

**ENOTHERM**  
BAUPHYSIK

# BERICHT

## Hygrothermische Bewertung eines Anschlusses im Attikabereich

<b>PROJEKT</b>	<b>E23-022</b> Sanierung und Erweiterung Karl-Brauckmann-Schule Karl-Brauckmann-Straße 5 59439 Holzwickede
<b>BAUHERR</b>	Kreis Unna Friedrich-Ebert-Straße 17 59425 Unna
<b>AUFTRAGGEBER</b>	Kreis Unna Friedrich-Ebert-Straße 17 59425 Unna
<b>BEARBEITUNG</b>	ENOTHERM GmbH – Niederlassung Dortmund Hauert 12 44227 Dortmund  Tel. 0231 / 725464 - 11  Mail: p.neumann@enotherm.de Projektleiterin: Dipl.-Ing. Petra Neumann



## Inhaltverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Problemstellung</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Instationärer hygrothermischer Nachweis</b>	<b>5</b>
3.1	Verfahren	5
3.2	Randbedingungen	6
3.2.1	Außenklima	6
3.2.2	Innenklima	7
3.2.3	Konstruktionsdaten	8
3.2.4	Geometriemodell	13
3.2.5	Berechnungszeitraum	14
3.3	Ergebnisse	14
<b>4</b>	<b>Beurteilung</b>	<b>18</b>

## **1 Allgemeines**

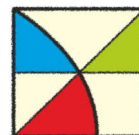
Die ENOTHERM GmbH wurde beauftragt, den Attikaanschluss und den Bauteilaufbau eines Flachdaches einer Schwimmhalle hygrothermisch zu bewerten.

## **2 Problemstellung**

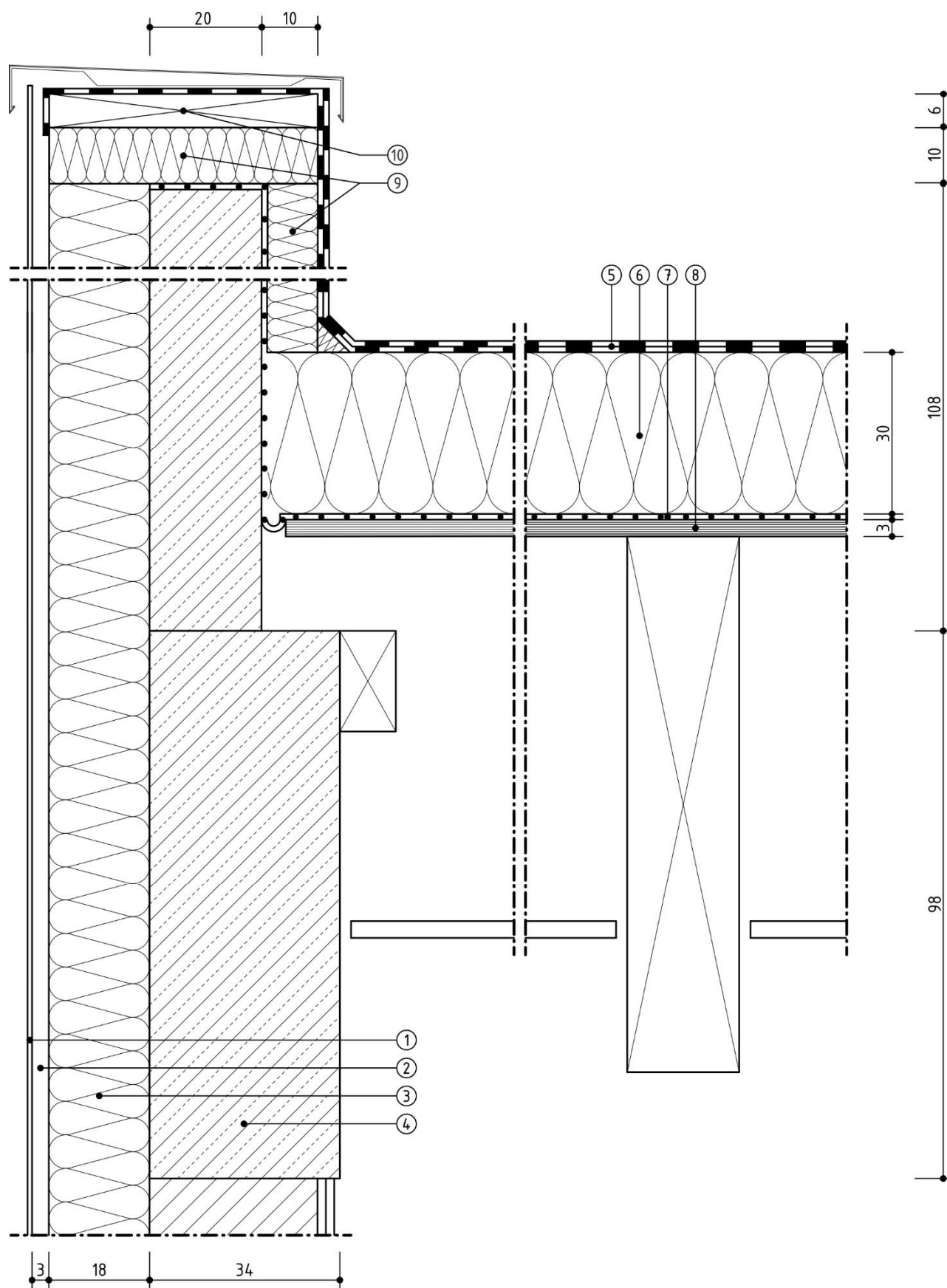
Bei dem zu untersuchenden Objekt handelt es sich um eine Schwimmhalle, die saniert wird.

Bei dem untersuchten Bauteilanschluss handelt es sich um den Regelbauteilaufbau des Schwimmhallendaches mit der sich daran anschließenden Attika. Auf dem Schwimmhallendach wird eine Photovoltaik-Anlage installiert. Es ist zu prüfen, ob bei der geplanten Konstruktion die Gefahr einer Tauwasserbildung besteht.

Die zu erwartenden Feuchten im kritischen Bereich des Anschlusses werden durch zweidimensionale instationäre Simulationsrechnungen unter Nutzung der IBP-Software WUFI 2D ermittelt.



Hygrothermische Simulation



- ① Faserzementplatte
- ② Luftschicht, stark belüftet
- ③ Wärmedämmung Mineralwolle,  $\lambda = 0,032 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ,  $\mu = 1$
- ④ Stahlbeton,  $\rho = 2220 \text{ kg/m}^3$ ,  $\lambda = 2,3 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ,  $\mu = 2480$
- ⑤ Abdichtung Bitumenbahn,  $s_d = 300 \text{ m}$
- ⑥ Wärmedämmung Mineralwolle,  $\lambda = 0,040 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ,  $\mu = 1$
- ⑦ Dampfsperre,  $s_d = 1500 \text{ m}$
- ⑧ OSB-Platte Bestand,  $\rho = 615 \text{ kg/m}^3$ ,  $\lambda = 0,13 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ,  $\mu = 175$
- ⑨ Wärmedämmung Mineralwolle,  $\lambda = 0,032 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ,  $\mu = 1$
- ⑩ Attikabohle,  $\rho = 455 \text{ kg/m}^3$ ,  $\lambda = 0,13 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ,  $\mu = 130$

**Bild 2.1** Darstellung des zu untersuchenden Anschlusses

### 3 Instationärer hygrothermischer Nachweis

#### 3.1 Verfahren

Ein für vereinfachte, eindimensionale Betrachtungen gängiges Verfahren zur Beurteilung des Feuchtehaushalts eines Bauteils stellt das Glaser-Verfahren nach DIN 4108 dar. Hierbei wird jedoch ausschließlich der auftretende Diffusionstransport durch das Bauteil betrachtet. Das Glaser-Verfahren berücksichtigt weder den Kapillarttransport im Bauteil noch die Speicherfähigkeit der beteiligten Materialien. Des Weiteren werden im Glaser-Verfahren stationäre Klimarandbedingungen (Blockklima gemäß DIN 4108-3) verwendet sowie kurzfristige Ereignisse wie Schlagregen oder die solare Einstrahlung vernachlässigt.

Soll der Feuchtehaushalt eines Bauteils realitätsnah abgebildet werden, so muss dies durch eine instationäre, gekoppelte Betrachtung des Wärme- und Feuchtetransportes geschehen. Die normative Grundlage hierfür ist durch DIN EN 15026 gegeben. Für diese Art der Betrachtung geeignete EDV-Programme sind z.B. das am Fraunhofer Institut für Bauphysik entwickelte „WUFI“ sowie das an der TU Dresden entwickelte „Delphin“. Alle Betrachtungen sind auf 2D-Fälle beschränkt. Für dreidimensionale Betrachtungen dieser Art ist derzeit keine Software verfügbar.

Die instationäre Simulation des Wärme- und Feuchtetransportes in einem Bauteil erfordert unter anderem folgende Vorgaben:

- Vorgabe eines „realistischen“ Außenklimas mit stundengenauer Auflösung (inkl. Berücksichtigung der Orientierung der Bauteile), z.B. über Testreferenzjahre
- Vorgabe des Absorptions-/Emissionsvermögens der Oberflächen, Grad der Regenwasseraufnahme bei Schlagregen (falls für den jeweiligen Fall relevant)
- Vorgabe eines „realistischen“ Innenklimas mit stundengenauer Auflösung; in der Regel durch Ansatz des gemäß DIN 4108-3 für die Auslegung von Bauteilen heranzuziehenden Bemessungsfalls „Feuchtelast normale Belegung + 5 %“, Raumtemperatur und relative Luftfeuchte im Raum werden dabei aus der Außentemperatur gemäß Klimadatensatz abgeleitet
- Vorgabe der jeweils benötigten Materialkenndaten wie Wärmeleitfähigkeit, Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl, Wasseraufnahmekoeffizient, Flüssigwasser-Transportkoeffizient,

Feuchtespeicherfunktion (Sorptionsisotherme); in der Regel über Standard-Baustoffwerte, selten messtechnisch bestimmt

- Vorgabe von Berechnungszeitraum (in der Regel mehrere Jahre), Berechnungsintervall (in der Regel stundengenau) und Anfangsbedingungen (in der Regel 20°C, 80% r.F. für alle Baustoffschichten)

Der Nachweis wird mit der Software WUFI 2D 4.5 (WUFI= Wärme und Feuchte instationär) des Fraunhofer Instituts für Bauphysik geführt. Verwendete Randbedingungen und Konstruktionsdaten werden nachfolgend beschrieben.

## **3.2 Randbedingungen**

### **3.2.1 Außenklima**

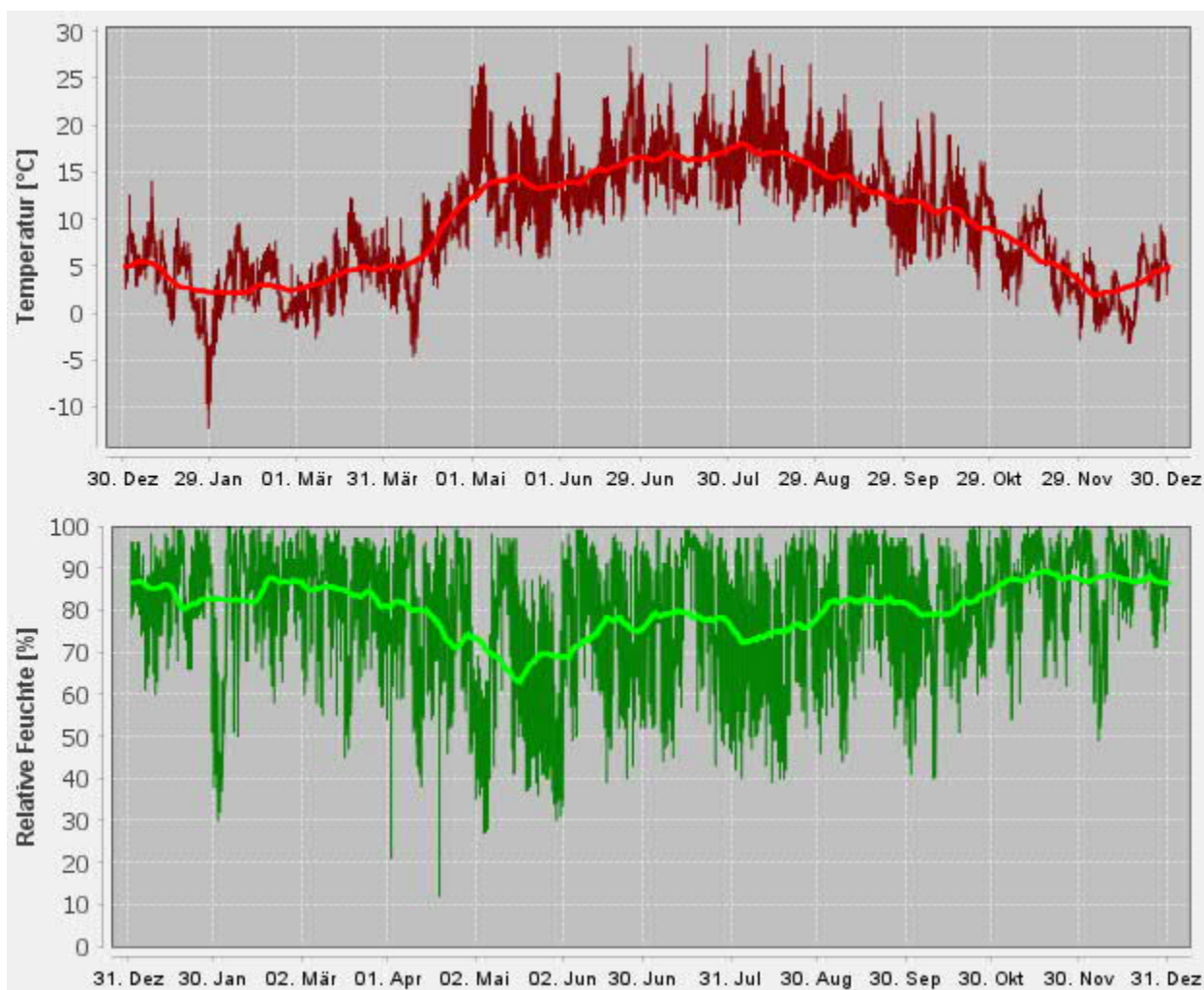
Es werden die Daten des hygrothermischen Referenzjahres für den Referenzort „Essen“ angesetzt.

Der Wärmeübergangswiderstand an der Außenwand und auf der Dachoberfläche wurde gemäß DIN 4108-3:2018-10 mit  $h = 17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  angesetzt.

Bei der hinterlüfteten Fassade wurde in der Luftschicht ein Luftwechsel von  $20 \text{ h}^{-1}$  berücksichtigt.

Für andere Randbedingungen wurden konstruktionsübliche Standardwerte vorgegeben.

Für die geplante PV-Anlage wurde eine Teilverschattung der Dachfläche angesetzt. Hierzu wurde gemäß „Bludau, Kölsch: Verschattung von Holzflachdächern, Holzbau-Quadriga, 06.2014“ der Strahlungsabsorptionsgrad der Dachoberfläche nur zu 30% angesetzt und der Emissionsgrad zu 50%.



**Bild 3.1** Jahresverlauf der Außenlufttemperatur und der relativen Luftfeuchte außen

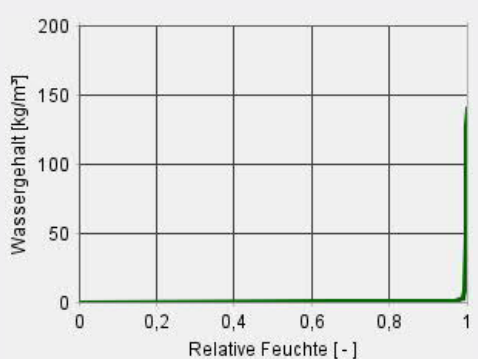
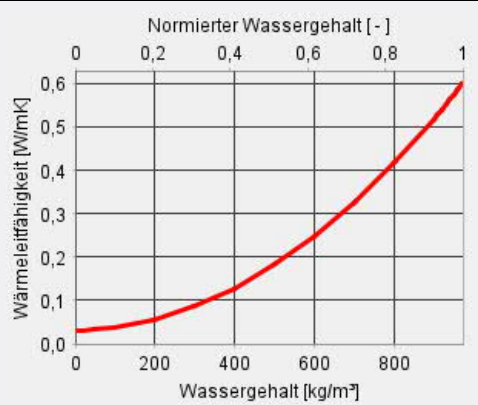
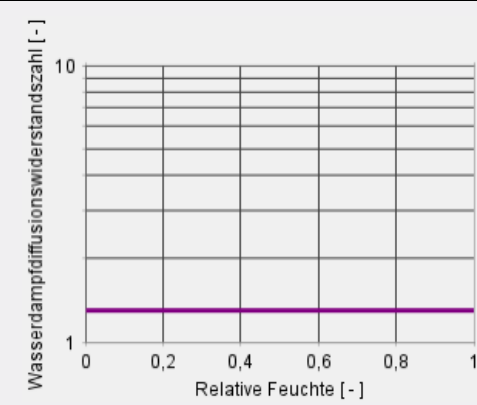
### 3.2.2 Innenklima

Da es sich um eine Schwimmhalle handelt, wurden auf der Innenseite eine konstante Innentemperatur von 30°C und eine Raumfeuchte von 60% r.F. angesetzt.

Auf den raumseitigen Oberflächen wurde gemäß DIN 4108-3 ein Wärmeübergangskoeffizient  $h_i = 8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  angesetzt.

### 3.2.3 Konstruktionsdaten

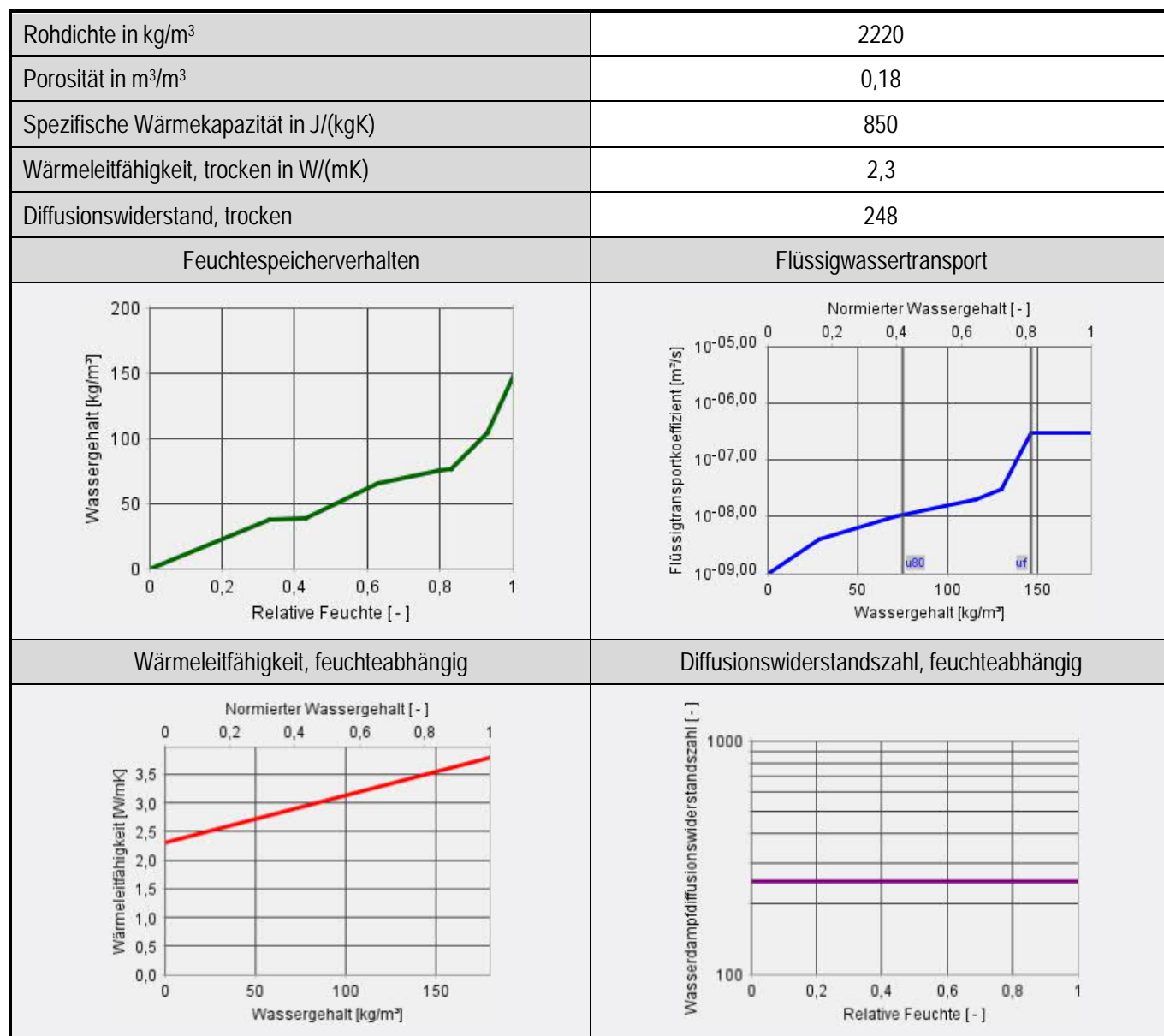
Für die Baustoffe wurden die im Programm hinterlegten Stoffkennndaten verwendet, wenn nicht besonders vermerkt. Nachfolgend sind die Materialkennndaten der relevanten Baustoffe zusammengestellt.

Rohdichte in $\text{kg/m}^3$	78
Porosität in $\text{m}^3/\text{m}^3$	0,972
Spezifische Wärmekapazität in $\text{J}/(\text{kgK})$	850
Wärmeleitfähigkeit, trocken in $\text{W}/(\text{mK})$	0,032
Diffusionswiderstand, trocken	1,3
Feuchtespeicherverhalten	Flüssigwassertransport
	Es findet kein Flüssigwassertransport im Material statt.
Wärmeleitfähigkeit, feuchteabhängig	Diffusionswiderstandszahl, feuchteabhängig
	

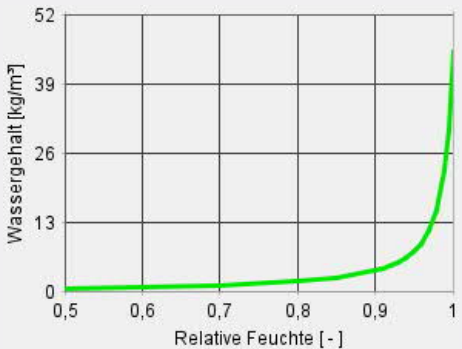
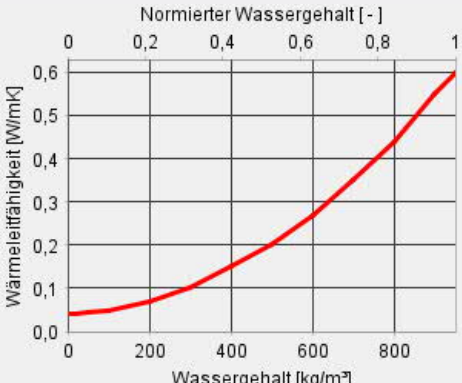
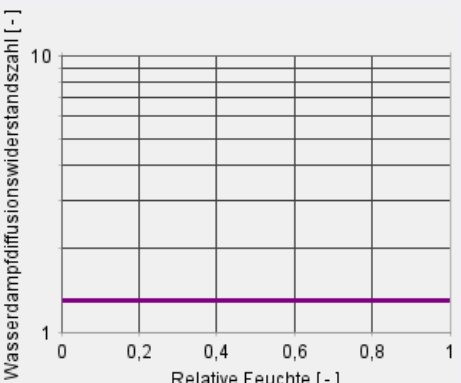
**Bild 3.2** Materialkennndaten – Mineralwolle-Dämmung (Bild 2.1, Nummer 3)



## Hygrothermische Simulation

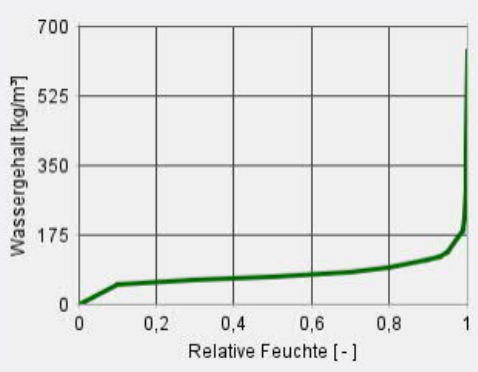
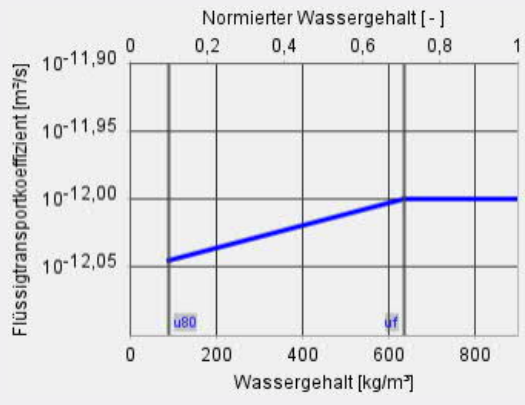
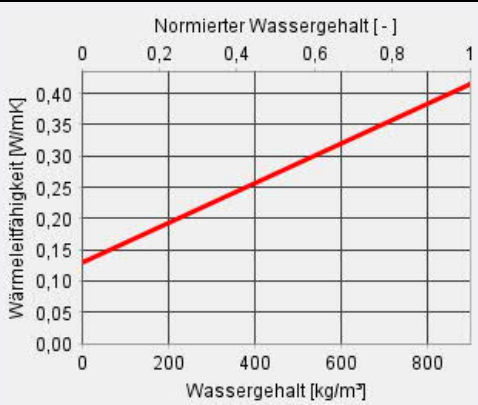
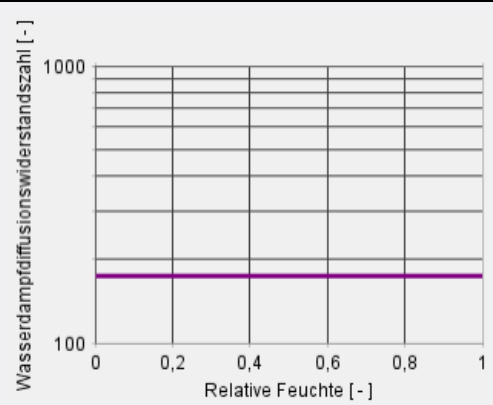

**Bild 3.3** Materialkenndaten – Stahlbeton (Bild 2.1, Nummer 4)

## Hygrothermische Simulation

Rohdichte in $\text{kg/m}^3$	60
Porosität in $\text{m}^3/\text{m}^3$	0,95
Spezifische Wärmekapazität in $\text{J}/(\text{kgK})$	850
Wärmeleitfähigkeit, trocken in $\text{W}/(\text{mK})$	0,04
Diffusionswiderstand, trocken	1,3
Feuchtespeicherverhalten	Flüssigwassertransport
	Es findet kein Flüssigwassertransport im Material statt.
Wärmeleitfähigkeit, feuchteabhängig	Diffusionswiderstandszahl, feuchteabhängig
	

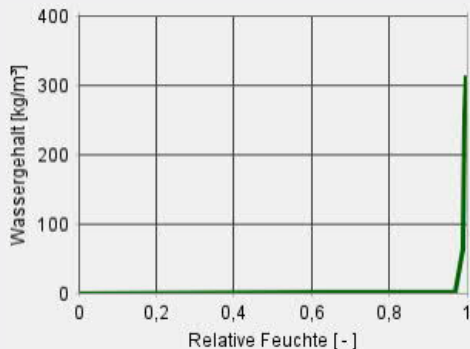
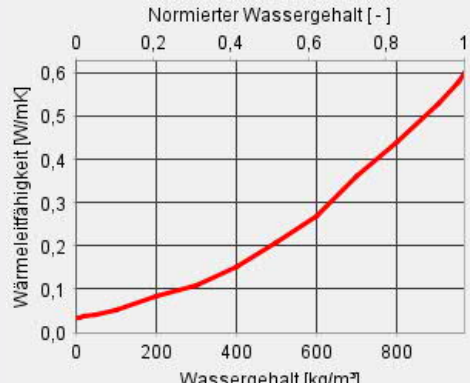
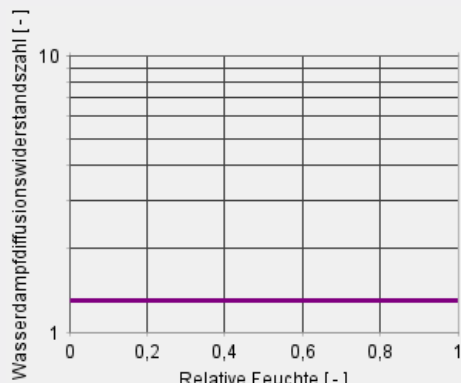
**Bild 3.4** Materialkenndaten – Mineralwolle-Dämmung (Bild 2.1, Nummer 6)

# Hygrothermische Simulation

Rohdichte in $\text{kg/m}^3$	615
Porosität in $\text{m}^3/\text{m}^3$	0,9
Spezifische Wärmekapazität in $\text{J}/(\text{kgK})$	1400
Wärmeleitfähigkeit, trocken in $\text{W}/(\text{mK})$	0,13
Diffusionswiderstand, trocken	175
Feuchtespeicherverhalten	Flüssigwassertransport
	
Wärmeleitfähigkeit, feuchteabhängig	Diffusionswiderstandszahl, feuchteabhängig
	

**Bild 3.5** Materialkenndaten – OSB-Platte Bestand (Bild 2.1, Nummer 8)

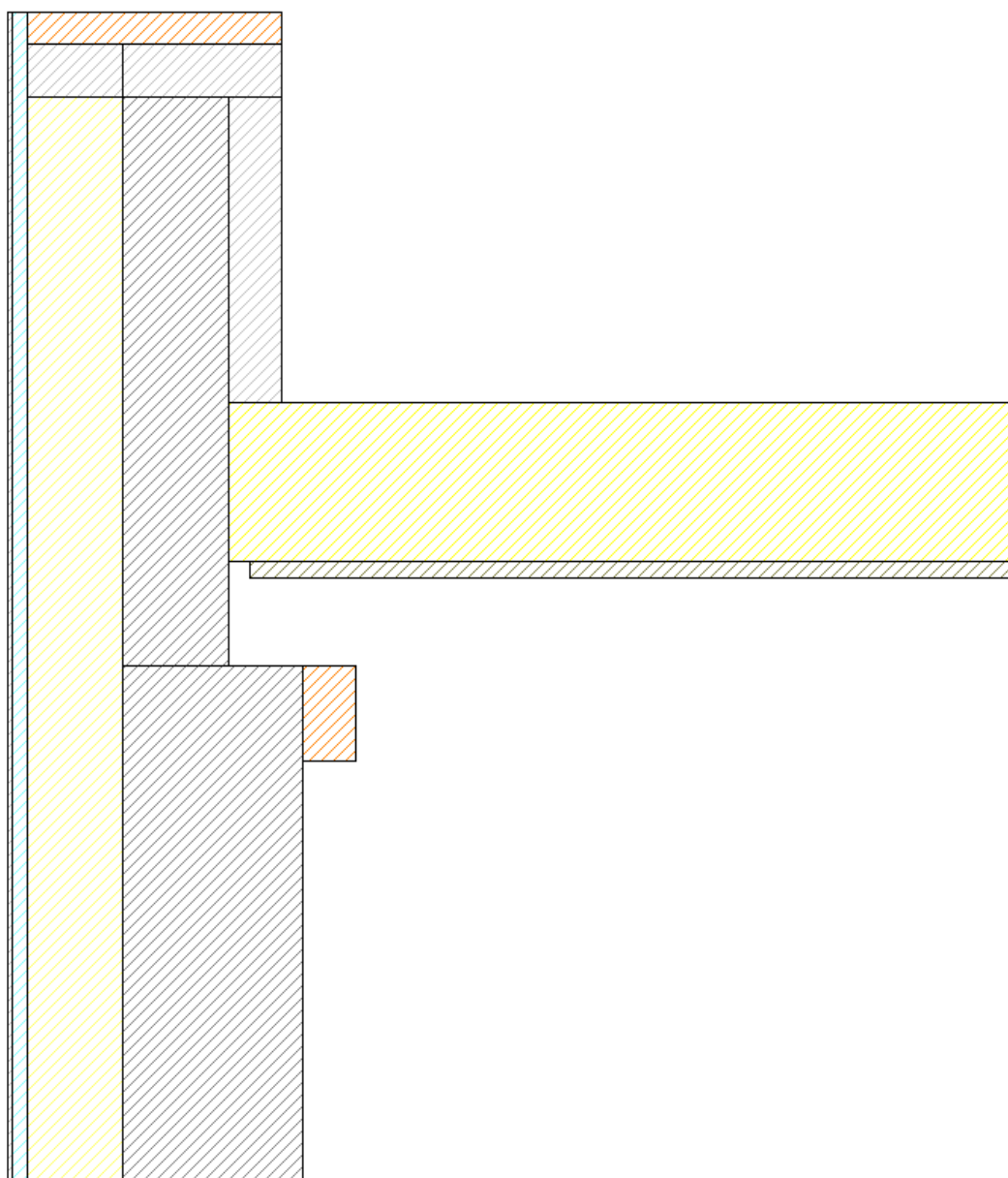
## Hygrothermische Simulation

Rohdichte in $\text{kg/m}^3$	97
Porosität in $\text{m}^3/\text{m}^3$	0,965
Spezifische Wärmekapazität in $\text{J}/(\text{kgK})$	850
Wärmeleitfähigkeit, trocken in $\text{W}/(\text{mK})$	0,035
Diffusionswiderstand, trocken	1,3
Feuchtespeicherverhalten	Flüssigwassertransport
	Es findet kein Flüssigwassertransport im Material statt.
Wärmeleitfähigkeit, feuchteabhängig	Diffusionswiderstandszahl, feuchteabhängig
	

**Bild 3.6** Materialkenndaten – Mineralwolle-Dämmung (Bild 2.1, Nummer 9)

### 3.2.4 Geometriemodell

Die Modellbildung erfolgte wie in Abschnitt 2 dargestellt. Da die Mauerwerkswand, auf der der Betonunterzug aufliegt, keine Relevanz für die Ergebnisse hat, wurde sie vernachlässigt. Es wird davon ausgegangen, dass zwischen dem Innenraum der Schwimmhalle und dem Luftraum zwischen Abhangdecke und OSB-Platte ein Luftaustausch stattfindet, sodass im Luftraum die gleichen Klimarandbedingungen herrschen wie im Innenraum. Abhangdecke und Binder werden daher vernachlässigt. Das Rechenmodell ist im nachfolgenden Bild dargestellt.

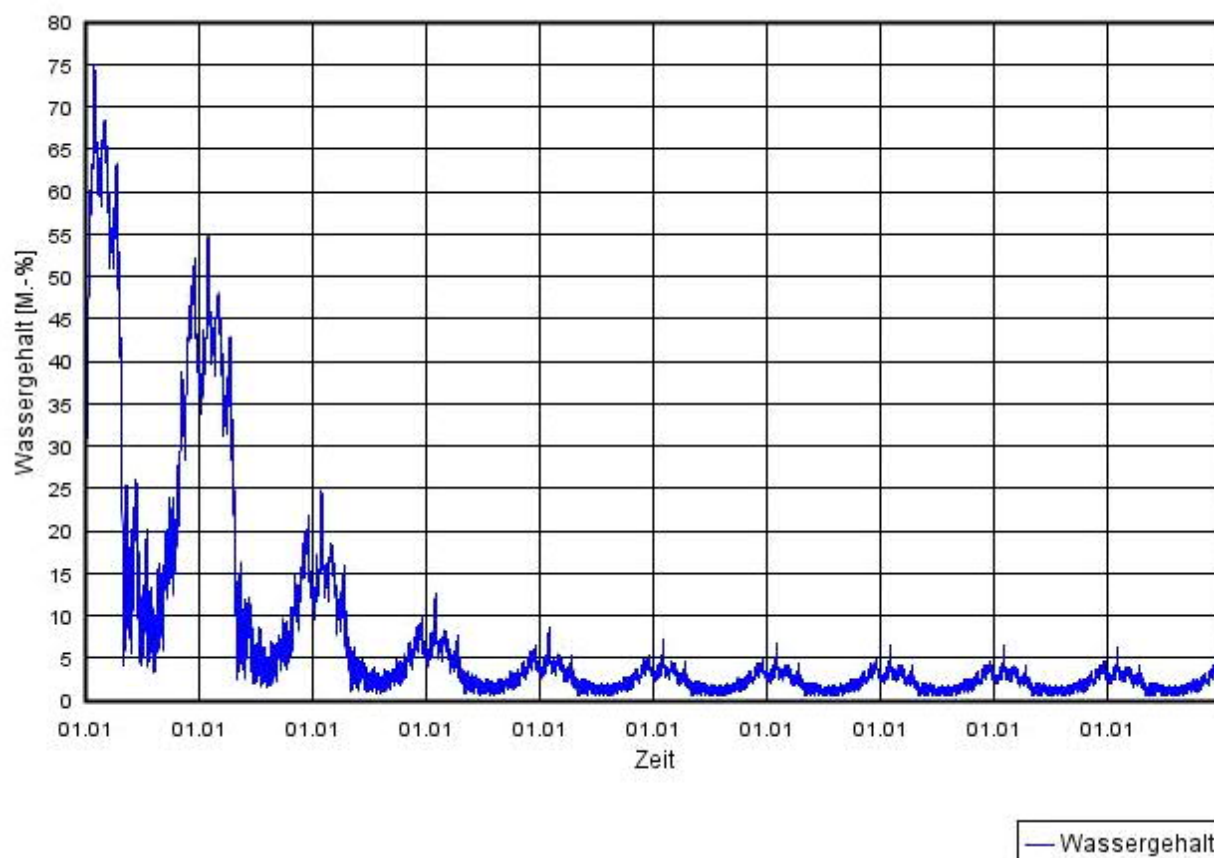


**Bild 3.7** Darstellung des berechneten WUFI2D-Modells

### 3.2.5 Berechnungszeitraum

Für die Simulation der Feuchten im Bauteilinneren wurde hier ein Zeitraum von 10 Jahren gewählt. Dieser rechnerische Zeitraum wird benötigt, um eine Akkumulation von Feuchtigkeit im Bauteil ausschließen zu können. Die Konstruktion lässt sich erst ab dem eingeschwungenen Zustand beurteilen, weswegen für die Beurteilung der Feuchte im Bauteilinneren die letzten drei Jahre betrachtet wurden.

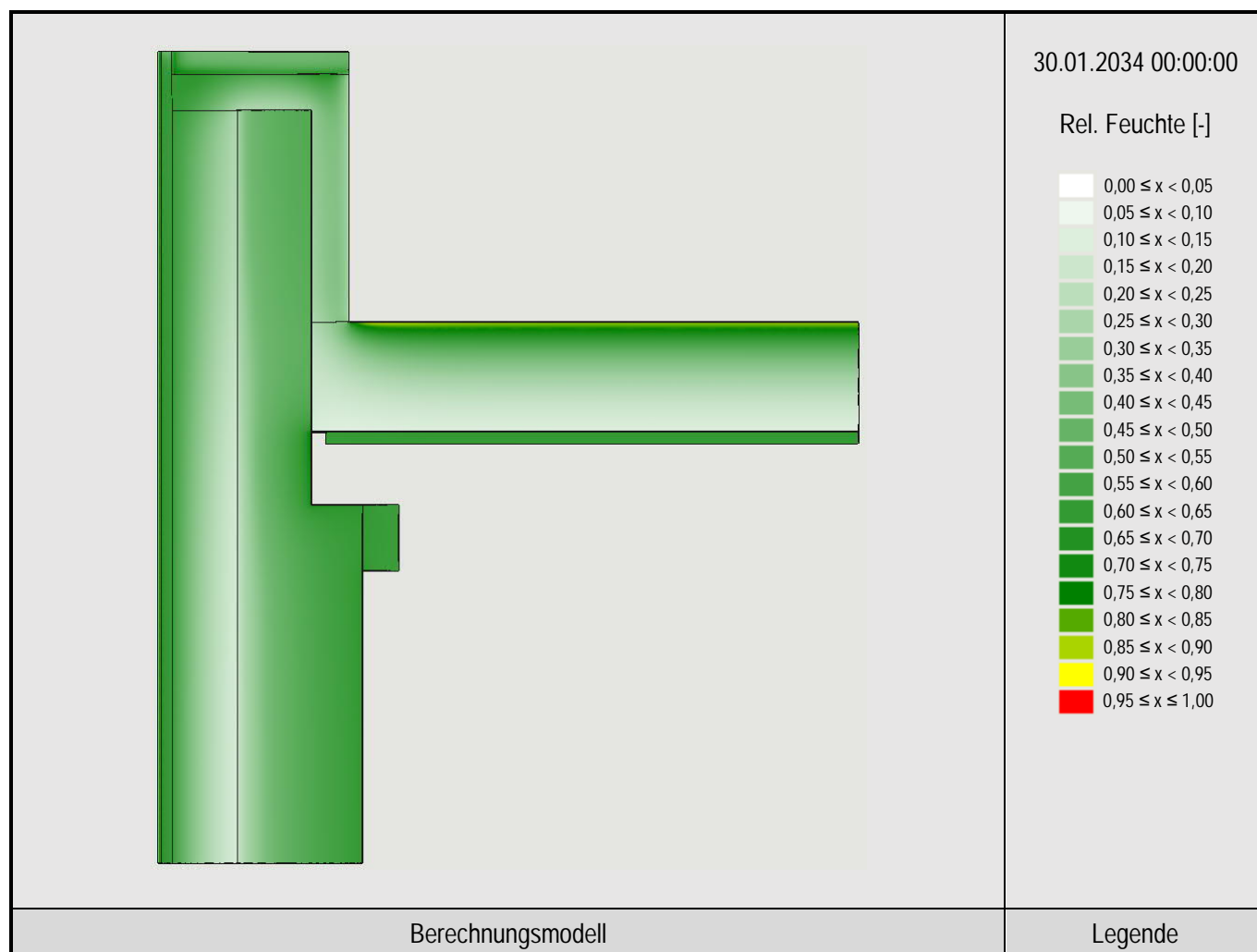
#### P2 - Wärmedämmung unter Abdichtung (Randbereich)



**Bild 3.8** Beispiel: Entwicklung des Wassergehaltes an der Unterseite Abdichtung im Randbereich des Regelbauteil Flachdach über einen Zeitraum von 10 Jahren für das berechnete WUFI 2D-Modell

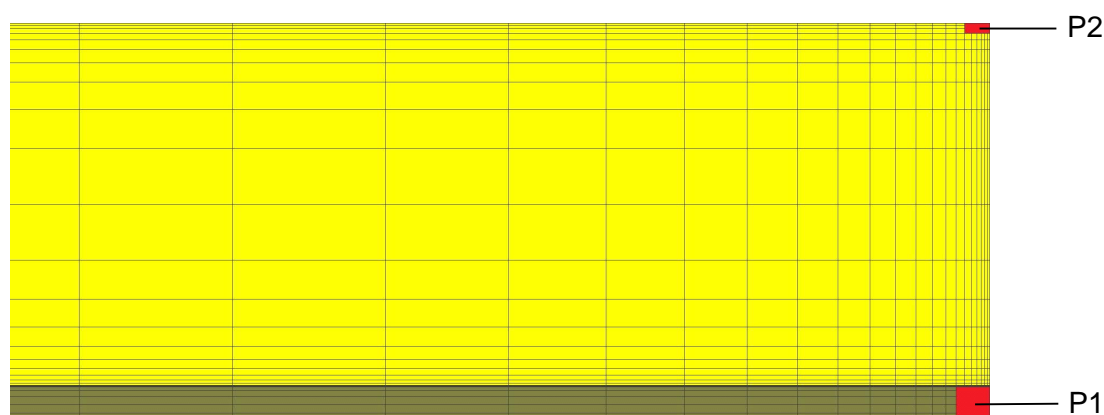
### 3.3 Ergebnisse

Das nachfolgende Bild zeigt die Verteilung der relativen Feuchte im Bauteil Ende Januar des letzten Simulationsjahres. Der Darstellung ist zu entnehmen, dass die beiden kritischsten Punkte mit den höchsten relativen Feuchten im Bereich unterhalb der Abdichtung am rechten Modellrand und im Bereich der OSB-Platte am rechten Modellrand liegen. Daher erfolgt die Auswertung der Ergebnisse für diese beiden Bereiche innerhalb des Bauteils.



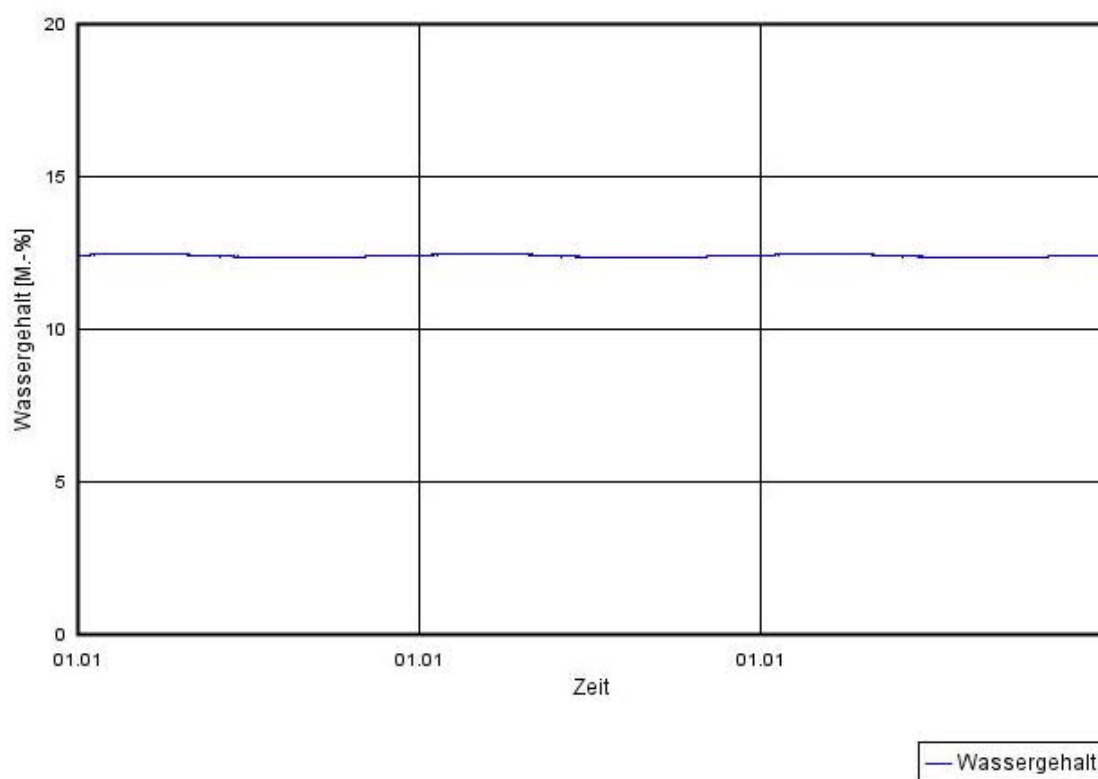
**Bild 3.9** Darstellung der Verteilung der relativen Feuchte im Bauteil Ende Januar des letzten Simulationsjahres

Die Auswertung der zeitlichen Entwicklung des Wassergehaltes (relativ) und der relativen Feuchte erfolgte für die in nachfolgenden Bild rot dargestellten Bereiche (P1 – OSB-Platte am rechten Modellrand und P2 – Wärmedämmung unter der Abdichtung).

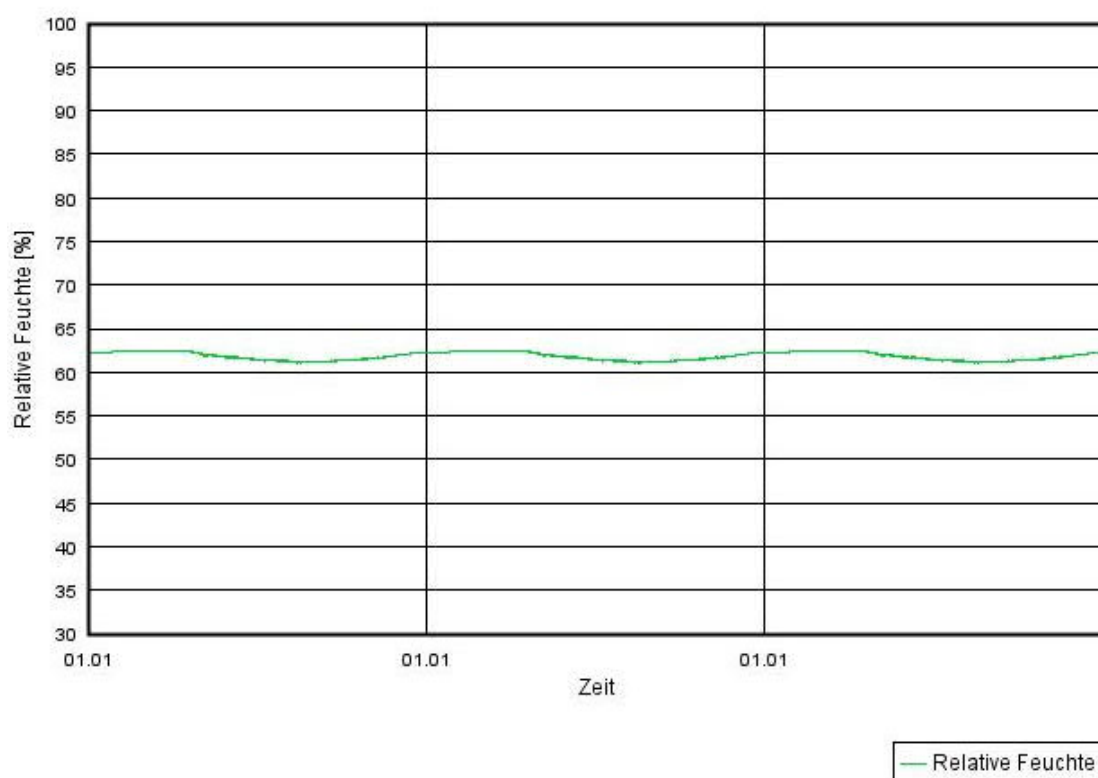


**Bild 3.10** Darstellung eines Modellausschnittes (Regelbauteil Flachdach am rechten Modellrand) mit Hervorhebung der beurteilten Bereiche der OSB-Platte und der Wärmedämmung unter der Abdichtung

**P1 - OSB-Platte (Randbereich)**



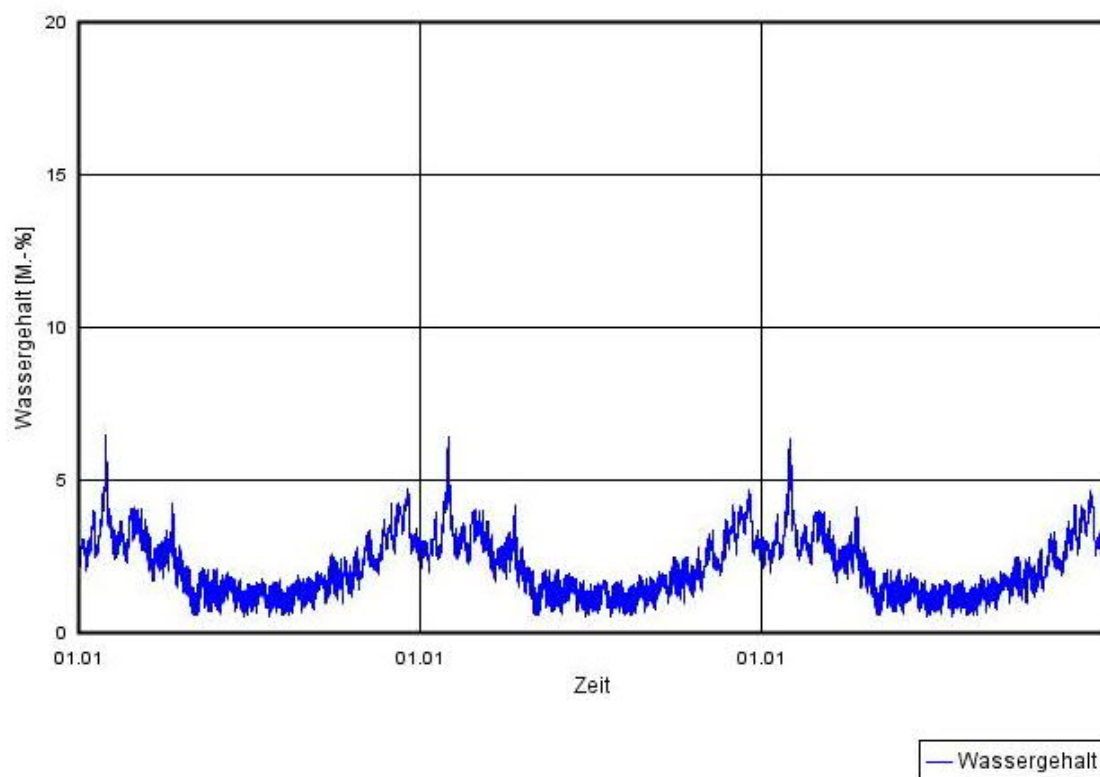
**P1 - OSB-Platte (Randbereich)**



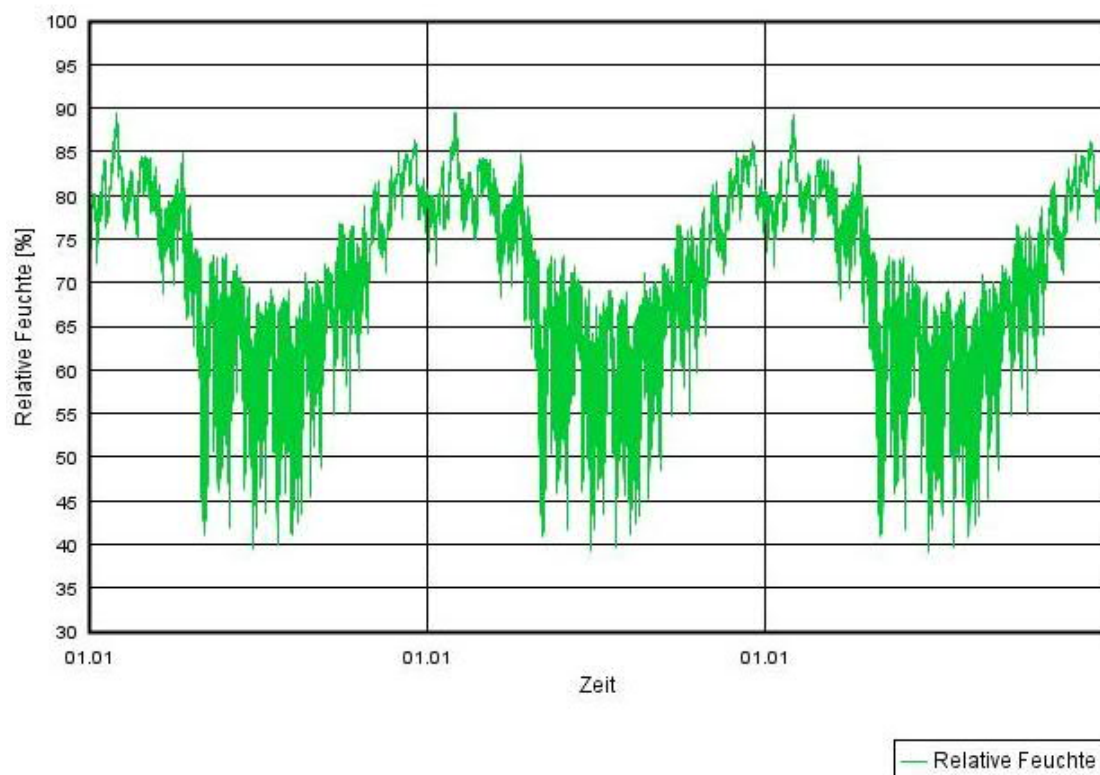
**Bild 3.11** Wassergehalt (massebezogen) und relative Feuchte in der OSB-Platte im Bereich gemäß Bild 3.10



**P2 - Wärmedämmung unter Abdichtung (Randbereich)**



**P2 - Wärmedämmung unter Abdichtung (Randbereich)**



**Bild 3.12** Wassergehalt (massebezogen) und relative Feuchte in der in der Wärmedämmung unter der Abdichtung im Bereich gemäß Bild 3.10

#### 4 Beurteilung

Bei einer Bewertung im Rahmen einer hygrothermischen Simulation wird im Sinne eines „Tauwasserausfalls“ im Bauteil freies flüssiges Wasser verstanden. Im Bereich bis etwa 95 % relativer Feuchte sind die Wassermoleküle an die Porenwänden gebunden. Bei höheren relativen Feuchten  $95\% < r.F. < 100\%$  liegt flüssiges, aber in der Material-/Porenstruktur gebundenes Wasser vor. Freies, ungebundenes flüssiges Wasser liegt vor, wenn der Bereich der freien Sättigung (Wassergehalt bei 100% r.F.) erreicht wird.

Bei Konstruktionen mit Holzwerkstoffen im Bauteilquerschnitt ist ein Wassergehalt von 18 M.-% zu unterschreiten, damit kein Holzfäulerisiko entsteht. Dieser Wert wird bei der OSB-Platte deutlich unterschritten.

Die relative Feuchte im Bereich unter der Dachabdichtung liegt ganzjährig deutlich unter 95%. Eine Tauwasserbildung an der Unterseite der Abdichtung kann somit ausgeschlossen werden. Eine dauerhafte Auffeuchtung des Dämmstoffes kann daher ebenfalls ausgeschlossen werden.

Der Berechnung liegt zu Grunde, dass die Dampfsperre ein  $s_d$  von 1500 m und die Dachabdichtung ein  $s_d$  von 300 m aufweisen. Sollten im weiteren Planungsverlauf Materialien mit hiervon abweichenden Werten vorgesehen werden, ist mit der ENOTHERM Rücksprache zu halten.

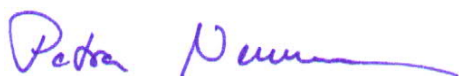
Ferner ist, wie bei Warmdachaufbauten üblich, darauf zu achten, dass bei der Erstellung keine übermäßige Feuchte im Dachaufbau eingeschlossen wird. Die Arbeiten sollten also bei trockener Witterung stattfinden.

#### Abschlussklärung

Der vorliegende Bericht ist nur in seiner Gesamtheit gültig. Die darin getroffenen Aussagen beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Bereiche und deren Zustand zum Zeitpunkt der Untersuchung. Eine auszugsweise Verwendung ist nicht gestattet.

Dortmund, 26.02.2025

#### Aufgestellt

**Petra Neumann**

Dipl.-Ing. // Projektleiterin  
Telefon 0231 725464-11  
Mobil 0151 17165051  
E-Mail p.neumann@enotherm.de

**Kai Schild**

Prof. Dr.-Ing. habil. // Geschäftsführer-Gesellschafter

Staatlich anerkannter Sachverständiger für Schall- und Wärmeschutz  
Energieeffizienzexperte für die Förderprogramme der KfW-Bankengruppe