

LOKAL.PLAN GmbH & Co KG

„Standardisierter Bauteilkatalog für ein beispielhaftes siebengeschossiges Wohnungs- und Geschäftsgebäude in Holzbauweise in Plusenergiestandard“

Bauphysik Simulation zum Bausystem 3G

Anlage zum
Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 30595-25 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl.-Ing. Andreas Naumann,
Dipl.-Ing. Wolfgang Starke,
Dipl.-Ing. (FH) Martin Reichel
M.A. Ondrej Vopravil und
Dr. Dipl.-Phys. Christoph Gerhards

November 2014

Inhaltsverzeichnis

1 Bauphysikalische Prüfung und Beurteilung ausgewählter Anschlusspunkte.....	2
Grundlagen:.....	2
1.1 Untersuchungen zur Bodenplatte:.....	3
1.1.1 Grundlagen zur Bodenplatte.....	3
1.1.2 Bodenplatte: Auswertung der Simulationswerte.....	4
Holzfaserdämmplatten:.....	4
OSB Platten:.....	5
Zellulosedämmung:.....	5
OSB Platte Mittellage:.....	5
Zellulosedämmung:.....	5
1.2 Dach: Auswertung der Simulationwerte.....	6
Gipsfaserverplankung.....	6
Zellulosedämmung Inneres Gefach.....	6
OSB vier top Platten Mittellage:.....	6
Zellulosedämmung äußeres Gefach.....	6
OSB vier top Platte Außenanlage:.....	6
Ergebnis.....	7
1.3 Hygienischer Wärmeschutz bei Anschlußdetails (Wärmebrücken).....	8
1.3.1 Grundlagen.....	8
1.3.2 Zusammenstellung der Ergebnisse.....	8
Dachanschluss an Betonwand.....	8
Treppenhauswand/ Dach.....	9
Decke ü. EG unbeheizt an AW Beton.....	10
Eingangsbereich Überstand.....	11
Decke ü. EG an AW.....	12
Anschluss IW zu Unbeheizt an AW V1.....	13
Anschluss IW zu Unbeheizt an AW V2.....	13
Bodenplattenabsatz.....	15
2 Anhang.....	16
2.1 140507 Lokalplan-3G Plus -Bodenplatte WUFI Berechnung Thomas Berg isofloc.....	16
2.2 130605 Lokalplan-3G Plus -Dach WUFI Berechnung Thomas Berg isofloc.....	17

1 Bauphysikalische Prüfung und Beurteilung ausgewählter Anschlusspunkte

Grundlagen:

Die für das Bausystem 3G+ entwickelten Konstruktionen entsprechen nur bedingt den anerkannten Regeln der Technik.

Vor allem die Bauteile Dach und Bodenplatte sind dem Stand der Technik in Bezug auf Feuchtigkeitsgehalt und -transporte zu bewerten. So entspricht der Flachdachaufbau nicht den Vorgaben der Dachdeckerrichtlinie und auch nicht den sieben goldenen Regeln des Daches.¹

Diese Regeln führen dazu dass völlig praxisfremd die Dächer nicht verschattet, bekieset und auch nicht mit Solaranlagen belegt werden dürfen. Ferner leiten einige aus den Regeln ab,

¹ Die 7 goldenen Regeln: 1. Es hat ein Gefälle $\geq 3\%$ vor bzw. $\geq 2\%$ nach Verformung und es 2. ist dunkel (Strahlungsabsorption $a \geq 80\%$), unverschattet und es hat 3. keine Deckschichten (Bekiesung, Gründach, Terrassenbeläge) aber 4. eine feuchtevariable Dampfbremse und 5. keine unkontrollierbaren Hohlräume auf der kalten Seite der Dämmschicht und 6. eine geprüfte Luftdichtheit und es 7. wurden vor dem Schließen des Aufbaus die Holzfeuchten von Tragwerk und Schalung ($u \leq 15 \pm 3 \text{ M-}\%$) bzw. Holzwerkstoffbeplankung ($u \leq 12 \pm 3 \text{ M-}\%$) dokumentiert.

dass die Dämmdicke gering sein muss, was für Passiv und Nullheizenergiehäuser nicht geeignet ist.

Die Begründung für diese Einschränkungen ist, dass eine Austrocknung der so genannten Warmdächer im Sommer dadurch verhindert wird. Weiterhin wird ausgesagt das eine Ausführung als so genanntes Null-Dachs nicht möglich ist, da eine Pfützenbildung die Wirkungsweise des Daches negativ beeinflusst

Gleichermaßen ist das Einsenken einer Bodenplatte als Holzkonstruktion (Oberkante Gelände = Oberkante Rohfußboden) in normaler Betrachtungsweise als schadensanfällig einzustufen. Andererseits ist diese Bauweise aufgrund des hohen Holz und Zelluloseanteils sowie der geringen Energieverluste als sehr ökologisch einzustufen. Diese Aussage gilt natürlich nur im Zusammenhang mit einer sehr hohen schadensfreien Lebensdauer.

Aufgrund dieser Gegebenheiten wurden nachfolgende Untersuchungen der genannten Bauteile durchgeführt.

1.1 Untersuchungen zur Bodenplatte:

1.1.1 Grundlagen zur Bodenplatte

Es wurde eine Bodenplatte entwickelt, die für den geländegleichen Einbau geeignet ist, sofern stehendes Wasser und Schichtenwasser ausgeschlossen werden kann. Bei der Konstruktionen wurde das grundlegende Prinzip beachtet, dass sowohl bei der Planung als auch bei der Ausführung eine sehr gute Luftdichtheit der Bodenplatte nach allen Seiten

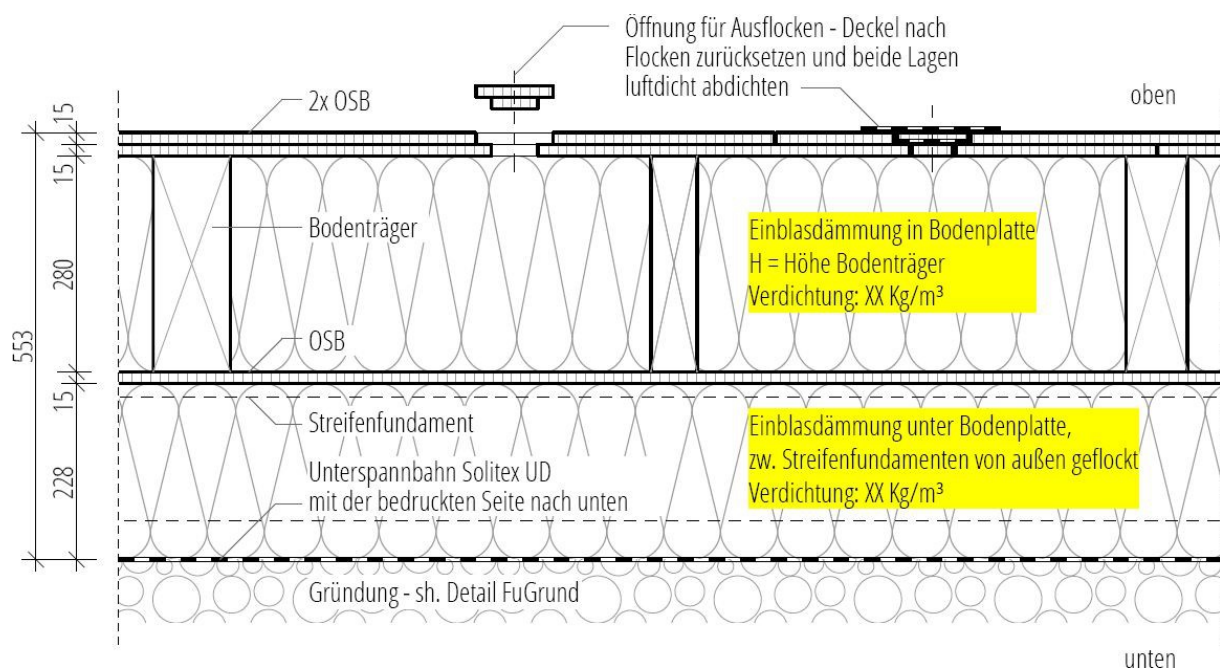


Abbildung 1: Grundaufbau der Bodenplatte

gewährleistet sein muss. Damit wird vor allem verhindert, das feuchte warme Luft in die Konstruktion eindringen kann, sich abkühlt und Kondenswasser bildet. (Siehe Detail BoGrund Abb. 1)

Aufgrund der kapilarbrechenden Schotterschichten seitlich und unten kann Wasser neben und unterhalb der Bodenplatte gut versickern. Die Einbaufeuchten gleichen sich aus und durch die diffusionsoffenen Außenschichten kann Restfeuchte langfristig nach Außen gelangen (Siehe Detail Bo-Aw_Roh Abb 2.)

Dieser Sachverhalt wird seit dem 14.01.2014 an einem Objekt in Wachau bei Leipzig messtechnisch begleitet und kontrolliert. Als die Messungen begonnen wurden herrschten bei diesem Objekt noch Baustellenbedingungen. (Siehe Bericht Kleinversuche Bausystem 3G+, www.holzwerthaus.de)

Für diesen gebauten Regelaufbau der Bodenplatte wurden aufbauend auf Simulationen und Diskussion mit dem Bauphysiker Jörg Walter WUFI Berechnungen von Herrn Thomas Berg (Isofloc) durchgeführt. Damit konnten Randbedingungen ermittelt und definiert werden die eine schadensfreie Konstruktion sichern sollen. Diese Randbedingungen erschließen sich auch aus

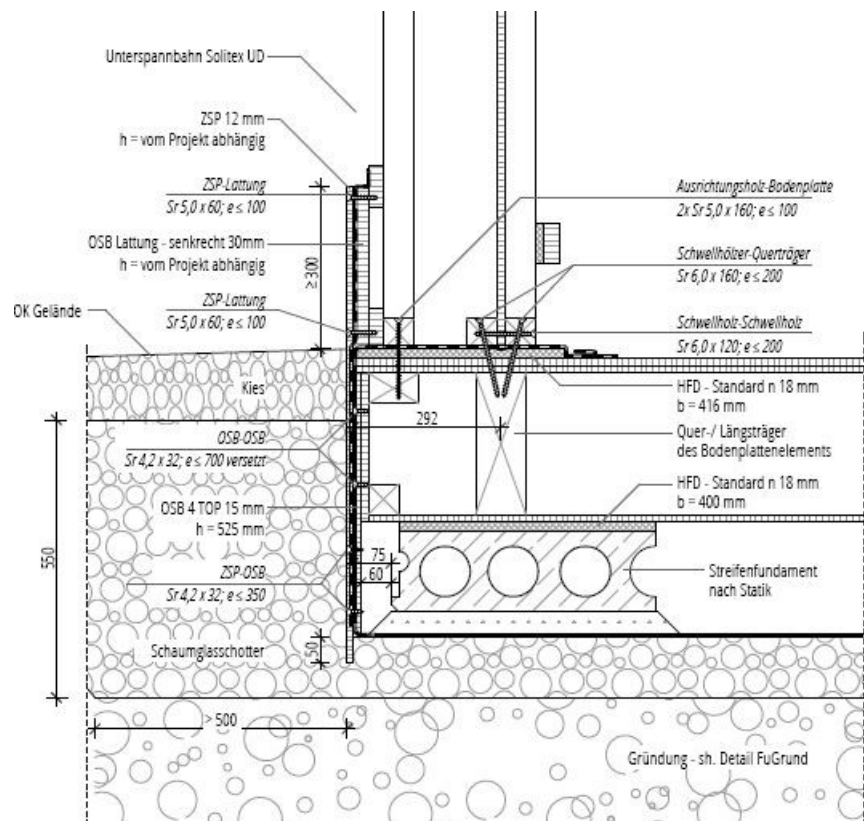
den Qualitätsanforderungen des Passivhausstandards. Eine sehr wesentliche Konsequenz aus den Simulationen ist, dass ein seitliches Eindringen von Niederschlagswasser in die Konstruktion auf jeden Fall verhindert werden muss. Gleichfalls sollte die Einbaufeuchte mit kleiner gleich 10 % Feuchtegehalt eingehalten werden. Das Eindringen von Niederschlagswasser oder auch Kondenswasser in die Rohbaukonstruktion ist bei der Bauausführung zu verhindern, notfalls muss die Konstruktion getrocknet werden. Das Extrembeispiel welches derzeit überwacht wird zeigt allerdings, dass eine Austrocknung wieder möglich ist und die Konstruktion gegebenenfalls auch bei eindringendem Wasser z.B. durch einen Wasserschaden im Gebäude keinen dauerhaften Schaden nimmt.

1.1.2 Bodenplatte: Auswertung der Simulationsergebnisse

Die Simulationsergebnisse werden von oben nach unten gemäß des Schichtenaufbaus beschrieben. (Siehe 140507 Lokalplan-3G Plus -Bodenplatte im Anhang 2.1)

Holzfaserdämmplatten:

Es handelt sich um die Platte vom Typ Standard n der Firma Gutex mit einer Dichte von 250 kg/m^3 und einem λ -Wert von $0,04 \text{ W/(mK)}$ in der Dicke 18 mm. Diese Platten werden mit einer Einbaufeuchte von ca. 8 Masse % unter einer Holzdielung auf die OSB Platten der Rohbaukonstruktion verlegt. Laut Simulation steigt die Feuchtigkeit in den ersten zwei Jahren nach dem Einbau auf ca. 9 M% an. Das betrifft nur die Wintermonate und auch nur einen kurzen Zeitraum. In den Sommermonaten fallen die Werte wieder auf die Ausgangsgrößen ab. Nach ca. fünf Jahren pendelt sich der Feuchtegehalt zwischen minimal 7,5 M% in den Sommermonaten und ca. 8,5 M% in den Wintermonaten ein. Auf den Holzfaserdämmplatten sind doppellagig Fermacell Gipsfaser Platten mit Fliesen oder Dielen



Unterspannbahn:

- > Innen/Außenseite beachten! Innenseite = Vlies
- > umlaufend 105 cm Überstand über Fundamente
- > hochziehen und festklammern zwischen den oberen OSB Platten der Bodenplatte

Streifenfundamente

komplett belegt mit HFD 18 mm

Abbildung 2: Einbausituation der Bodenplatte und Anschluss an die Außenwand. Detail Bo-Aw_Roh

auf einer weiteren Lage Weichfaser verlegt. Unter dem Fliesenbelag muss dafür gesorgt werden, dass sehr gute Abdichtungsmaßnahmen durchgeführt werden, damit langfristig keinerlei Feuchtigkeit in die Holzfaserdämmplatten eindringen kann.

OSB Platten:

Für diese Schicht werden zwei Lagen OSB 4 Top Platten der Firma Egger mit einer Dichte von 630 kg/m^3 mit einem λ -Wert von $0,13 \text{ W/(mK)}$ in einer Stärke von 15 mm je Lage eingebaut. Die Stöße in beiden Plattenlagen müssen luftdicht verklebt werden. Die Einbaufeuchte beträgt 10 M%. Die Simulationsergebnisse verhalten sich auf die gleichen Zeiträume gerechnet analog dem Verhalten der darüber liegenden Holzfaserdämmplatten.

Zellulosedämmung:

Diese Dämmebene wird mit einer Zellulosedämmung der Firma Isofloc mit einer Dichte von 50 Kg/m^3 mit einem λ -Wert von $0,04 \text{ W/(mK)}$ und einer Stärke von 280 mm eingeblasen. Laut Simulation beginnt die Einbaufeuchte mit ca. 12,5 M% und fällt in den ersten fünf Jahren gleich bleibend mit geringen Schwankungen zwischen Sommer und Wintermonaten auf ca. 7,2 M% ab. Da die ISOFLOC Dämmung mit ca. 9 M% Feuchte geliefert wird, geht das Programm von einer Erhöhung des Feuchtegehaltes beim Einbau des Materials aus. Da die Säcke direkt nach dem Öffnen in die Einblasmaschine gefüllt werden und sofort in die Hohlräume eingeblasen werden, kann dieser Sachverhalt nur mit einem unsachgemäßen Verarbeiten des Materials begründet werden.

Wenn die Zellulosedämmung mit 9 M% Feuchtegehalt in die Gefache eingeblasen wird, erhöht sich natürlich die Feuchtigkeit auf ca. 13 M% weil sie dabei unkritisch Feuchtigkeit aus den umliegenden Holzbauteilen aufnimmt. Die ISOFLOC Dämmung wirkt somit als Feuchtepuffer und entlastet damit die umliegenden Holzbauteile, da deren Feuchtegehalt absinkt.

OSB Platte Mittellage:

Diese OSB Platten Lage besitzt die gleichen Eigenschaften wie die schon, als OSB 4 Top von der Firma Egger beschriebenen Platten. Diese Plattenlage wirkt wie eine Dampfbremse in beide Richtungen. Die Anfangsfeuchte der Simulation beträgt ca. 14,5 M%. Diese Werte sinken dann innerhalb von 5-6 Jahren auf ca. 11,2 M%.

Zellulosedämmung:

Diese 230 mm starke ISOFLOC Schicht mit den gleichen Eigenschaften wie schon oben beschrieben verhält sich gemäß der Simulation wie ein großer Feuchtespeicher. Die Werte steigen in den ersten fünf Jahren sogar über 20 M% an und pendeln sich dann zwischen 16 und 20 Masse % ein. Diese Werte konnten durch die Parallelmessungen bis jetzt nicht bestätigt werden. Da die Anfangsfeuchten beim Einbau höher lagen, sind die gemessenen Werte im Kleinversuch auf wesentlich schlechtere Ausgangsbedingungen (ca. 22-34 Masse %) und 15,6 M% zurückzuführen. Es wird definitiv auch nicht zu den in der Simulation dargestellten starken Schwankungen zwischen Sommer und Winter kommen da die Temperaturen unterhalb der Bodenplatte gleich bleibend sind. Vielmehr zeichnet sich jetzt schon ab dass die gesamte Feuchtigkeit nach unten wandert und sich auf einer dünnen Schicht Zellulose oberhalb der Solitex Ud Folie sammelt. Dort werden zurzeit ca. 40 M% Feuchtigkeit gemessen. Wir gehen davon aus, dass diese Feuchtigkeitsmengen langsam durch die diffusionsoffene Folie und die ca. 10 cm dicke Glasschaumschotterschicht wandern, und sich in der darunter liegenden Kiesschicht sammeln und versickern. Dieser Sachverhalt muss durch die ständigen Messungen belegt werden. Sobald diese Messwerte vorliegen und das Grundprinzip positiv bestätigen, wäre der Beweis angetreten, dass es möglich ist Bodenplatten mit Oberkante Rohfußboden = Oberkante Gelände ohne Bauschadenspotenzial auszuführen.

1.2 Dach: Auswertung der Simulationwerte

Mehrere Varianten wurden betrachtet. Basis der Beschreibung ist die WUFI Berechnung von Thomas Berg (ISOFLC) vom 23.05.2013 / Anschreiben vom 05.06.2013 (Siehe Anhang 2.2)

Gipsfaserverplankung

Diese Verplankung wird mit Gipsfaserplatten der Firma Fermacell mit einer Dichte von 1150 kg/m^3 in einer Mindestdicke von 20 mm eingebaut. Laut Simulation sind in 1 m^2 der 20 mm dicken Platten ca. 240 g Wasser (das entspricht einem Wassergehalt von ca. 1,1 M %) gespeichert. Die Speicherfähigkeit der Platten kann sich positiv auf die Luftfeuchtigkeit in den Räumen auswirken sofern die Rauminnenseiten mit diffusionsoffenen Farben beschichtet werden. Bei einer sehr guten luftdichten Ausbildung der Konstruktion kann somit die gesamte Wassermenge, die durch Diffusion aus dem Innenraum im Winter in das Bauteil „Dach“ gelangt ohne Schaden aufgenommen werden und in den Sommermonaten wieder abgegeben werden.

Zellulosedämmung Inneres Gefach

Diese Zellulosedämmung wurde mit einer Ausgangsfeuchte von ca. 9 M% ein geblasen. Diese Feuchtigkeitsmenge steigt laut Simulation in den ersten fünf Jahren auf 9,5 M% an und stabilisiert sich über den Simulationszeitraum von 40 Jahren auf diesem Niveau. Die Zellulose wird also Wasser aus den anderen Bauteile aufnehmen. Dieser stabile Feuchtegehalt ist allerdings völlig unproblematisch.

OSB 4 Top Platte Mittellage:

Diese Platte wirkt als luftdichte Ebene und Dampfbremse. Der Wassergehalt steigt die ersten zehn Jahre leicht von 10 M% auf 10,8 M% an und stabilisiert sich auf diesem Niveau.

Zellulosedämmung äußeres Gefach

Auch in dieser Ebene steigt die Feuchtigkeit in den ersten zehn Jahren von 9 M% auf 11,5 M % und stabilisiert sich bei 12,2 M%. Auch dieser Wassergehalt ist als unproblematisch zu werten.

OSB 4 Top Platte Außenanlage:

Dieses, am weitesten außen liegende Holzbauteil mit einer Stärke von 22 mm, wurde in zwei Varianten simuliert. Zum einen wurde mit einer Anfangsfeuchte von ca. 15 M% ausgehend über 20 Jahre gerechnet. Dabei erhält man das Ergebnis, dass die Feuchtigkeit nur leicht sinkt und sich dann bei ca. 19 % einpegelt. Diese maximale Feuchtebelastung sollte also nicht überschritten werden, da sonst davon auszugehen ist dass die Feuchtelast über 20 M% steigen würde. Zum anderen wurde eine Variante mit 10 M% Ausgangsfeuchte bearbeitet. Die Simulation zeigt, dass die Feuchtigkeit innerhalb von 15 Jahren auf ca. 16,8 M% steigt und sich dann in den Zeitraum bis 40 Jahre nicht mehr verändert. Damit pegeln sich die Werte zwischen 14 M% im Sommer und ca. 17 M% im Winter, gemäß dieser theoretischen Rechnung ein. Da die Wasseraufnahme der OSB 4 Top Platte sehr gering ist, wird die gesamte Wassermenge an der Unterseite der Platten auskondensieren. Gleichzeitig wird ein Teil des Wassers von der Zellulose wieder aufgesaugt und im Material verteilt. Die Wassermengen die durch die OSB Platten diffundieren, werden in dem Vlies unter der Tectofin Bahn aufgesammelt. Da die Tectofin RV Folie mit einem Sd-Wert von 42 m wesentlich diffusionsoffer ist als zum Beispiel Dachpappe mit einem Sd Wert von 300 m, kann ein Teil der Wassermenge langfristig entweichen. Die aus Brandschutz- und Witterungsschutzgründen aufgebrauchte 3-5 cm starke Schüttung aus braunschwarzem Schiefer wird im Zusammenhang mit Verschattungen durch Fotovoltaikanlagen keine negativen Auswirkungen haben.

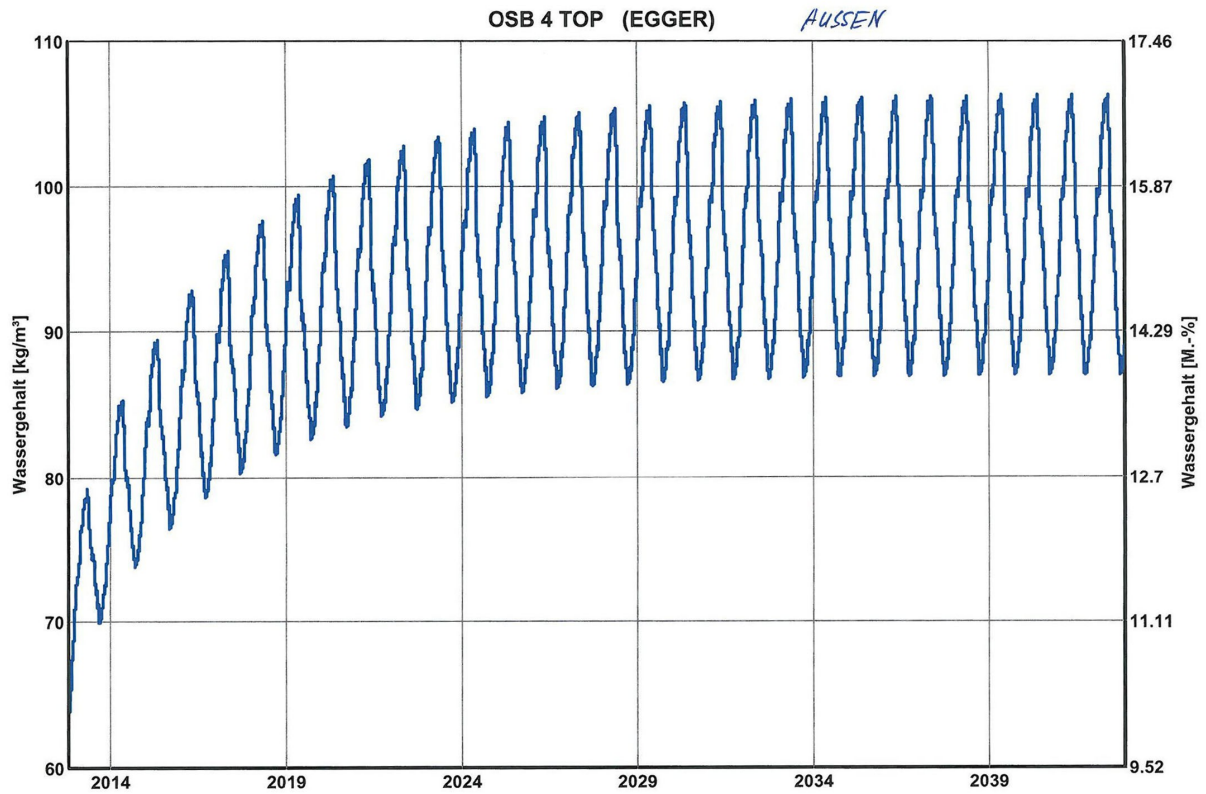


Abbildung 3: Feuchtegehalt der oberen OSB Platte nach WUFI Simulation

Ergebnis

In Auswertung der gesamten Daten kann gesagt werden, dass dieser Konstruktionsaufbau des Daches mit Verschattung, mit Kiesschicht und PV Anlage bei Einhaltung der gesetzten Randbedingungen (Siehe 2.2) dauerhaft bauschadensfrei bleibt.

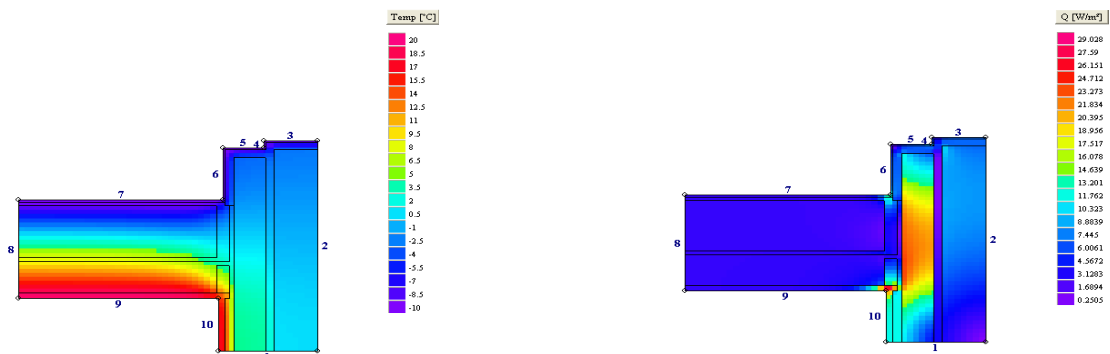
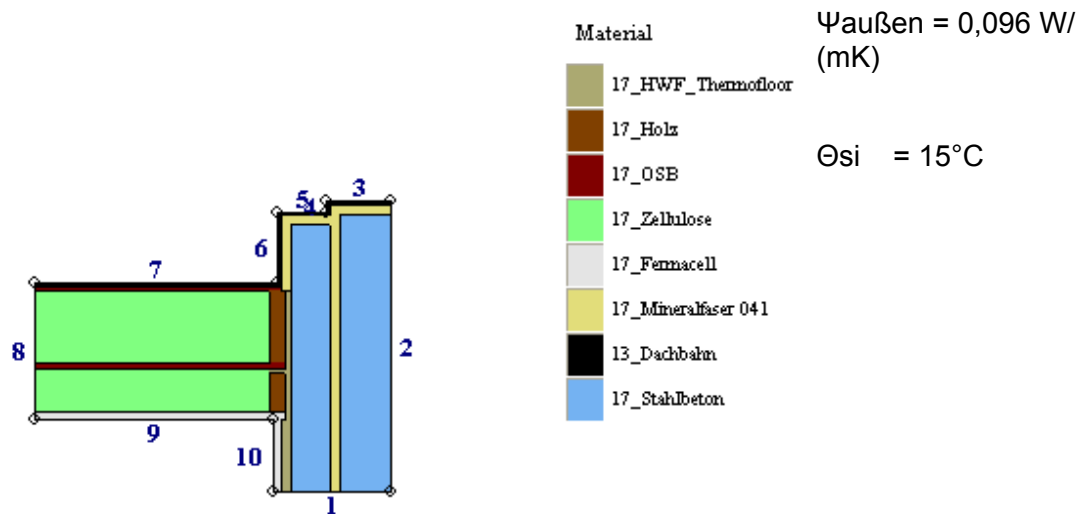
1.3 Hygienischer Wärmeschutz bei Anschlußdetails (Wärmebrücken)

1.3.1 Grundlagen

Alle Details wurden möglichst „wärmebrückenfrei“ konstruiert. (Summe der Wärmestöme des betreffenden Bauteils dividiert durch die Fläche des Bauteils kleiner 0,01 W/(m²K) bzw. bezogen auf die Länge kleiner als 0,01 W/(mK)). Ist eine wärmebrückenfreie Ausführung nicht möglich, so muss die Wärmebrücke berechnet werden. Dabei muss berücksichtigt werden, dass geringste Oberflächentemperatur Θ_{si} größer des Taupunktes ist, um so die Kondensation von Wasserdampf zu verhindern.

1.3.2 Zusammenstellung der Ergebnisse

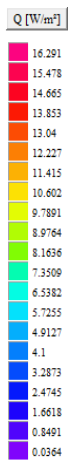
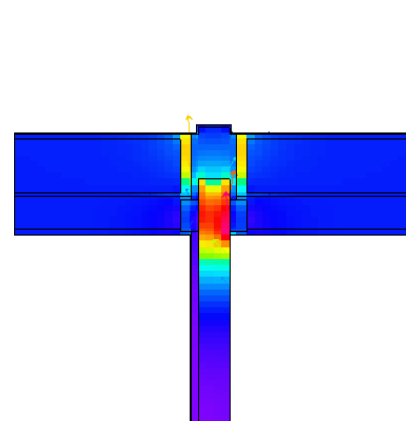
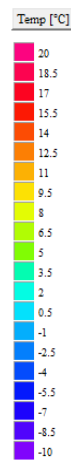
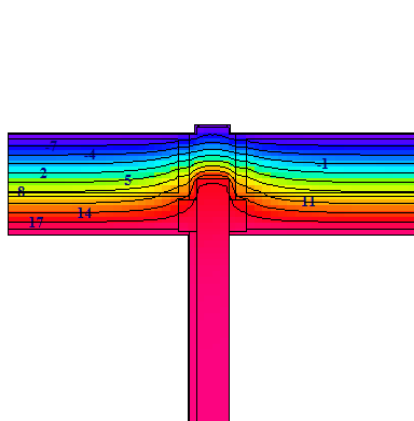
Dachanschluss an Betonwand



Treppenhauswand/ Dach

$\Psi_{\text{au\ss en}} = 0,014 \text{ W/}$
 (mK)

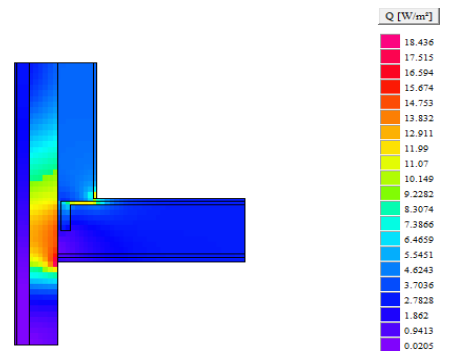
$\Theta_{\text{si}} = 19^\circ\text{C}$



Decke ü. EG unbeheizt an AW Beton

$\Psi_{\text{außen}} = -0,098\text{W/}$
(mK)

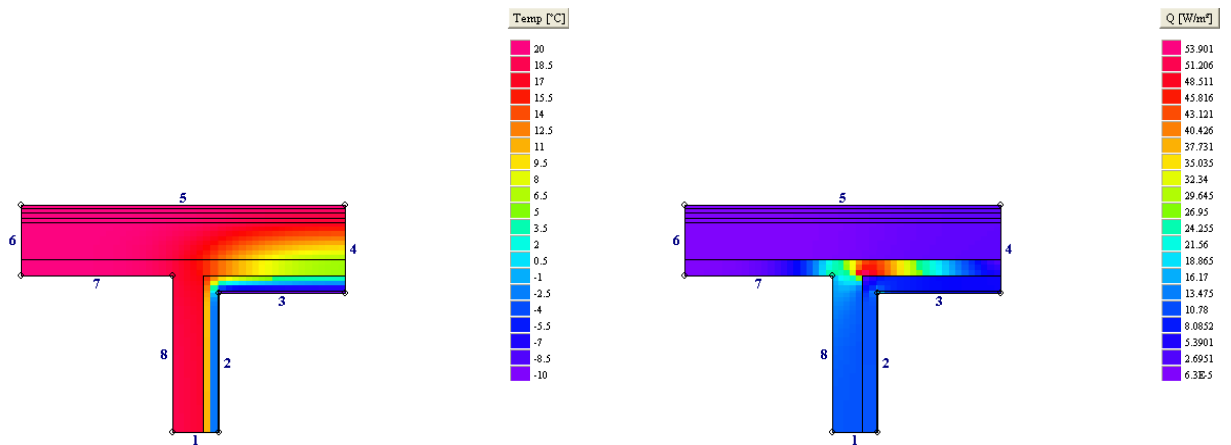
$\Theta_{\text{si}} = 17^{\circ}\text{C}$



Eingangsbereich Überstand

$\Psi_{\text{außen}} = 0,078 \text{ W/}$
(mK)

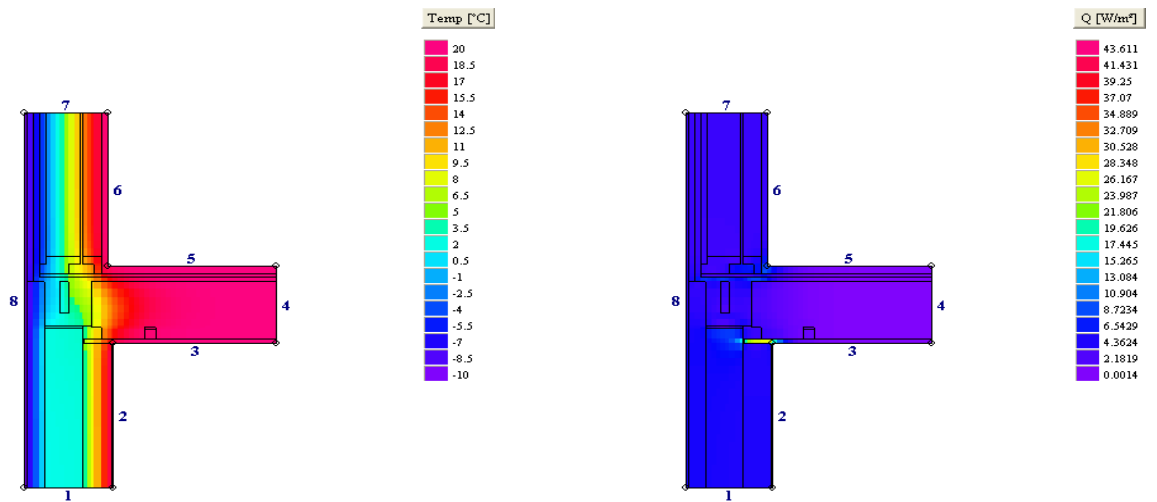
$\Theta_{\text{si}} = 18^\circ\text{C}$



Decke ü. EG an AW

$\Psi_{\text{außen}} = 0,037\text{W/}$
(mK)

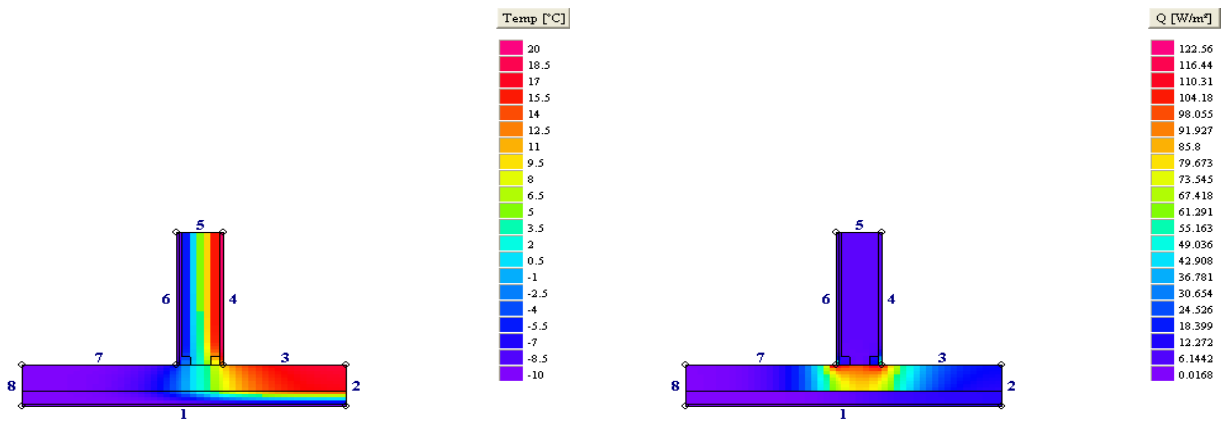
$\Theta_{\text{si}} = 17^{\circ}\text{C}$



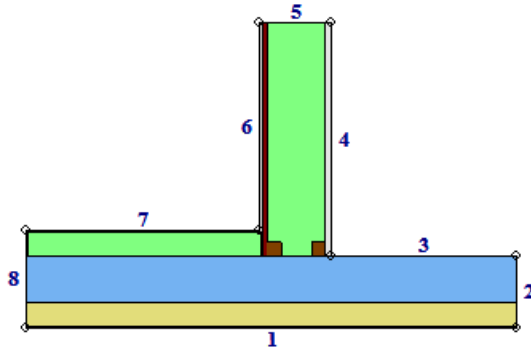
Anschluss IW zu Unbeheizt an AW V1

$\Psi_{\text{außen}} = 0,466 \text{ W/}$
(mK)

$\Theta_{\text{si}} = 10^\circ\text{C}$



Anschluss IW zu Unbeheizt an AW V2

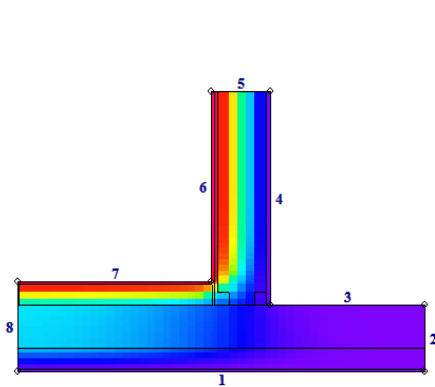


Material

- 17_Außenputz
- 17_Mineralfaser 041
- 17_Stahlbeton
- 17_Fermacell
- 17_OSB
- 17_Zellulose
- 17_Holz

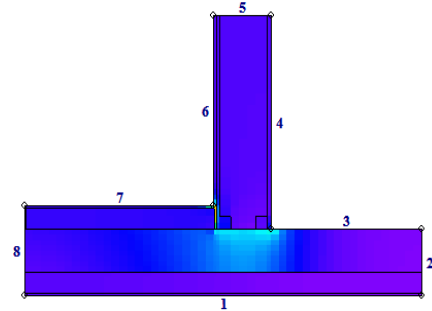
$\Psi_{\text{außen}} = 0,114 \text{ W/ (mK)}$

$\Theta_{\text{si}} = 15,9^\circ\text{C}$



Temp [°C]

- 20
- 18.5
- 17
- 15.5
- 14
- 12.5
- 11
- 9.5
- 8
- 6.5
- 5
- 3.5
- 2
- 0.5
- 1
- 2.5
- 4
- 5.5
- 7
- 8.5
- 10



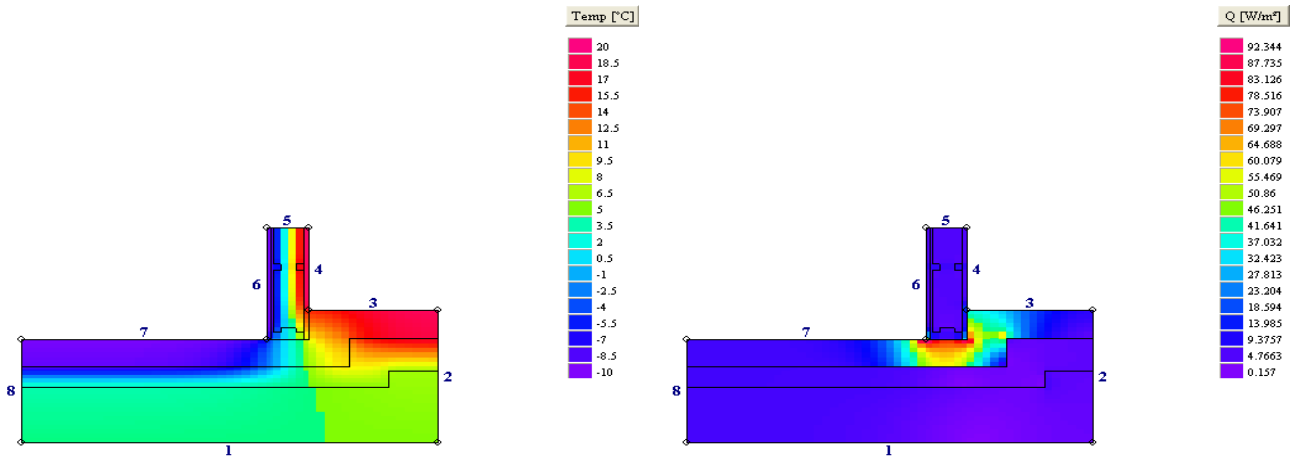
Q [W/m²]

- 94.654
- 89.922
- 85.191
- 80.459
- 75.727
- 70.996
- 66.264
- 61.532
- 56.8
- 52.069
- 47.337
- 42.605
- 37.873
- 33.142
- 28.41
- 23.678
- 18.946
- 14.215
- 9.4828
- 4.7511
- 0.0193

Bodenplattenabsatz

$\Psi_{\text{außen}} = 0,707\text{W/}$
(mK)

$\Theta_{\text{si}} = 15^\circ\text{C}$



2 Anhang

2.1 140507 Lokalplan-3G Plus -Bodenplatte WUFI Berechnung Thomas Berg isofloc

2.2 130605 Lokalplan-3G Plus -Dach WUFI Berechnung Thomas Berg isofloc