinflussen. Zudem wurden zweidimensionale stationäre Auswertungen der Bauteile mittels Wärmestromlinien durchgeführt. Im Allgemeinen lässt sich schlussfolgern, dass die betrachteten Bauteile gut ausgebildet sind und dass keine problematischen Wärmebrücken auftreten. Außerdem werden die Temperaturfaktoren für jeden Bauteil ermittelt. Die Ergebnisse der Temperaturfaktoren für den Jänner zeigen, dass die Mindestanforderung für alle konstruktiven und materialbedingten Wärmebrücken erfüllt ist und keine Gefahr von Schimmelbildung und Kondensation an der Oberfläche besteht.

## 7 Vergleich der Berechnungsergebnisse

Das folgende Kapitel befasst sich mit dem Vergleich der Ergebnisse, die nach den unterschiedlichen Berechnungsarten ermittelt wurden. Die Jahresverläufe der Wärmeverluste für die betrachteten Bauteile werden in Diagrammen gegenübergestellt. Die Erkenntnisse konkludieren mit den Ergebnissen und der Analyse der Bauteile.

### 7.1 Erkenntnisse

Zuerst wird die Norm EN ISO 13370 [1] analysiert. Wie schon in Kapitel 3 beschrieben, gibt diese Norm zwei Methoden zur Berechnung des Wärmestroms über das Erdreich für jeden Monat:

- 1) Berechnung des Wärmestroms nach EN ISO 13370 mit den mittleren monatlichen Temperaturen
- 2) Berechnung des Wärmestroms nach EN ISO 13370 mit sinusförmiger Schwankung der Innen- und Außentemperaturen

Beide Methoden haben die Gemeinsamkeit, dass das räumliche Verhalten des Wärmestroms und die Geometrie der Gebäude durch die Berechnung des Bodenplattenmaßes  $B'$ , die wirksamen Dicken der Bodenplatte und Kellerwände sowie die periodische Eindringtiefe berücksichtigt werden. In die Gleichung zur Ermittlung dieser Parameter werden auch die wärmetechnischen Eigenschaften des Erdreichs einbezogen. Diese Vorgehensweise vereinfacht die dreidimensionale Problemstellung, die bei erdberührten Bauteile vorhanden ist, in ein eindimensionales Problem. Dazu wird ein eindimensionales Modell, das unendlich lang ist, mit einer Breite von  $B'$  definiert. Dieses Modell weist einen Wärmedurchlasswiderstand auf, der den Einfluss des Erdreichs berücksichtigt. Infolge der oben genannten Faktoren wird der Wärmedurchgangskoeffizient der Fundamentplatte bzw. der Kellerwand im Fall der unterkellerten Konstruktion berechnet. Die nach dieser Methode ermittelten U-Werte sind nicht ident mit den nach EN ISO 6946 [4] ermittelten U-Werten.

Um den Einfluss der Wärmebrücke zu berücksichtigen, wird der  $\psi_g$ -Wert ermittelt. Mit diesem Faktor sollen die Fehler dieser Näherungsmethode reduziert werden. Mit dem  $\psi_g$ -Wert wird der Einfluss der Wärmebrücke als zusätzlicher Wärmeverlust, der zwischen Fundamentplatte und Außenwand entsteht, in die Berechnung der Gesamtwärmeverluste einbezogen.

Ein weiterer Faktor, der die Wärmeverluste beeinflusst, ist die Phasenverschiebung. Diese hängt in erster Linie von der wirksamen Dicke ab. Im Fall von Modellen, die größere Wärmedurchlasswiderstände aufweisen, beispielhaft das Modell mit Aufbau 3 (EB03), ergibt sich eine große Phasenverschiebung. Am Beispiel des nicht unterkellerten Modells ergibt sich eine nach der genannten Norm berechnete Phasenverschiebung von 2,01 Monaten. Geht man mit diesem Wert in die Berechnung des monatlichen mittleren Wärmestroms bei sinusförmiger

Schwankung der Außentemperaturen, ergibt sich, dass der Wärmestrom den maximalen Wert im März erreicht. Die Ermittlung der Bodentemperaturen mittels instationärer Simulation und unter Berücksichtigung der sinusförmigen Temperaturschwankung hat gezeigt, dass die Phasenverschiebung 18 Tage beträgt.

Die Wärmeströme anhand der monatlichen Mitteltemperaturen wurden mit normgemäßen Formeln berechnet. Aufgrund der Tatsache, dass die Phasenverschiebung bei dieser Berechnungsmethode vernachlässigt wird, führt das zu genaueren Ergebnissen.

Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Berechnungsverfahren, einerseits mit den mittleren monatlichen Temperaturen, andererseits mit sinusförmiger Temperaturschwankung, werden in nachfolgenden Abschnitten dargestellt.

Die dreidimensionale stationäre Berechnung der Wärmestromverluste liefert Ergebnisse, die auf der sicheren Seite liegen. Der Einfluss der Wärmebrücken wird genau bestimmt, aber die Auswirkung der thermischen Trägheit des Erdreichs, die die gesamten Wärmeverluste beeinflusst, wird nicht miteinbezogen. Der Wärmefluss, der sich vom Raum mit höherer Temperatur zur Außenluft durch die Bauteile bewegt, erfährt eine Dämpfung durch den Widerstand des Erdreichs. Infolge der wärmetechnischen Eigenschaften des Erdreichs wird ein Teil der Wärme im Erdreich gespeichert. Da die Wärmespeicherfähigkeit des umgebenden Erdreichs, aber auch der Bauteile selbst bei der stationären Berechnung nicht berücksichtigt wird, führt das zu einem erhöhten dreidimensionalen Leitwert und damit auch zu erhöhten Wärmeverlusten. Daraus kann man schließen, dass die Ergebnisse mit der stationären dreidimensionalen Modellierung der Konstruktion die Ergebnisse der zweidimensionalen Simulationen überschreiten.

Es ist empfehlenswert, die Berechnung des Wärmestroms eines erdberührten Bauteils mit dreidimensionalen instationären Simulationen durchzuführen, um ein möglichst exaktes Ergebnis zu berechnen.

### 7.1.1 Nicht unterkellert

Die Wärmeverluste der nicht unterkellerte Modellgruppe 1, die nach den Berechnungsverfahren aus Kapiteln 3, 4 und 5 berechnet wurden, werden in Abbildung 99 gegenübergestellt.

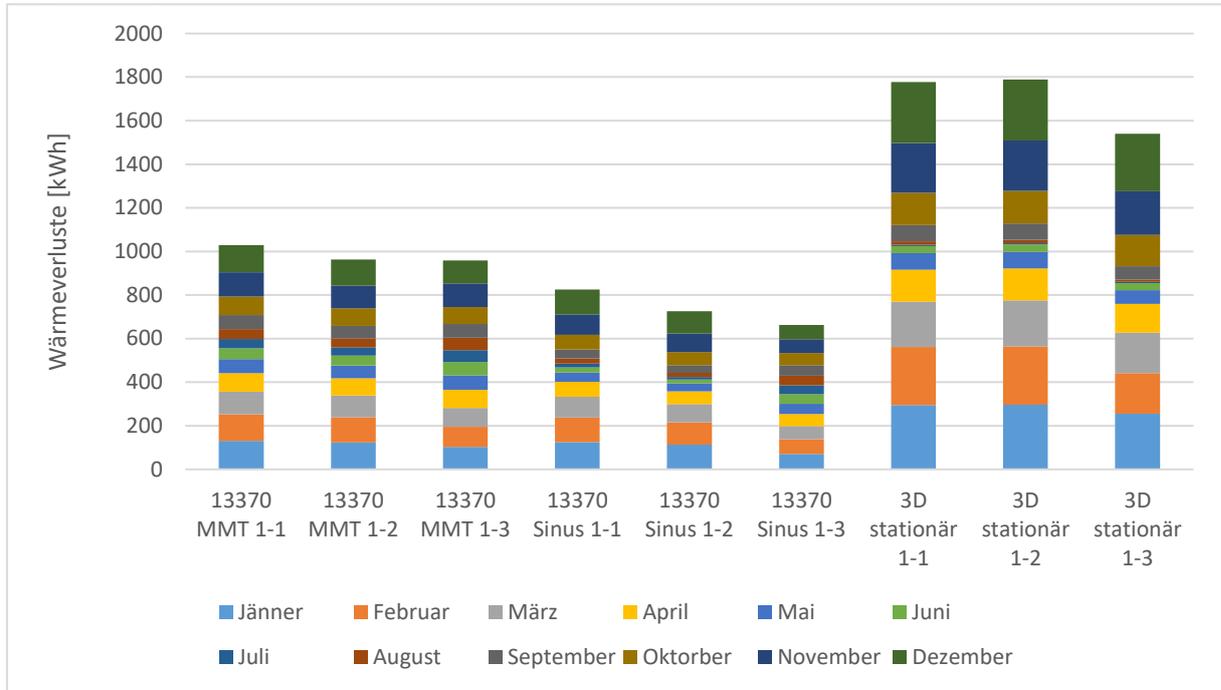


Abb. 99: Wärmeverluste in kWh der nicht unterkellerten Modellgruppe 1 in einem Jahr

Die Abkürzung 13370 MMT steht für die Berechnung der Wärmeverluste mittels der mittleren monatlichen Temperaturen (Kapitel 3). Die nächste Abkürzung 13370 Sinus bezieht sich auf die Ermittlung der Wärmeverluste mittels einer sinusförmigen Temperaturschwankung (Kapitel 4) und die Abkürzung 3D stationär auf die dreidimensionale stationäre Berechnung (Kapitel 5).

Infolge der Anwendung von Baustoffen mit unterschiedlichen wärmetechnischen Eigenschaften als Wärmedämmung verändern sich die Wärmedurchgangskoeffizienten. Demzufolge treten unterschiedliche Gesamtwärmeverluste auf. Die Modelle 1-1 und 1-2 weisen ähnliche Wärmeverluste in der Heizperiode beim Berechnungsverfahren mittels der monatlichen Mitteltemperaturen gemäß EN ISO 13370 und beim stationären dreidimensionalen Berechnungsverfahren auf. Die Ergebnisse mit sinusförmigen Temperaturschwankungen weichen etwas weiter ab. Im Diagramm ist erkennbar, dass beim Modell 1-3 die niedrigsten Wärmestromverluste auftreten.

Die im Diagramm (Abb. 99) dargestellten Wärmeverluste zeigen starke Abweichungen zwischen den Ergebnissen, die mittels sinusförmiger Temperaturschwankungen ermittelt werden, und den Ergebnissen der dreidimensionalen stationären Berechnung: Die stationär ermittelten Ergebnisse sind um fast 53% höher als jene der instationären Berechnung. Die Ursache für diese Abweichung liegt in der Tatsache, dass beim ersten Berechnungsverfahren die Auswirkungen der thermischen Trägheit des umgebenden Erdreichs miteinbezogen

## Vergleich der Berechnungsergebnisse

werden. Die Amplituden gemäß der instationären Simulation sind wesentlich niedriger als die Amplituden der stationären Berechnung, weil sie durch die Wärmespeicherfähigkeit gedämpft sind. Die dämmende und speichernde Wirkung des Erdreichs ist besonders für die Berechnung der Wärmeverluste bei nicht unterkellerten Systemen bedeutend. Die Ergebnisse mit Hilfe monatlicher Mitteltemperaturen befinden sich zwischen den Ergebnissen dieser zwei Berechnungsmethoden und deswegen nähert sich diese Berechnungsmethode besser der dreidimensionalen Methode als die Berechnungsmethode mit sinusförmigem Verlauf der Außentemperatur. Daraus kann man schlussfolgern, dass eine stationäre dreidimensionale Berechnung der Wärmeverluste bei erdberührten Bauteilen nicht aussagekräftig ist. Die Berechnung liefert Ergebnisse, die auf der sicheren Seite liegen, aber der Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit des Erdreiches wird nicht ausreichend genau abgebildet.

Um den Einfluss der unterschiedlichen Randbereiche bei den nicht unterkellerten Modellen auf die Wärmeverluste zu verdeutlichen, wurden die Wärmeverluste für drei Varianten der Detailausbildung mit der Frostschürze berechnet. Der Vergleich anhand der durch die unterschiedlichen Berechnungsverfahren berechneten Gesamtwärmeverluste wird in Abbildung 100 dargestellt.

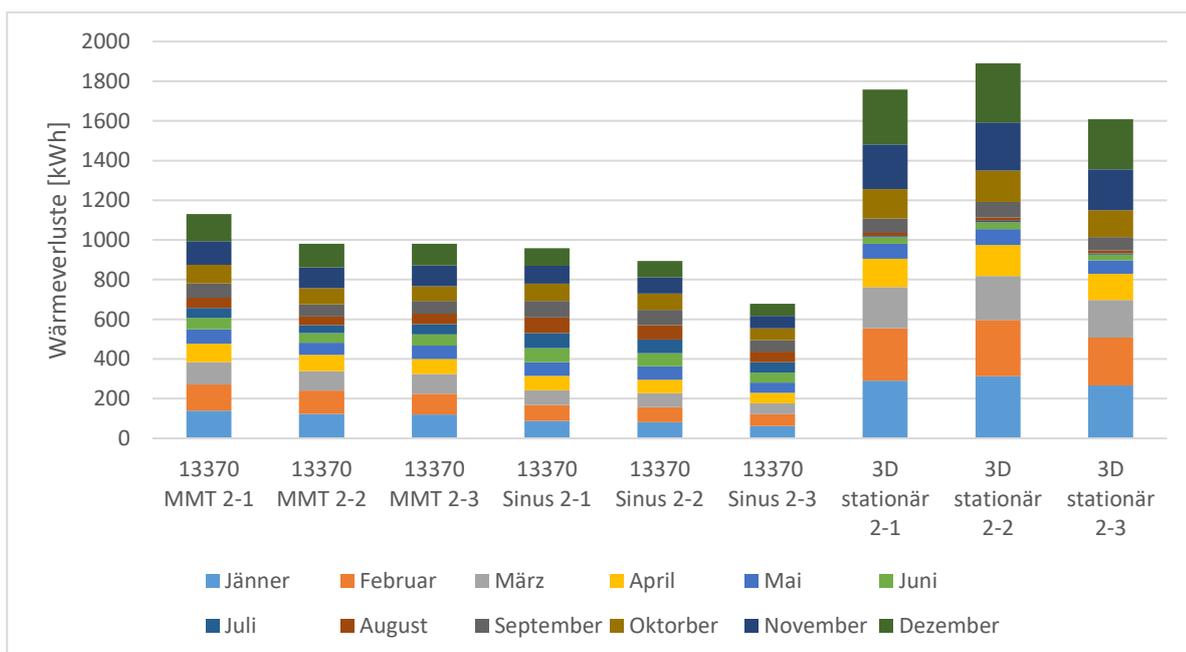


Abb. 100: Wärmeverluste in kWh der nicht unterkellerten Modellgruppe 2 in einem Jahr

Die Varianten mit Frostschürze zeigen im Vergleich zu denen ohne Frostschürze höhere Gesamtwärmeverluste im Jahrgang. Die Abweichungen der Wärmeverluste zwischen den Varianten mit gleichem Aufbau der Fundamentplatte hängen von der Berechnungsmethode ab. Die minimalen Unterschiede sind bei instationär berechneten Ergebnissen mit sinusförmigen Temperaturschwankungen vorhanden. Da die Modelle 1-3 und 2-3 die geringsten Unterschiede aufweisen, ist ersichtlich, dass der U-Wert der erdberührten Bauteile den wesentlichsten Einfluss auf das Ergebnis hat. Die wärmespeichernde Wirkung des Aufbaus 3 hat den Einfluss der unterschiedlichen Detailausbildung fast annulliert. Es sollte nicht unerwähnt bleiben, dass der Vergleich der Wärmeverluste allein in der Heizperiode (von

November bis einschließlich Februar) andere Ergebnisse liefert. Die Analyse des Wärmeverlustes in der Heizperiode mittels instationärer Simulation zeigt, dass die Wärmeverluste von Modellen mit Frostschräge geringer sind als die von Modellen ohne Frostschräge (Abb. 101). Die Unterschiede der Wärmeverluste in diesem Zeitraum betragen 22% zwischen den Modellen mit dem Aufbau 1, 20% zwischen den Modellen mit Aufbau 2 und 8% bei Aufbau 3.

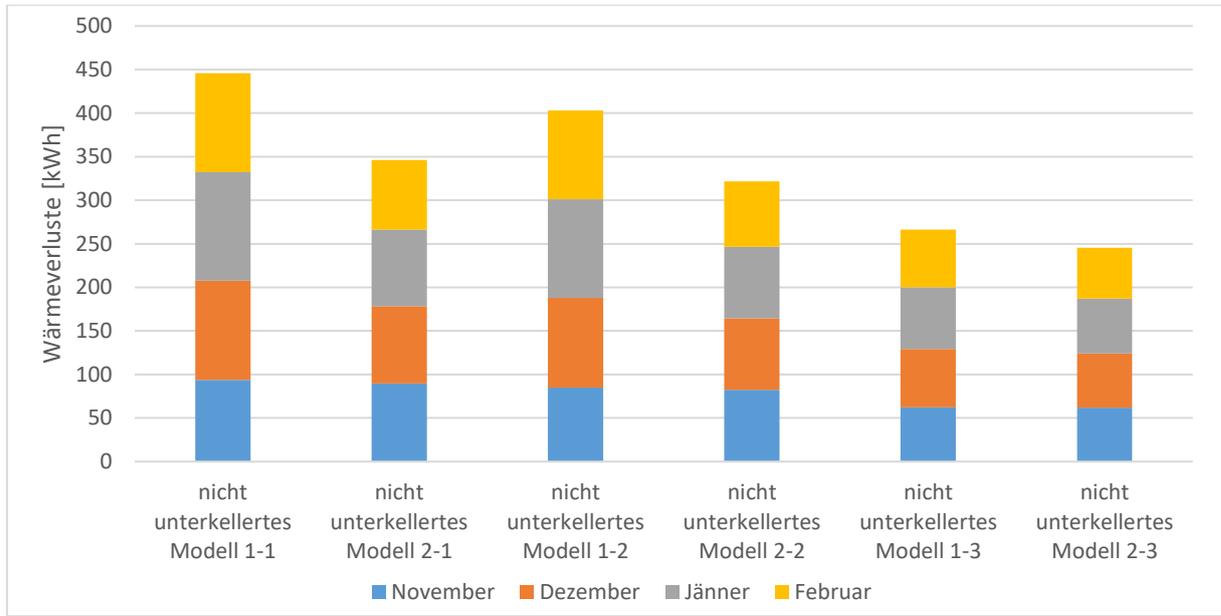


Abb. 101: Vergleich der Wärmeverluste der nicht unterkellerten Modellgruppen 1 und 2 in der Heizperiode

Eine Schlussfolgerung daraus ist, dass die Ausbildung der Frostschräge Einfluss auf die Gesamtwärmeverluste hat, dieser Einfluss aber nicht von derartiger Bedeutung wie die U-Werte der erdberührten Bauteile ist.

### 7.1.2 Konditionierter Keller

Der Vergleich der mittels der unterschiedlichen Berechnungsverfahren berechneten Gesamtwärmeverluste für die konditionierten unterkellerten Modelle ist in Abbildung 102 dargestellt.

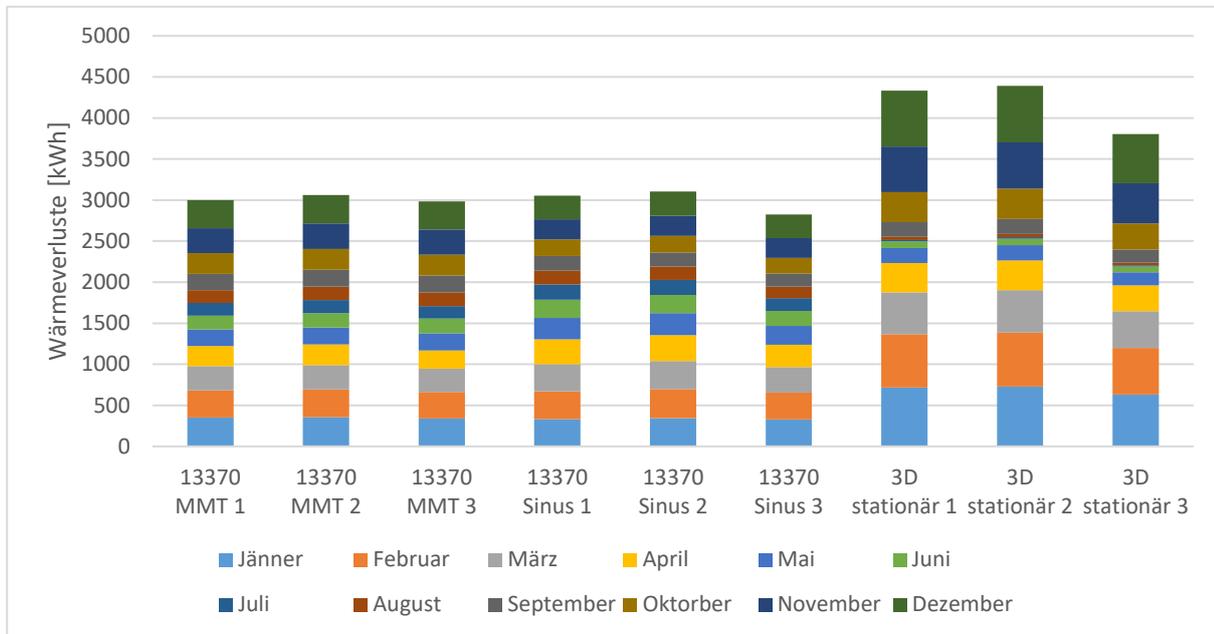


Abb. 102: Wärmeverluste in kWh des konditionierten Kellers Modelle in einem Jahr

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der nicht unterkellerten Modelle zeigt sich, dass bei den konditionierten Keller Modellen die Abweichung zwischen den Wärmeverlusten anhand der unterschiedlichen Berechnungsverfahren nicht so groß ist. Das Verfahren nach EN ISO 13370 mit monatlichen Mitteltemperaturen und das zweidimensionale Verfahren mit Sinusverlauf zeigen fast identische Resultate. Die Phasenverschiebung, die zu fehlerhaften Ergebnissen führen kann, ist bei der ersten Methode mit Null angesetzt. Bei der zweiten Methode, der zweidimensionalen Methode mit sinusförmigem Verlauf der Außentemperatur, werden die Wärmeströme mit den Temperaturen unter Berücksichtigung der Phasenverschiebung ermittelt. Die Ergebnisse mittels der dreidimensionalen Berechnung weisen die größten Wärmeverluste auf. Der Unterschied zwischen den dreidimensionalen Ergebnissen und den Ergebnissen nach Norm liegen bei 30%.

Die Ergebnisse der instationären Simulationen aus dem Kapitel 4 haben gezeigt, dass im Gegensatz zu den nicht unterkellerten Modellen die Auswirkung der unterschiedlichen Wärmedurchlasswiderstände der Kellerfundamentplatte keinen großen Einfluss auf die Gesamtwärmeverluste aufweisen.

Resümierend lässt sich also sagen, dass auch bei konditionierten unterkellerten Modellen die ermittelten Gesamtwärmeverluste anhand des dreidimensionalen Berechnungsverfahrens auf

der sicheren Seite liegen. Das heißt aber nicht, dass die anderen Berechnungsverfahren unsicher sind.

### 7.1.3 Unkonditionierter Keller

In Abbildung 103 sind die Wärmeverluste für die unkonditioniert unterkellerten Modelle dargestellt.

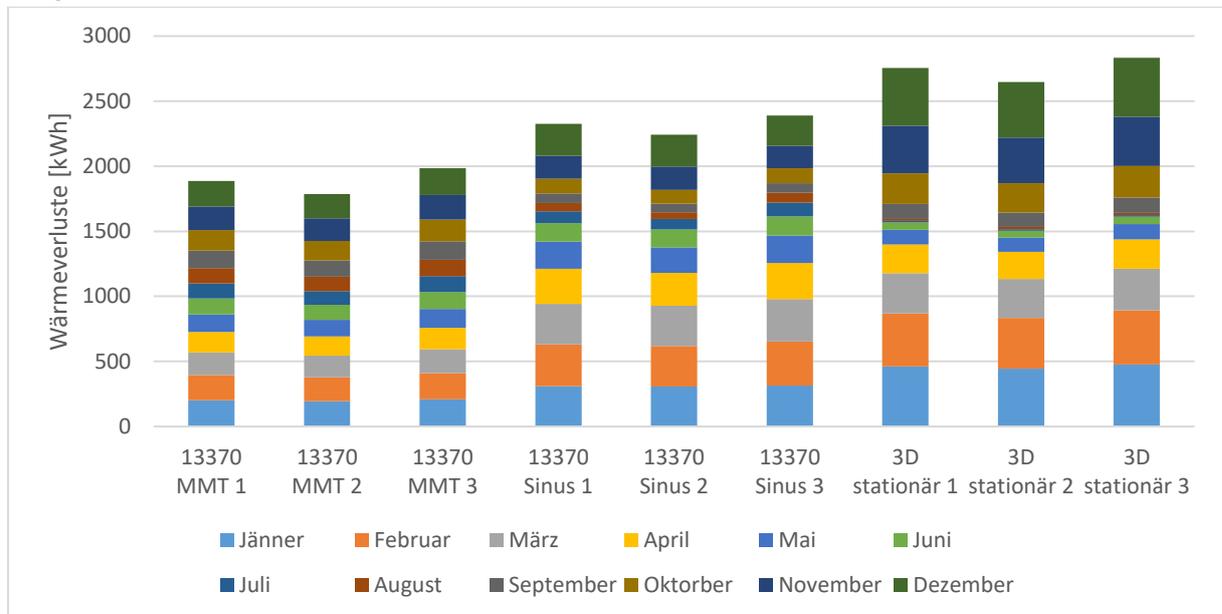


Abb. 103: Wärmeverluste in kWh der unkonditionierten Keller Modelle in einem Jahr

In Abbildung 103 ist ersichtlich, dass die Abweichungen der Ergebnisse deutlich kleiner als bei den anderen Systemen sind. Die stationär berechneten Wärmeverluste sind um 15% höher als jene der instationären Simulation. Im Weiteren fallen die monatlichen Werte der Wärmeverluste auf, die anhand der monatlichen Mitteltemperaturen ermittelt wurden. Es ergeben sich fast gleiche Wärmeverluste für jeden Monat. Der Hintergrund für diese Ergebnisse liegt in der Tatsache, dass aufgrund höherer U-Werte der Bauteile sich ein negativer längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient  $\psi_g$  ergibt. Demzufolge weist der stationäre Leitwert einen kleineren Wert auf. Außerdem wird der Einfluss des inneren harmonischen thermischen Leitwertes in die Berechnung einbezogen, da sich die Innentemperatur des unkonditionierten Kellers im Jahresverlauf ändert. Für die zwei anderen Berechnungsverfahren gilt das Gleiche wie beim konditioniertem Keller. Die Wärmeverluste sind in der Heizperiode größer als im Sommer, und aufgrund der Wärmespeicherkapazität der Bauteile und des Erdreichs weist das Berechnungsverfahren mit sinusförmigem Temperaturverlauf kleinere Wärmeverluste auf. Es lässt sich auch bei diesen Modellen anhand der Ergebnisse beweisen, dass die Berechnung der Wärmeverluste nach dem dreidimensionalen stationären Berechnungsverfahren die größten Wärmeverluste aufweist. Die Berechnung ohne Berücksichtigung der Wärmespeicherfähigkeit führt zu erhöhten Wärmeverlusten.

## 7.2 Zusammenfassung

Der Vergleich der einzelnen Berechnungsverfahren für die Wärmeverluste der erdberührten Bauteile führt zu folgenden Erkenntnissen. Die Ergebnisse der Näherungsverfahren werden durch viele Faktoren beeinflusst. Von großer Bedeutung ist die Berechnung des  $\psi_g$ -Werts. Dessen Ermittlung aus einer zweidimensionalen numerischen stationären Berechnung soll die Ergebnisse des Wärmestroms exakter abbilden und die Fehler dieser Näherungsmethode reduzieren. Die Wahl der Abmessungen für die Berechnung des  $\psi_g$ -Werts beeinflusst die Genauigkeit der Ergebnisse. Die Berechnung des  $\psi_g$ -Werts mit externen Messungen ergibt andere Ergebnisse als mit internen Messungen. Es ist empfehlenswert, die Berechnung der  $\psi_g$ -Wert mit externen Messungen durchzuführen. Mit dieser Vorgehensweise liegen die berechneten Wärmeverluste der geometrischen bedingten Wärmebrücke auf der sicheren Seite. Ein weiterer Faktor, der Einfluss auf Ergebnisse hat, ist die Phasenverschiebung, die von der wirksamen Dicke abhängig ist. Die große wirksame Dicke beim nicht unterkellerten System führt zu einer Phasenverschiebung, die zu hoch ist. Bei der Anwendung monatlicher Mitteltemperaturen wird die Phasenverschiebung laut Norm als null gesetzt. Demzufolge nähert sich dieses Berechnungsverfahren besser den Ergebnissen der dreidimensionalen Berechnung im Fall der nicht unterkellerten Systeme an.

Bei der zweidimensionalen instationären Simulation schwingen die Temperaturen sinusförmig um ihr Jahresmittel. Anhand der Ergebnisse mit unterschiedlichen Varianten der Modelle kann gezeigt werden, dass der Einfluss der unterschiedlichen Bauteilaufbauten bei den nicht unterkellerten Systemen stärker als bei denen mit Keller ausgeprägt ist. Die Ergebnisse, die mittels dieser Berechnungsmethode berechnet werden, zeigen, dass sie sich für die unterkellerten Modelle am besten an die dreidimensionalen Ergebnisse annähern.

Die dreidimensionale stationäre Berechnung der Wärmeverluste liefert Ergebnisse, die auf der sicheren Seite liegen. Der Einfluss der Wärmebrücken wird genau bestimmt, allerdings liegt der Nachteil dieses Berechnungsverfahrens in der Tatsache, dass die Auswirkung der thermischen Trägheit des Erdreichs, die die gesamten Wärmeverluste in einem Jahr beeinflusst, nicht miteinbezogen wird.

## 8 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Ergebnisse verschiedener normativer Berechnungsverfahren für Wärmeverluste über das Erdreich mit einem dreidimensional berechneten Ergebnis verglichen. Im ersten Teil der Arbeit wurden drei verschiedene Systeme definiert: nicht unterkellert, konditionierter Keller und unkonditionierter Keller. Um den Einfluss der wärmetechnischen Qualität der erdberührten Bauteile auf die Wärmeverluste zu untersuchen, werden unterschiedliche Bauteilaufbauten für diese Systeme festgelegt.

Mit den Näherungsverfahren nach EN ISO 13370 wird der Wärmestrom durch eine stationäre und eine periodische Komponente berechnet. Von großer Bedeutung ist die Vereinfachung der dreidimensionalen Problemstellung in ein eindimensionales Modell durch das charakteristische Bodenplattenmaß  $B'$ . Demgemäß wird der Wärmestrom anstatt auf einem dreidimensionalen Modell mit der tatsächlichen Bodenplattenform auf einem theoretisch unendlich ausgedehnten Modell mit einer Breite von  $B'$  berechnet. Die weiteren wichtigen Parameter sind die wirksamen Gesamtdicken der Bodenplatte und Kellerwände. Bei diesen Parametern wird die Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs berücksichtigt. Um den Einfluss des zusätzlichen Wärmeverlustes der Wärmebrücken zu berücksichtigen, fließt der Parameter  $\psi_g$ -Wert in die Berechnung des stationären Leitwerts ein. Mit dieser Vorgehensweise sollen die Fehler der eindimensionalen Berechnung korrigiert werden. Die Berechnung des  $\psi_g$ -Werts aus einer zweidimensionalen numerischen stationären Berechnung soll die Ergebnisse zum Wärmestrom exakter abbilden und somit die Ergebnisse besser an die dreidimensionale Berechnung annähern.

Die Wärmeströme werden für die betrachteten Systeme anhand der monatlichen Mitteltemperaturen berechnet. Die Ergebnisse für die nicht unterkellerten Modelle zeigen, dass der Einfluss des  $\psi_g$ -Werts auf die Ergebnisse am stärksten ausgeprägt ist. Neben dem Einfluss des  $\psi_g$ -Werts nimmt der Wärmedurchlasswiderstand der Fundamentplatte eine wesentliche Rolle in Bezug auf die Wärmeverluste im Jahr ein. Umso kleiner der U-Wert der Fundamentplatte ist, desto kleiner ist der Wärmestrom und folgend auch der Wärmeverlust. Bei den unterkellerten Modellen ist bemerkbar, dass die Wärmeverluste durch die Kellerwände größer als durch die Kellerbodenplatte sind. Die Ursache für diese Schlussfolgerung liegt in der Tatsache, dass die Kellerwände größere U-Werte und eine größere Fläche als die Kellerbodenplatte aufweisen. Der Einfluss der unterschiedlichen Aufbauten der Fundamentplatte auf die Gesamtwärmeverluste ist bei den unterkellerten Systemen nicht so deutlich wie bei den nicht unterkellerten.

Die Ergebnisse der zweidimensionalen instationären Simulation der Wärmeverluste mittels sinusförmiger Schwankung der Außentemperatur sind kleiner als jene der dreidimensionalen stationären Berechnung. Dies ist auf die Einflüsse der Wärmebrücke des Bauteils und der Wärmespeicherkapazität der Bauteile und des Erdreichs zurückzuführen. Bei den nicht unterkellerten Modellen sind diese Einflüsse stärker ausgeprägt als bei den unterkellerten Modellen. Demzufolge weichen die Ergebnisse der nicht unterkellerten Modelle mehr als bei den unterkellerten Modellen voneinander ab. Es kann festgestellt werden, dass die

Wärmeverluste in der Heizperiode von Modellen mit Frostschräge geringer sind als die von Modellen ohne Frostschräge. Die Ergebnisse der Wärmeverluste, die mittels dieser Berechnungsmethode bestimmt werden, zeigen, dass sie sich für die unterkellerten Modelle am besten den dreidimensionalen Ergebnissen annähern.

Die dreidimensionale stationäre Berechnung der Wärmeverluste liefert Ergebnisse, die auf der sicheren Seite liegen. Der Einfluss der Wärmebrücken wird genau bestimmt, aber die Auswirkung der thermischen Trägheit des Erdreichs, die die gesamten Wärmeverluste beeinflusst, wird nicht miteinbezogen. Da die Wärmespeicherfähigkeit des umgebenden Erdreichs, aber auch jene der Bauteile selbst bei der stationären Berechnung nicht berücksichtigt wird, führt das zu einem erhöhten dreidimensionalen Leitwert und damit auch zu erhöhten Wärmeverlusten. Daraus kann man schließen, dass sich durch eine dreidimensionale instationäre Simulation der Konstruktion, welche die genauen Materialeigenschaften des Bauteils und des Erdreichs berücksichtigt, ein genaueres Ergebnis der Wärmeströme berechnen lässt.

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden die Details mit Wärmestromlinien dargestellt und analysiert. Die Auswertung der Analyse belegt, dass die betrachteten Details gut ausgebildet sind und dass keine problematischen Wärmebrücken auftreten. Außerdem werden die Temperaturfaktoren für alle Modelle ermittelt. Die Ergebnisse der Temperaturfaktoren zeigen, dass die Mindestanforderungen für alle konstruktiven und materialbedingten Wärmebrücken erfüllt sind und keine Gefahr der Schimmelbildung und Kondensation an der Oberfläche besteht.

---

## 9 Literaturverzeichnis

- [1] Austrian Standards Institute: ÖNORM EN 13370: 2008 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden –Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren
- [2] Austrian Standards Institute: ÖNORM B 3692: 2014 Planung und Ausführung von Bauwerksabdichtungen
- [3] Austrian Standards Institute: ÖNORM B 8110-7: 2013 Wärmeschutz im Hochbau – Teil 7: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte
- [4] Austrian Standards Institute: ÖNORM EN ISO 6946: 2008 Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren
- [5] ZAMG: Klimadaten von Österreich 1971-2000
- [6] Austrian Standards Institute: ÖNORM B 8110-6: 2015 Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf – Nationale Festlegungen und nationale Ergänzungen zur ÖNORM EN ISO 13790
- [7] Rüdisser D., HTflux: Thermische und hygrothermische Simulation [www.htflux.com](http://www.htflux.com)
- [8] GEQ: Zehentmayer Energieausweis Software, Zehentmayer Software GmbH
- [9] Austrian Standards Institute: ÖNORM EN ISO 13793: 2001 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden –Wärmetechnische Bemessung von Gebäudegründungen zur Vermeidung von Frosthebung
- [10] Austrian Standards Institute: ÖNORM EN ISO 10211: 2008 Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen
- [11] Kornicki, T.: Antherm [www.anterm.at](http://www.anterm.at)
- [12] Krec, K.: Zur Berechnung von  $\psi$ -Werten für Baukonstruktionen im Bereich bodenberührter Bauteile, 2009.
- [13] Austrian Standards Institute: ÖNORM B 8110-2: 2003 Wärmeschutz im Hochbau – Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz
- [14] WTA 6-5-14-D: 2014 Innendämmung nach WTA II - Nachweis von Innendämmsystemen mittels numerischer Berechnungsverfahren

- [15] Liersch, K. und N. Langner: Bauphysik kompakt, Wärme, Feuchte, Schall. BBB Bauwerk-Basis-Bibliothek, 2006.

## 10 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Übersicht der nicht unterkellerten Modellgruppe 1 – rückläufiger Stoß .....	14
Abb. 2:	Nicht unterkellertes Modell 1-1, 1-2, 1-3 .....	14
Abb. 3:	Übersicht der nicht unterkellerten Modellgruppe 2 –Frostschürze.....	15
Abb. 4:	Nicht unterkellertes Modell 2-1, 2-2, 2-3 .....	15
Abb. 5:	Übersicht der konditionierten Keller-Modellgruppen.....	16
Abb. 6:	Konditionierter Keller Modelle 1-1, 1-2, 1-3.....	16
Abb. 7:	Übersicht der unkonditionierten Keller-Modellgruppen.....	17
Abb. 8:	Unkonditionierter Keller Modelle 1-1, 1-2, 1-3.....	17
Abb. 9:	Skizze zur Berechnung der $\psi_g$ -Werte in HTflux.....	27
Abb. 10:	Skizze der unterkellerten Modelle .....	28
Abb. 11:	Wärmeströme in $W$ der nicht unterkellerten Modelle 1 berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen .....	31
Abb. 12:	Wärmeverluste in $kWh/m^2$ der nicht unterkellerten Modelle 1 berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen .....	31
Abb. 13:	Wärmeströme in $W$ der nicht unterkellerten Modelle 2 berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen .....	33
Abb. 14:	Wärmeverluste in $kWh/m^2$ der nicht unterkellerten Modelle 2 berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen .....	33
Abb. 15:	Vergleich der Wärmeverluste zwischen nicht unterkellerte Modelle berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen.....	35
Abb. 16:	Wärmeströme in $W$ der konditionierten Keller Modelle berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen .....	36
Abb. 17:	Wärmeverluste in $kWh/m^2$ der konditionierten Keller Modelle berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen .....	36
Abb. 18:	Wärmeströme in $W$ der unkonditionierten Keller Modelle berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen .....	38
Abb. 19:	Wärmeverluste in $kWh/m^2$ der unkonditionierten Keller Modelle berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen .....	38
Abb. 20:	Vergleich konditionierter Keller zu unkonditioniertem Keller.....	40
Abb. 21:	Systemdarstellung – nicht unterkellertes Modell 1-1 .....	43
Abb. 22:	Erdreichaufbau .....	44
Abb. 23:	Jahresverlauf der Außentemperatur aus HTflux.....	45
Abb. 24:	Mittlerer Jahresverlauf der Außentemperatur aus den Jahren 2005-2007.....	46
Abb. 25:	Mittlerer Jahresverlauf der Außentemperatur aus den Jahren 2005-2007 und Jahresverlauf der Außentemperatur aus HTflux.....	47
Abb. 26:	Materialansicht Modell 1-1 .....	49
Abb. 27:	Temperaturansicht Modell 1-1 .....	49
Abb. 28:	Materialansicht Modell 1-2.....	50
Abb. 29:	Temperaturansicht Modell 1-2 .....	50

Abb. 30:	Materialansicht Modell 1-3 .....	51
Abb. 31:	Temperaturansicht Modell 1-3 .....	51
Abb. 32:	Wärmeströme in $W$ der nicht unterkellerten Modelle 1 berechnet in HTflux anhand sinusförmiger Temperaturvariationen.....	52
Abb. 33:	Wärmeverluste in $kWh/m^2$ der nicht unterkellerten Modelle 1 berechnet in HTflux anhand sinusförmiger Temperaturvariationen.....	52
Abb. 34:	Materialansicht Modell 2-1 .....	54
Abb. 35:	Temperaturansicht Modell 2-1 .....	54
Abb. 36:	Materialansicht Modell 2-2 .....	55
Abb. 37:	Temperaturansicht Modell 2-2 .....	55
Abb. 38:	Materialansicht Modell 2-3 .....	56
Abb. 39:	Temperaturansicht Modell 2-3 .....	56
Abb. 40:	Wärmeströme in $W$ der nicht unterkellerten Modelle 2 berechnet in HTflux anhand sinusförmiger Temperaturvariationen.....	57
Abb. 41:	Wärmeverluste in $kWh/m^2$ der nicht unterkellerten Modelle 2 berechnet in HTflux anhand sinusförmiger Temperaturvariationen.....	57
Abb. 42:	Vergleich der Wärmeverluste zwischen nicht unterkellerten Modellen .....	58
Abb. 43:	Materialansicht konditionierter Keller Modell 1 .....	60
Abb. 44:	Temperaturansicht konditionierter Keller Modell 1 .....	60
Abb. 45:	Materialansicht konditionierter Keller Modell 2 .....	61
Abb. 46:	Temperaturansicht konditionierter Keller Modell 2 .....	61
Abb. 47:	Materialansicht konditionierter Keller Modell 3 .....	62
Abb. 48:	Temperaturansicht konditionierter Keller Modell 3 .....	62
Abb. 49:	Wärmeströme in $W$ der konditionierten Keller Modelle berechnet in HTflux anhand sinusförmiger Temperaturvariationen.....	63
Abb. 50:	Wärmeverluste in $kWh/m^2$ der konditionierten Keller Modelle berechnet in HTflux anhand sinusförmiger Temperaturvariationen.....	63
Abb. 51:	Vergleich zwischen Bodenplatte nicht unterkellert und unterkellert .....	65
Abb. 52:	Vergleich zwischen Bodenplatte nicht unterkellert und unterkellert in Heizperiode .....	65
Abb. 53:	Materialansicht unkonditionierter Keller Modell 1 .....	67
Abb. 54:	Temperaturansicht unkonditionierter Keller Modell 1 .....	67
Abb. 55:	Materialansicht unkonditionierter Keller Modell 2 .....	68
Abb. 56:	Temperaturansicht unkonditionierter Keller Modell 2 .....	68
Abb. 57:	Materialansicht unkonditionierter Keller Modell 3 .....	69
Abb. 58:	Temperaturansicht unkonditionierter Keller Modell 3 .....	69
Abb. 59:	Wärmeströme in $W$ der unkonditionierten Keller Modelle berechnet in HTflux anhand sinusförmiger Temperaturvariationen.....	70
Abb. 60:	Wärmeverluste in $kWh/m^2$ der unkonditionierten Keller Modelle berechnet in HTflux anhand sinusförmiger Temperaturvariationen.....	70
Abb. 61:	Jährlicher Verlauf der Bodentemperatur .....	71

---

---

Abb. 62:	Wärmeströme in $W$ der unkonditionierten Kellerdecken Modelle berechnet in HTflux.....	72
Abb. 63:	Wärmeströme in $W$ der nicht unterkellerten Modelle 1 berechnet in HTflux anhand des mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur .....	73
Abb. 64:	Vergleich der Wärmeverluste der nicht unterkellerten Modellgruppe 1 berechnet anhand des sinusförmigen und mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur .	74
Abb. 65:	Wärmeströme in $W$ der nicht unterkellerten Modelle 2 berechnet in HTflux anhand des mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur .....	75
Abb. 66:	Vergleich der Wärmeverluste der nicht unterkellerten Modellgruppe 2 berechnet anhand des sinusförmigen und mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur .	76
Abb. 67:	Wärmeströme in $W$ der konditionierten Keller Modelle berechnet in HTflux anhand des mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur .....	76
Abb. 68:	Vergleich der Wärmeverluste der konditionierten Keller berechnet anhand des sinusförmigen und mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur .....	77
Abb. 69:	Wärmeströme in $W$ der unkonditionierten Keller Modelle berechnet in HTflux anhand des mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur.....	78
Abb. 70:	Vergleich der Wärmeverluste der unkonditionierten Keller berechnet anhand des sinusförmigen und mittleren Jahresverlaufs der Außentemperatur .....	79
Abb. 71:	3D Abschnitt der Ecke der Bodenplatte Modell 1-1 .....	82
Abb. 72:	Temperaturansicht nicht unterkellertes Modell 1-1.....	84
Abb. 73:	Temperaturansicht nicht unterkellertes Modell 1-2.....	84
Abb. 74:	Temperaturansicht nicht unterkellertes Modell 1-3.....	85
Abb. 75:	Wärmeströme in $W$ der nicht unterkellerten Modelle 1 berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen - 3D stationär .....	85
Abb. 76:	Wärmeverluste in $kWh/m^2$ der nicht unterkellerten Modelle 1 berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen - 3D stationär .....	86
Abb. 77:	Temperaturansicht nicht unterkellertes Modell 2-1.....	86
Abb. 78:	Temperaturansicht nicht unterkellertes Modell 2-2.....	87
Abb. 79:	Temperaturansicht nicht unterkellertes Modell 2-3.....	87
Abb. 80:	Wärmeströme in $W$ der nicht unterkellerten Modelle 2 berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen -3D stationär .....	88
Abb. 81:	Wärmeverluste in $kWh/m^2$ der Bodenplatte auf Erdreich Modelle 2 berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen - 3D stationär.....	88
Abb. 83:	Temperaturansicht konditionierter Keller Modell 1 .....	90
Abb. 84:	Temperaturansicht konditionierter Keller Modell 2 .....	90
Abb. 85:	Temperaturansicht konditionierter Keller Modell 3 .....	91
Abb. 86:	Wärmeströme in $W$ der konditionierten Keller berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen - 3D stationär.....	91
Abb. 87:	Wärmeverluste in $kWh/m^2$ der konditionierten Keller Modelle berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen -3D stationär .....	92
Abb. 88:	Temperaturansicht unkonditionierter Keller Modell 1 .....	93
Abb. 89:	Temperaturansicht unkonditionierter Keller Modell 2 .....	93

---

Abb. 91:	Wärmeströme in <i>W</i> der unkonditionierten Keller berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen - 3D stationär.....	94
Abb. 92:	Wärmeverluste in <i>kWh/m<sup>2</sup></i> der unkonditionierten Keller Modelle berechnet anhand monatlicher Mitteltemperaturen -3D stationär .....	95
Abb. 93:	Vergleich konditionierter Keller zu unkonditioniertem Keller -3D stationär.....	95
Abb. 94:	Nicht unterkellertes Modell 1-1 mit Wärmestromlinie (62 Intervalle entspricht 0,1 <i>W/m</i> pro Intervall) .....	100
Abb. 95:	Nicht unterkellertes Modell 2-1 mit Wärmestromlinie (62 Intervalle entspricht 0,1 <i>W/m</i> pro Intervall) .....	101
Abb. 96:	Konditionierter Keller Modell 1 mit Wärmestromlinie (62 Intervalle entspricht 0,2 <i>W/m</i> pro Intervall) .....	102
Abb. 97:	Unkonditionierter Keller Modell 1 mit Wärmestromlinie (62 Intervalle entspricht 0,1 <i>W/m</i> pro Intervall) .....	103
Abb. 98:	Stellen mit kritischen Temperaturen zur Berechnung des Temperaturfaktors ..	104
Abb. 99:	Wärmeverluste in <i>kWh</i> der nicht unterkellerten Modellgruppe 1 in einem Jahr.	109
Abb. 100:	Wärmeverluste in <i>kWh</i> der nicht unterkellerten Modellgruppe 2 in einem Jahr.	110
Abb. 101:	Vergleich der Wärmeverluste der nicht unterkellerten Modellgruppen 1 und 2 in der Heizperiode .....	111
Abb. 102:	Wärmeverluste in <i>kWh</i> des konditionierten Kellers Modelle in einem Jahr .....	112
Abb. 103:	Wärmeverluste in <i>kWh</i> der unkonditionierten Keller Modelle in einem Jahr .....	113

---

## 11 Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Monatsmittel Temperaturen .....	29
Tab. 2:	$\psi_g$ -Wert und thermische Leitwerte für die nicht unterkellerte Modellgruppe 1 ....	32
Tab. 3:	$\psi_g$ -Wert und thermische Leitwerte für die nicht unterkellerte Modellgruppe 2 ....	34
Tab. 4:	Unterschied zwischen den $\psi_g$ -Werten der nicht unterkellerten Modelle .....	34
Tab. 5:	Bodenarten .....	44
Tab. 6:	Berechnung der statischen Leitwerte mit unterschiedlichen Wärmeübergangswiderständen an das Erdreich .....	98
Tab. 7:	Zweidimensionale Leitwerte-nicht unterkellerte Modellgruppe 1 .....	99
Tab. 8:	Zweidimensionale Leitwerte-nicht unterkellerte Modellgruppe 2 .....	101
Tab. 9:	Zweidimensionale Leitwerte-konditionierter Keller .....	102
Tab. 10:	Zweidimensionale Leitwerte-unkonditionierter Keller .....	103
Tab. 11:	Ergebnisse für den Temperaturfaktor $f_{Rsi}$ .....	105

## 12 Anhang 1

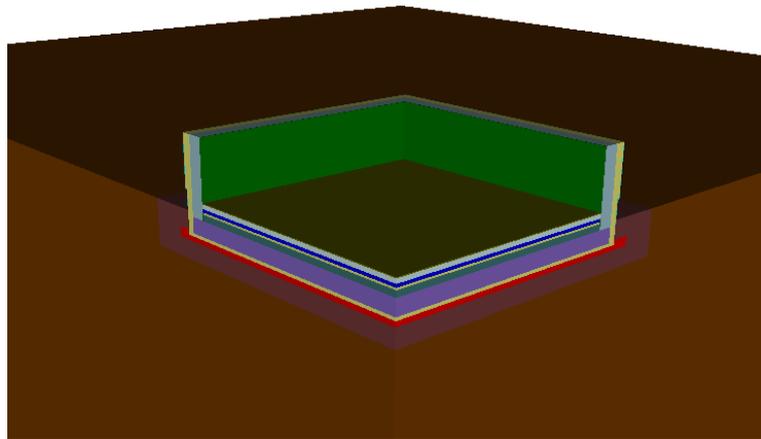
### Symbole und Einheiten

Symbol	Größe	Einheit
A	Bodenplattenfläche	$m^2$
B'	Charakteristische Bodenplattenmaß	$m$
$d_t$	Wirksame Gesamtdicke der Bodenplatte auf Erdreich	$m$
$d_w$	Wirksame Gesamtdicke der Kellerwand	$m$
P	Exponierter Umfang der Bodenplatte	$m$
$\lambda$	Wärmeleitfähigkeit	$W/(m \cdot K)$
$\rho$	Dichte	$kg/m^3$
c	Spezifische Wärmekapazität	$J/(kg \cdot K)$
$\theta$	Temperatur	$^{\circ}C$
$\Phi_m$	Wärmestrom	$W$
$H_g$	Stationäre Wärmeübertragungskoeffizient über das Erdreich	$W/K$
$H_{pe}$	Äußerer harmonischer thermischer Leitwert	$W/K$
$H_{pi}$	Innerer harmonischer thermischer Leitwert	$W/K$
$L_{3D}$	Dreidimensionalen Leitwert	$W/K$
$L_{2D}$	Zweidimensionalen Leitwert	$W/K$
$f_{Rsi}$	Temperaturfaktor	
$R_{si}$	Innerer Wärmeübergangswiderstand	$m^2 \cdot K/W$
$R_{se}$	Äußerer Wärmeübergangswiderstand	$m^2 \cdot K/W$
$R_f$	Wärmedurchlasswiderstand der Bodenplattenkonstruktion	$m^2 \cdot K/W$
w	Dicke der Außenwände	$m$
U	Wärmedurchgangskoeffizient zwischen Innenraum und Außenumgebung	$W/(m^2 \cdot K)$
$U_{bf}$	Wärmedurchgangskoeffizient der Keller-Bodenplatte	$W/(m^2 \cdot K)$
$U_{bw}$	Wärmedurchgangskoeffizient der Kellerwände	$W/(m^2 \cdot K)$
$\Psi_g$	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient für die Verbindungsstelle zwischen Wand und Bodenplatte	$W/(m \cdot K)$
h	Höhe der Bodenplattenoberfläche oberhalb der Oberfläche des umgebenen Erdreichs	$m$
z	Tiefe der Keller-Bodenplatte unterhalb der Erdreichoberfläche	$m$
V	Luftvolumen	$m^3$
n	Luftwechselrate	$h^{-1}$
$\delta$	Periodische Eindringtiefe	$m$

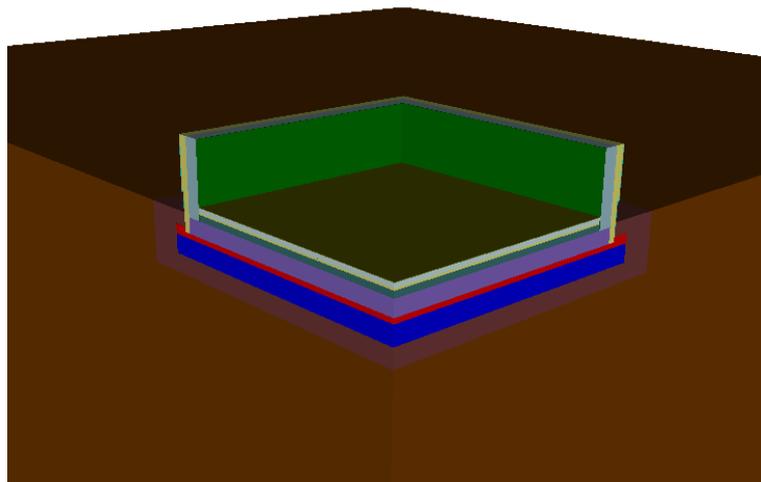
## 13 Anhang 2

Grafische Darstellung der dreidimensionalen Modelle.

Nicht unterkellerte Modelle 1

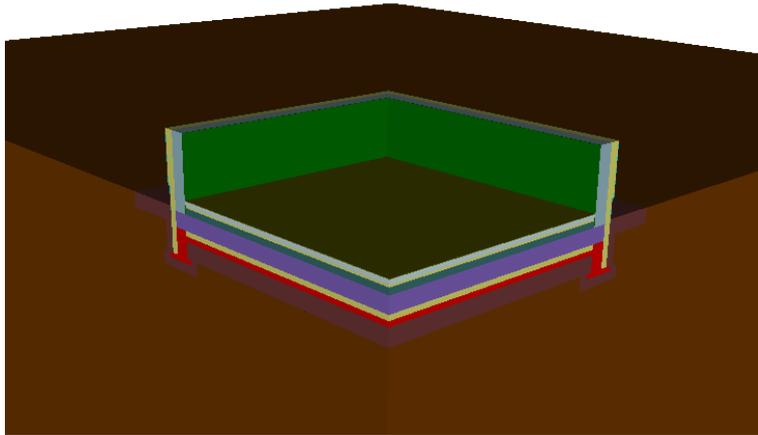


Modell 1-2

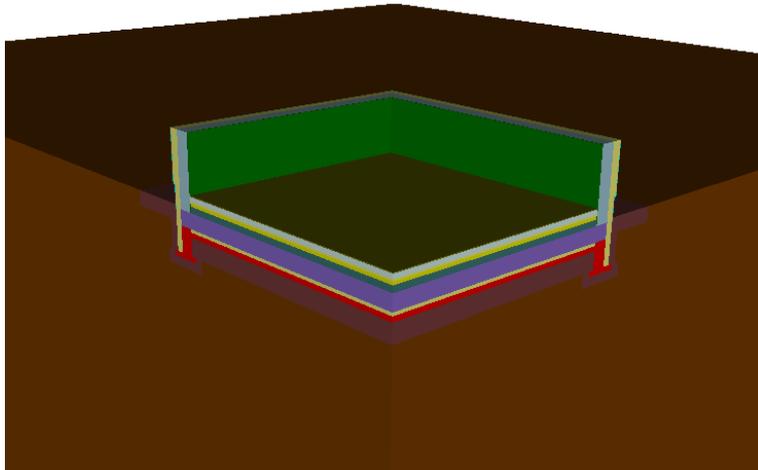


Modell 1-3

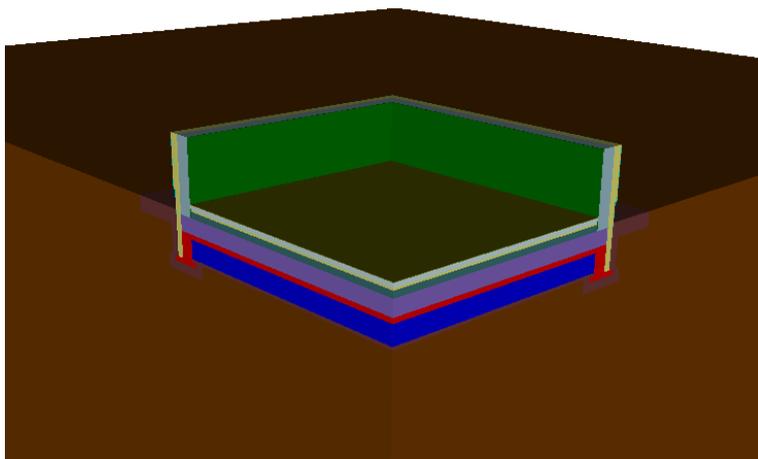
**Nicht unterkellerte Modelle 2**



Modell 2-1

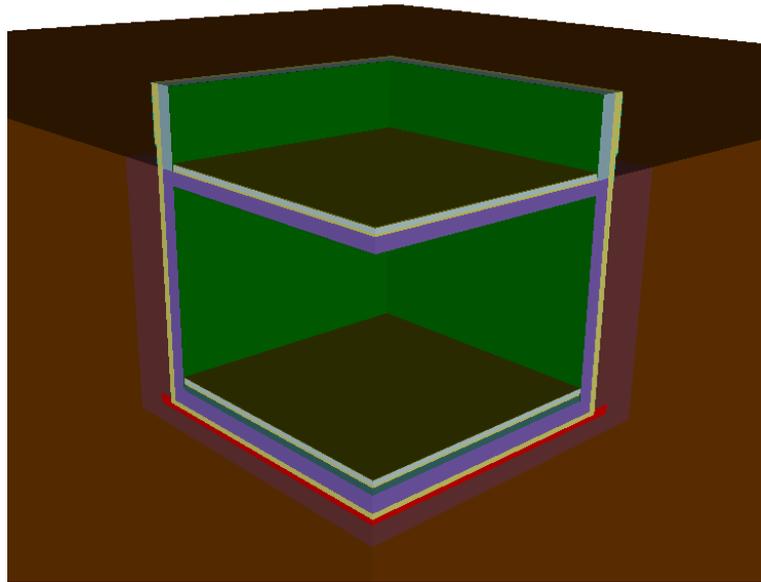


Modell 2-2

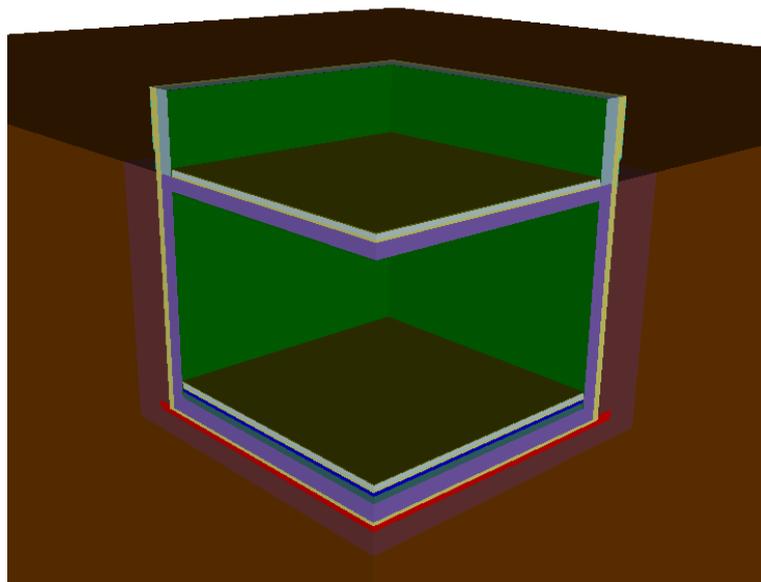


Modell 2-3

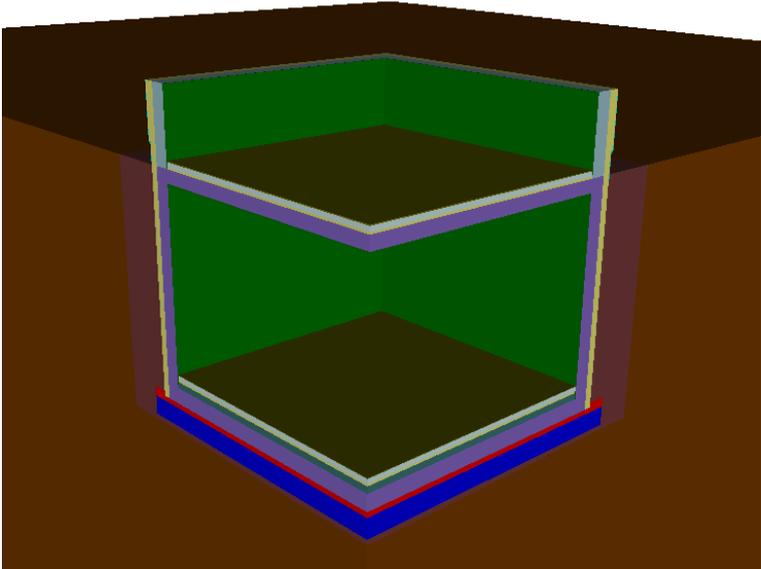
Konditionierter Keller Modell



Modell 1

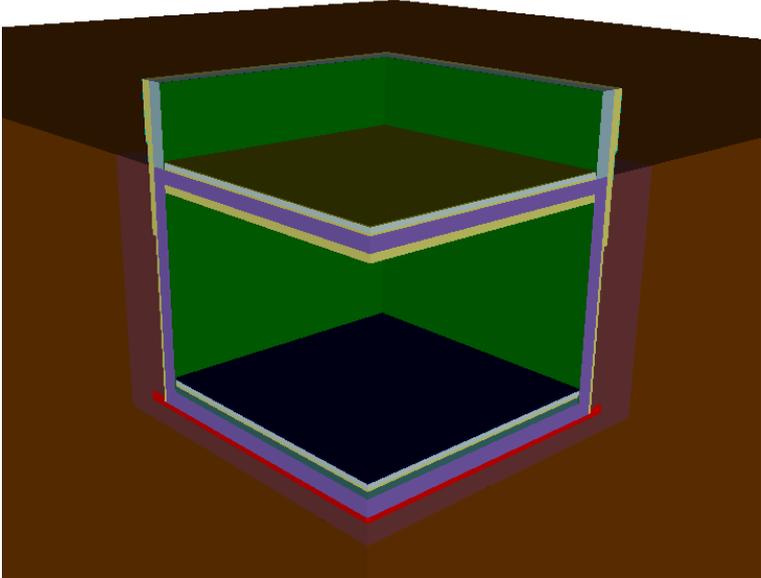


Modell 2

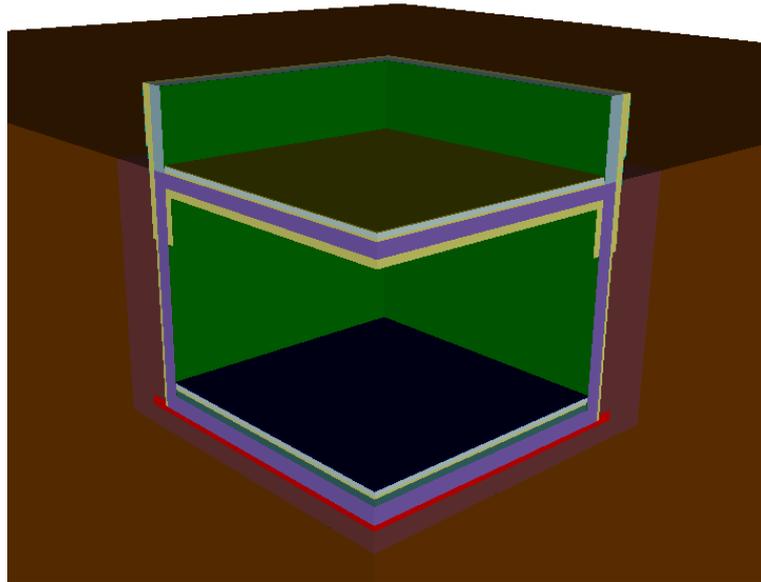


Modell 3

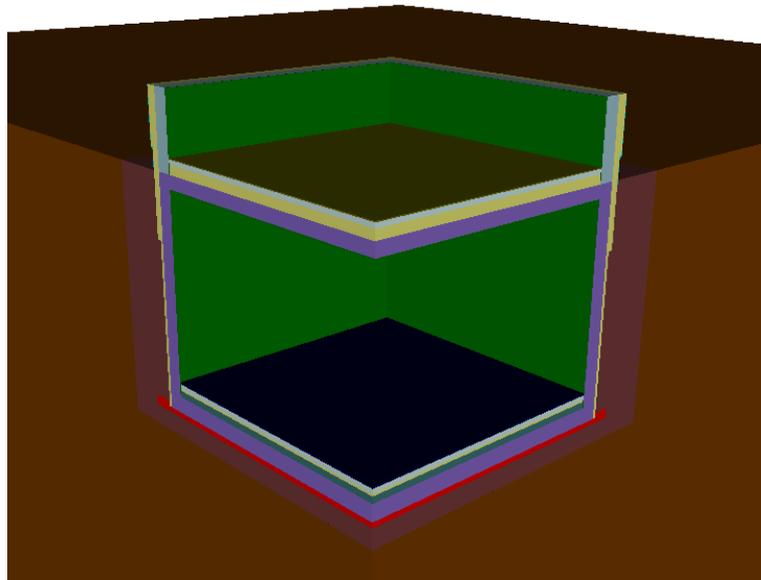
**Unkonditionierter Keller Modell 1**



Modell 1



Modell 2



Modell 3