



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Energie BFE

# **ANHANG A 7:**

## **ERGEBNISKATALOG**

## **SCHAUMGLASDÄMMUNG**

### **ARBEITSPAKET 5: INNENDÄMMSYSTEME**

Ergebnisse: 30.01.2013

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Versagenskriterien</b>	<b>3</b>
1.1	Frostkriterium für den Backstein .....	3
1.2	Vermeidung von Kondensat und Schimmelpilz an der Innenoberfläche .....	4
1.3	Gesamtwassergehalt im Bauteil .....	4
1.4	Wassergehalt und relative Feuchte in der Bauteilschicht .....	4
<b>2</b>	<b>Anwendung des Katalogs</b>	<b>5</b>
2.1	Übersicht Konstruktionen.....	5
2.2	Randbedingungen.....	5
2.3	Beurteilung des Wärme- und Feuchteschutzes der untersuchten Konstruktionen .....	6
2.4	Anwendungsbeispiel .....	6
<b>3</b>	<b>Ergebniskatalog (Anfangsfeuchte Profil 1)</b>	<b>8</b>
3.1	IDS Schaumglasdämmung mit historischem Backstein ZC - 250 mm .....	8
3.1.1	Zusammenfassung .....	9
3.1.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ) .....	10
3.1.3	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ) .....	13
3.2	IDS Schaumglasdämmung mit historischem Backstein ZC - 510 mm .....	14
3.2.1	Zusammenfassung .....	15
3.2.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ) .....	16
3.2.3	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ) .....	20
3.3	IDS Schaumglasdämmung mit historischem Backstein HWZ - 250 mm.....	21
3.3.1	Zusammenfassung .....	22
3.3.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ) .....	23
3.4	IDS Schaumglasdämmung mit historischem Backstein HWZ - 510 mm.....	26
3.4.1	Zusammenfassung .....	27
3.4.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ) .....	28

# 1 VERSAGENSKRITERIEN

Um zu entscheiden, ob der Wärme- und Feuchteschutz für ein Innendämmssystem gewährleistet ist, werden Versagenskriterien definiert. Bei Überschreitung der zugehörigen Grenzwerte wird das Risiko eines Schadenseintrittes bei der geplanten Sanierung mit Innendämmung als zu hoch angesehen. Im folgenden Abschnitt werden die Grenzwerte zu den jeweiligen Versagenskriterien aufgeführt.

## 1.1 Frostkriterium für den Backstein

Massgebend für die Schädigung von Backsteinen durch Frosteinwirkung ist die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel bei einem bestimmten Wassergehalt des Backsteins. Ein Frost-Tau-Wechsel ist umso kritischer, je höher der Wassergehalt des Backsteins ist. Ab einem Sättigungsgrad des Backsteins von  $S = 55\%$  setzt Eisdehnung ein, die bei weiterer Zunahme zum Bruch des Steins führen kann. Der kritische Wassergehalt wird durch einen Sättigungsgrad von  $S = 55 - 63\%$  als Grenzbereich für die Frostsicherheit im Bauteil festgelegt. Dieser Sättigungsgrad entspricht einem Wassergehalt von  $100 - 120 \text{ kg/m}^3$  für die Backsteinsorte ZC und von  $200 - 230 \text{ kg/m}^3$  für die Backsteinsorte HWZ.

Das Versagenskriterium für Frostschädigung lautet: Die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel im Sättigungsbereich  $S = 55 - 63\%$  darf einen Wert von 50 nicht überschreiten. Als Frost-Tau-Wechsel wird jeder Vorzeichenwechsel der Temperatur der Schicht gezählt, unabhängig davon, ob der Stein auftaut oder gefriert. Diese Definition unterscheidet sich von der Zählweise von BENTRUP<sup>1</sup>, der unter einem Frost-Tau-Wechsel einen Gefrier- und einen Auftauvorgang versteht.

Das Frostkriterium wird für die in Abb. 1 beschriebenen Schichten der Backsteine ausgewertet.

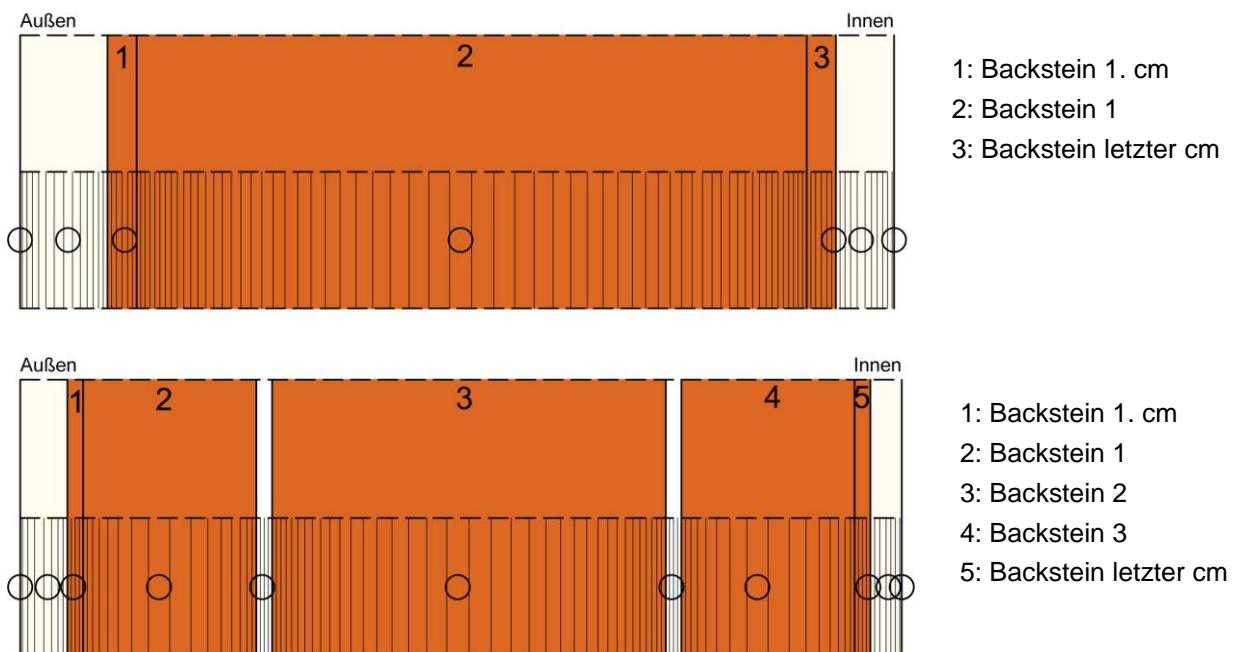


Abb. 1: Bezeichnung der Schichten zur Auswertung des Frostkriteriums für Mauerwerke der Dicke 300 mm (oben) und 560 mm (unten).

<sup>1</sup> Bentrup, H. (1992): Untersuchungen zur Prüfung der Frostwiderstandsfähigkeit von Ziegeln im Hinblick auf lange Lebensdauer. Aachen: Shaker-Verlag

## **1.2 Vermeidung von Kondensat und Schimmelpilz an der Innenoberfläche**

Um die Schimmelpilzfreiheit an der Innenoberfläche zu beurteilen, wird das Isoplethenmodell von SEDLBAUER<sup>2</sup>, welches in der Software WUFI® integriert ist, herangezogen. In diesem Schimmelpilzmodell wird die Schimmelpilzaktivität in sogenannten Isoplethenkurven, also Kurven gleicher Schimmelpilzaktivität zusammengefasst.

Die LIM B I - Isoplethenkurve nennt für jede Oberflächentemperatur eine kritische relative Feuchte, bei deren Überschreitung Schimmelpilzbildung einsetzen kann.

Da die kritischen Oberflächenfeuchten für Oberflächentemperaturen grösser als 0 °C kleiner als 100 % r. F. sind, ist das Versagenskriterium für Schimmelpilz das schärfere, als das Kriterium für Tauwasserbildung auf der raumseitigen Oberfläche.

Daher wird Tauwasserbildung nur dann untersucht, wenn die LIM B I - Kurve überschritten wird.

## **1.3 Gesamtwassergehalt im Bauteil**

Ein langfristiger Anstieg des Gesamtwassergehalts kann beispielsweise durch ein erhöhtes Frostrisiko zu Schädigungen der Wandkonstruktion führen und muss deshalb vermieden werden.

Die Simulationen mit dem Aussenklima von 1984 bis 2009 einschliesslich der Auswertung aller Versagenskriterien sind sehr zeitaufwändig. Daher wurde eine Vorsimulation mit einem mittleren Jahr 1994, welches zehnmal hintereinander durchlaufen wurde, durchgeführt, um aus der Vielzahl von möglichen Konstruktionen eine Vorauswahl zu treffen.

Das Versagenskriterium bezüglich des Gesamtwassergehalts einer Konstruktion lautet: Die Konstruktion versagt, wenn der Gesamtwassergehalt im Bauteil am Ende der 10 mittleren Simulationsjahre grösser ist als zu Beginn der Simulation.

## **1.4 Wassergehalt und relative Feuchte in der Bauteilschicht**

Ein zu hoher Wassergehalt in der Dämmschicht vermindert die Dämmeigenschaften und kann bei einigen Dämmstoffarten zu Schimmelpilzwachstum führen. Darüber hinaus darf der Wassergehalt bei Dämmstoffen mit Holz- oder Zelluloseanteilen nicht so weit ansteigen, dass der Dämmstoff von holzzerstörenden Mikroorganismen angegriffen wird. Daher werden folgende Versagenskriterien verwendet:

- Der Wassergehalt in der Dämmschicht bei Holzfaser- und Zellulosedämmung darf einen Grenzwert von 20 M.-% nicht überschreiten. Zudem darf die relative Feuchte in der Dämmschicht nicht über 95 % liegen.
- Bei Verwendung einer OSB-Platte als innere Beplankung darf der Wassergehalt in der OSB-Platte einen Grenzwert von 16 M.-% nicht überschreiten.

Da Schaumglas keine Feuchtigkeit aufnimmt, entfällt die Auswertung hinsichtlich des Wassergehalts in der Dämmschicht. Bei Glaswolle- und Steinwolle-dämmung ist die relative Feuchte an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung kritischer und wird deshalb nur in diesem Bereich analysiert.

<sup>2</sup> Sedlbauer, K. (2001): Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen - Erläuterung der Methode und Anwendungsbeispiele. Dissertation Universität Stuttgart

## 2 ANWENDUNG DES KATALOGS

### 2.1 Übersicht Konstruktionen

In der folgenden Tabelle (Tabelle 1) sind die untersuchten Konstruktionen des Ergebniskatalogs mit der Seitenzahl aufgeführt, bei der sich Auswertungen befinden.

*Tabelle 1: Untersuchte Innendämmsysteme des Ergebniskatalogs mit Seitenzahl*

Innendämmsystem	Mauerwerk			
	Backsteintyp ZC		Backsteintyp HWZ	
	d <sup>1)</sup> = 300 mm	d = 560 mm	d = 300 mm	d = 560 mm
Schaumglasdämmung	Seite 8	Seite 14	Seite 21	Seite 26
<sup>1)</sup> d = Mauerwerksdicke (Backstein inkl. Mörtel sowie Aussen- und Innenputz)				

### 2.2 Randbedingungen

Die Ergebnisse in diesem Katalog gelten für die in Tabelle 2 zusammengestellten Randbedingungen der Simulationen.

*Tabelle 2: Randbedingungen der Simulationen*

Klima	Zürich-Flutern
Raumklima	Normale Feuchtelast (Bei Aussenlufttemperaturen zwischen –10 °C und 20 °C liegt die Innenraumluftfeuchte zwischen 30 % und 60 % r.F.)
Ausrichtung der Wand	Westen 90° (Vertikales Bauteil) Gebäudehöhe < 10 m
Wärmeübergangswiderstände	Aussen: 0.058 m <sup>2</sup> W/K Innen: 0.13 m <sup>2</sup> W/K
Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes	w = 0.5 kg/(m <sup>2</sup> ·h <sup>0.5</sup> ) w = 0.1 kg/(m <sup>2</sup> ·h <sup>0.5</sup> )
Schlagregenbelastung	wird von Klimadaten einbezogen
Anfangsfeuchte im Bauteil	Profil 1: – Bestandsmauerwerk: Anfangsfeuchte im eingeschwungenen Zustand – Innendämmsystem: Anfangsfeuchte 80 %  Profil 2: – Bestandsmauerwerk: Anfangsfeuchte 80 % – Innendämmsystem: Anfangsfeuchte 80 %

## **2.3 Beurteilung des Wärme- und Feuchteschutzes der untersuchten Konstruktionen**

Das hygrothermische Verhalten der untersuchten Konstruktionen wird durch Simulationen mit dem Programm WUFI® (Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen) für die oben aufgeführten Randbedingungen berechnet. Es wird nur der Regelquerschnitt der Bauteile untersucht und keine Bauteilanschlüsse. Zudem wird bei Dämmungen, bei denen eine Unterkonstruktion notwendig ist, in den Simulationen nur der ungestörte Bereich der Wärmedämmung betrachtet. Die Simulationsergebnisse werden mit den Versagenskriterien verglichen, um zu entscheiden, ob der Wärme- und Feuchteschutz der betreffenden Bauteilschicht eingehalten ist.

## 2.4 Anwendungsbeispiel

Jedes Innendämmssystem wird mit unterschiedlichen Backsteintypen und Wandstärken sowie für verschiedene Dicken der Innendämmung untersucht. Nachfolgend wird kurz der Aufbau des Kataloges erklärt.

- ① Zu jeder Konstruktion sind eine Skizze, sowie die Materialkenndaten jeder Schicht (Rohdichte  $\rho$ , Wärmespeicherkapazität  $c_p$ , Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$ , Wasserdampfdiffusionswiderstand  $\mu$  sowie Porosität) von innen nach aussen dargestellt.

- ② In der darauffolgenden Tabelle sind Kenndaten zum Wärmeschutz (Wärmedurchlasswiderstand R und Wärmedurchgangskoeffizient U) für die Bestandswand sowie für verschiedene Dicken der Innendämmung aufgeführt.

WÄRME SCHUTZ							
Kenngroesse	Einheit		Dicke Innendämmung				
		Bestand	60 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m <sup>2</sup> K/W	0.33	2.04	2.46	3.00	3.48	3.85
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m <sup>2</sup> K	2.01	0.49	0.41	0.33	0.29	0.26
Bemerkung: Kennwerte inkl. Holzlatzung der Unterkonstruktion in der Wärmedämmebene berechnet							

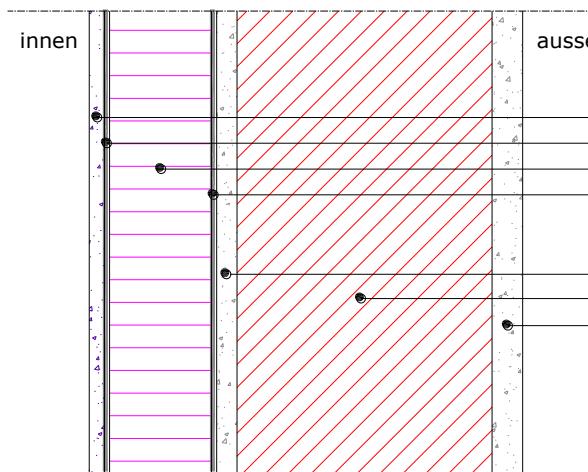
- ③ Danach werden die Versagenskriterien in einer Übersichtstabelle zusammengestellt und das Innendämmssystem für die verschiedenen Dicken der Wärmedämmung analysiert. ✓ bedeutet, das Kriterium wird eingehalten, ✗ bedeutet, das Kriterium wird nicht erfüllt.

VERSAGENSKRITERIEN							
(Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz w = 0.5 kg/(m <sup>2</sup> ·h <sup>0.5</sup> ))							
Kenngroesse	Bedingung	Dicke Innendämmung					
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm	
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100\text{-}120 \text{ kg/m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓	
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓	
Gesamtwassergehalt im Bauteil	Bauteil soll austrocknen	✗	✗	✗	✗	✗	
Wärmeschutz	U $\leq 0.40 \text{ W/m}^2\text{K}$ (nach SIA 180:1999)	✗	✓	✓	✓	✓	
	U $\leq 0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$ (nach SIA 380/1:2009)	✗	✗	✗	✗	✓	

- ④ Zuletzt werden die Ergebnisse der Simulation mit der Software WUFI® dargestellt. Hier werden die Versagenskriterien aus Kap. 1 beurteilt.

### 3 ERGEBNISKATALOG (ANFANGSFEUCHTE PROFIL 1)

#### 3.1 IDS Schaumglasdämmung mit historischem Backstein ZC - 250 mm

KONSTRUKTION	
 <p>The diagram illustrates the cross-section of the wall. On the left, labeled 'innen' (inside), there are several horizontal pink lines representing gypsum board layers. On the right, labeled 'aussen' (outside), there is a thick red hatched area representing expanded glass insulation. Between these, there are two thin grey vertical lines representing bitumen adhesive. Below the diagram, a dimension line shows the total thickness of the wall as 250 mm, with segments of 12.5, 2, 40...140, 3, 20, and 30 mm indicated.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gipskartonplatte</li> <li>Bitumen-Kaltkleber</li> <li>Schaumglas</li> <li>Bitumen-Kaltkleber</li>   <li>Bestand:</li> <li>Innenputz</li> <li>Backsteinmauerwerk</li> <li>Aussenputz</li> </ul>

MATERIALKENNDATEN					
Baustoff	$\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ J/kgK	$\lambda$ in W/mK	$\mu$ [-]	Porosität in %
Gipskartonplatte	850	850	0.2	8.3	65
Bitumenkaltkleber ( $s_d = 80$ m)	1100	1500	0.17	40 000	-
Schaumglas	120	850	0.041	100 000	25
Bitumenkaltkleber ( $s_d = 120$ m)	1100	1500	0.17	40 000	-
Kalkputz (Bestand)	1600	850	0.70	7.0	30
Backstein ZC	1985	836	0.908	23.0	28.5
Kalkzementputz (Bestand)	1900	850	0.80	19 / 12*	24

\*beim Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0.5})$  ist  $\mu = 19.0$   
beim Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz  $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0.5})$  ist  $\mu = 12.0$

WÄRMESCHUTZ							
Kenngroesse	Einheit		Dicke Innendämmung				
		Bestand	40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$	0.33	1.39	2.37	2.86	3.34	3.83
Wärmedurchgangskoeffizient U	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	2.01	0.64	0.39	0.33	0.29	0.25

### 3.1.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein sowie das Grenzkriterium für die relative Feuchte an der inneren Oberfläche werden sowohl bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  sowie bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von  $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  eingehalten. Aufgrund des Anstiegs des Gesamtwassergehalts des Bauteils bei einem saugfähigem Putz wird der Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes auf  $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  reduziert. Die beiden nachfolgenden Tabellen zeigen die Beurteilung der Versagenskriterien für die beiden Konstruktionen.

<b>VERSAGENSKRITERIEN</b>						
(Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ )						
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung				
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100-120 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Gesamtwassergehalt im Bauteil	Bauteil soll austrocknen	✗	✗	✗	✗	✗
Wärmeschutz	$U \leq 0.40 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (nach SIA 180:1999)	✗	✓	✓	✓	✓
	$U \leq 0.25 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (nach SIA 380/1:2009)	✗	✗	✗	✗	✓

<b>VERSAGENSKRITERIEN</b>						
(Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ )						
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung				
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100-120 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Gesamtwassergehalt im Bauteil	Bauteil soll austrocknen	✓	✓	✓	✓	✓
Wärmeschutz	$U \leq 0.40 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (nach SIA 180:1999)	✗	✓	✓	✓	✓
	$U \leq 0.25 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (nach SIA 380/1:2009)	✗	✗	✗	✗	✓

### 3.1.2 Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ )

Zunächst werden die Simulationsergebnisse für einen Aussenputz mit einem Wasseraufnahmekoeffizienten von  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  dargestellt.

#### a) Gesamtwassergehalt

Das folgende Diagramm zeigt beispielhaft den Wassergehalt für den Backsteintyp ZC mit einer Dicke von 250 mm für verschiedene Dicken der Schaumglasdämmung. Der Gesamtwassergehalt steigt an, weshalb diese Konstruktion verworfen wird.

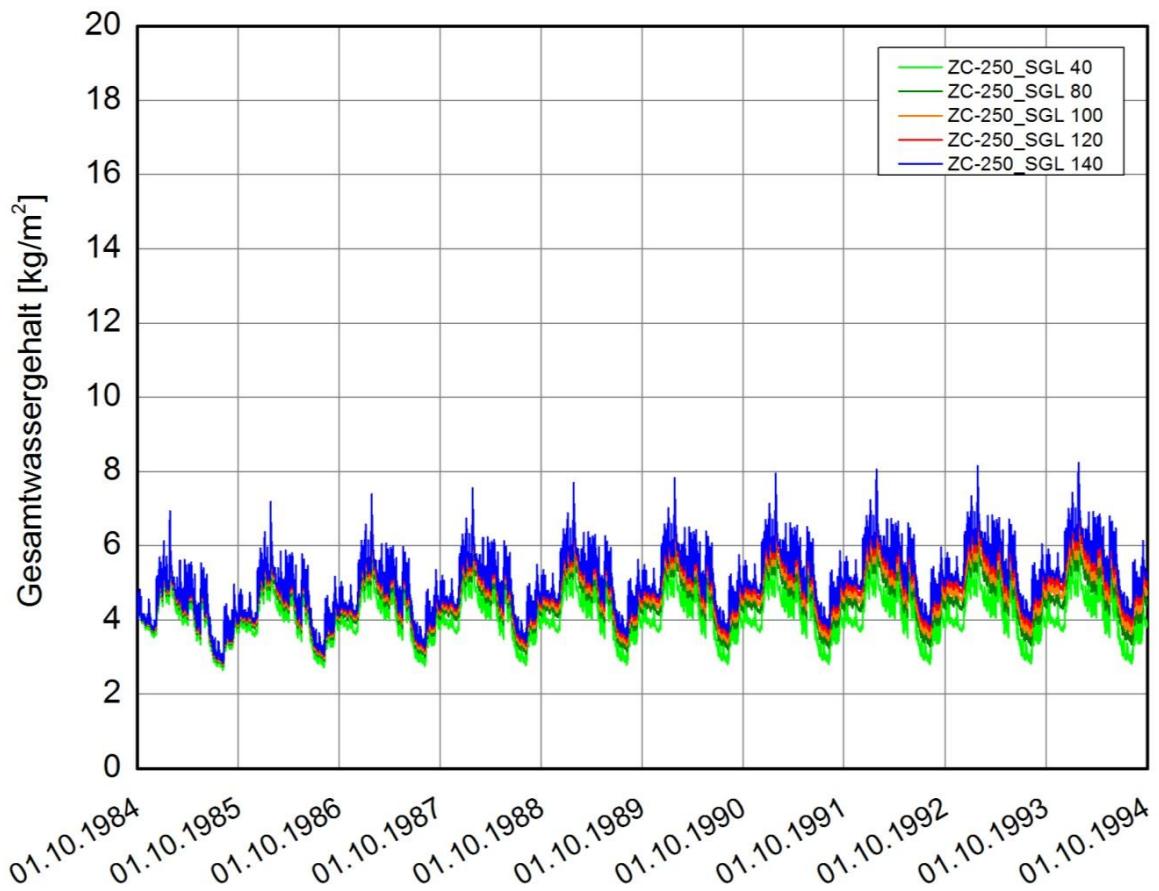
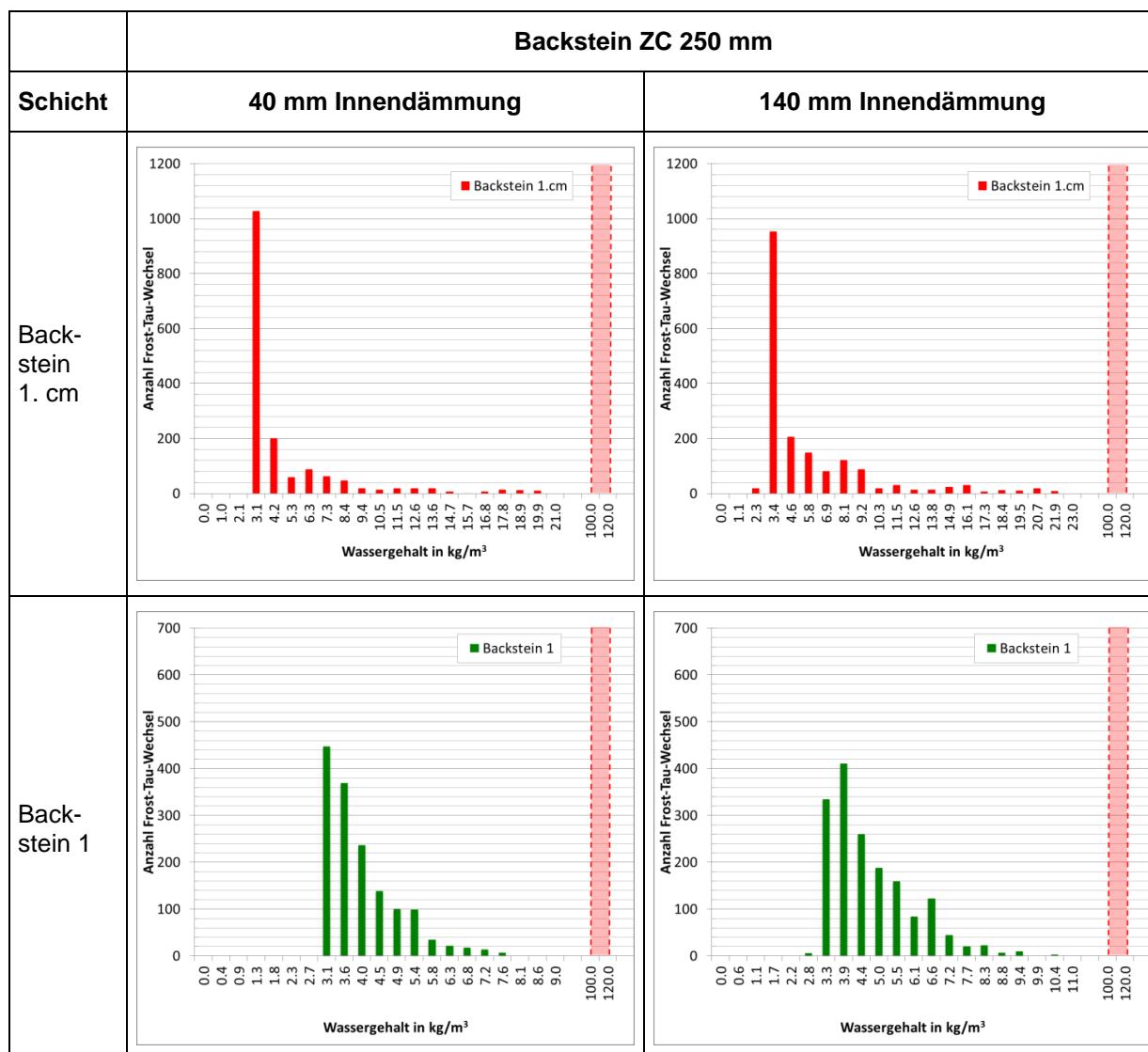


Abb. 2: Gesamtwassergehalt der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Schaumglas mit einer Dicke von 40 bis 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ).

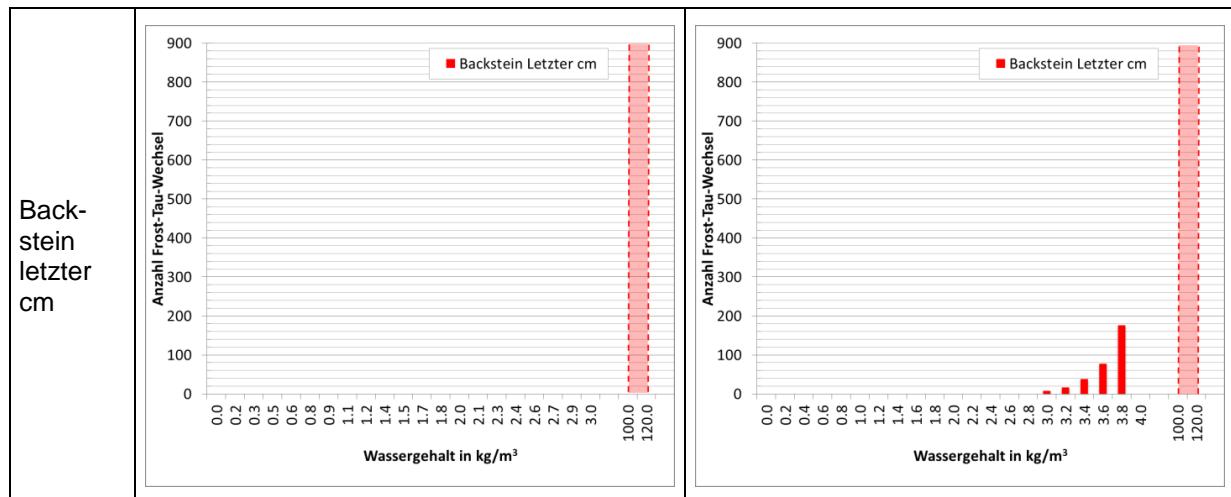
## b) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

In der nachfolgenden Tabelle wird die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel bei einem bestimmten Wassergehalt (rote und grüne Balken) mit dem kritischen Wassergehalt des Backsteintyps (hellroter Bereich) verglichen. Es ist zu erkennen, dass für alle Dicken der Innendämmung keine Frost-Tauwechsel bei Wassergehalten auftreten, die grösser als der kritische Wassergehalt des Backsteins sind. Exemplarisch sind die Werte für die geringste und für die grösste untersuchte Wärmedämmstoffdicke dargestellt.

*Tabelle 3: Berechnete Anzahl der Frost-Tau-Wechsel als Funktion des Wassergehalts beim Backsteintyp ZC mit 250 mm Backsteindicke (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ). Es werden jeweils die berechneten Werte für den äussersten Zentimeter, den innersten Zentimeter und den restlichen Teil des Backsteins dargestellt.*



Fortsetzung Tabelle 3



### c) Isoplethenmodell für Keimung von Schimmelpilzen

Für alle untersuchten Dicken der Wärmedämmung liegen die berechneten kritischen Oberflächenfeuchten unterhalb der LIM B I – Kurve. Die nachfolgende Abbildung zeigt exemplarisch die berechneten Werte für Schaumglas mit einer Dicke von 40 mm.

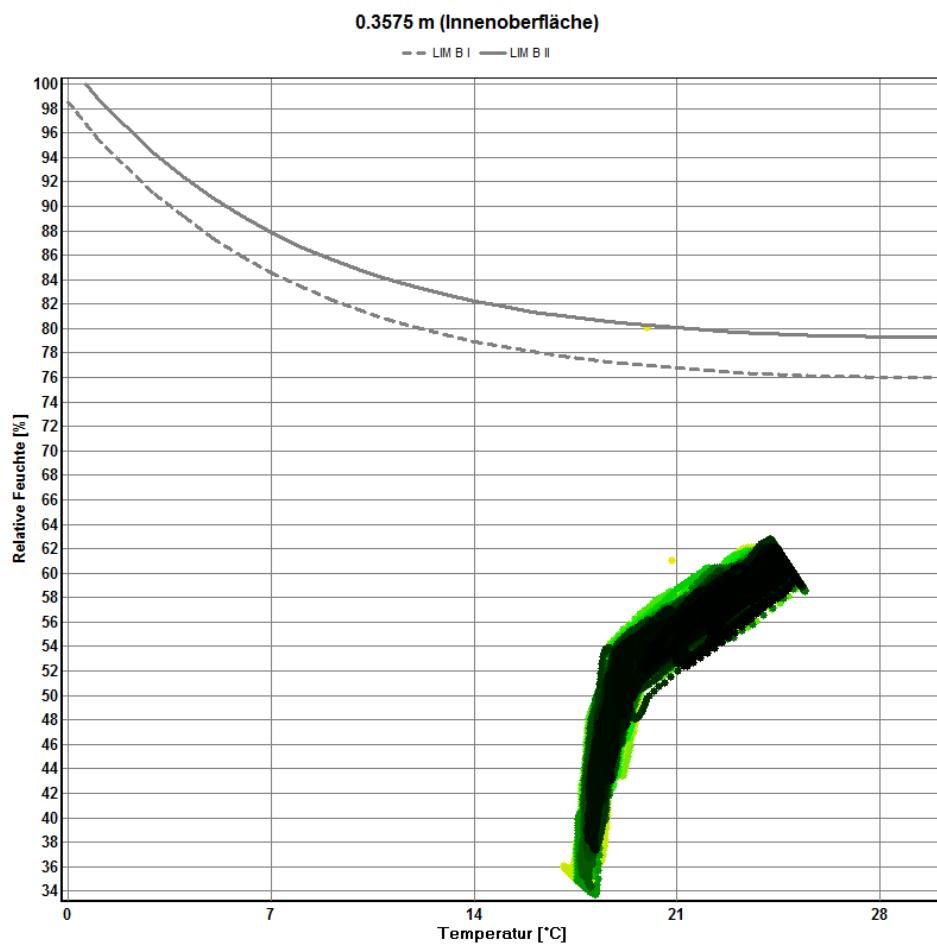


Abb. 3: Isoplethenmodell der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Schaumglas mit einer Dicke von 40 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Außenputz  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ).

### 3.1.3 Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ )

Folgend werden die Simulationsergebnisse für einen Aussenputz mit einem Wasseraufnahmekoeffizienten von  $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  dargestellt.

#### a) Gesamtwassergehalt

Der Gesamtwassergehalt nimmt ab, wenn der Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes auf  $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  reduziert wird. Die nachfolgende Abbildung stellt den Gesamtwassergehalt der Konstruktion für alle untersuchten Dämmstoffdicken dar.

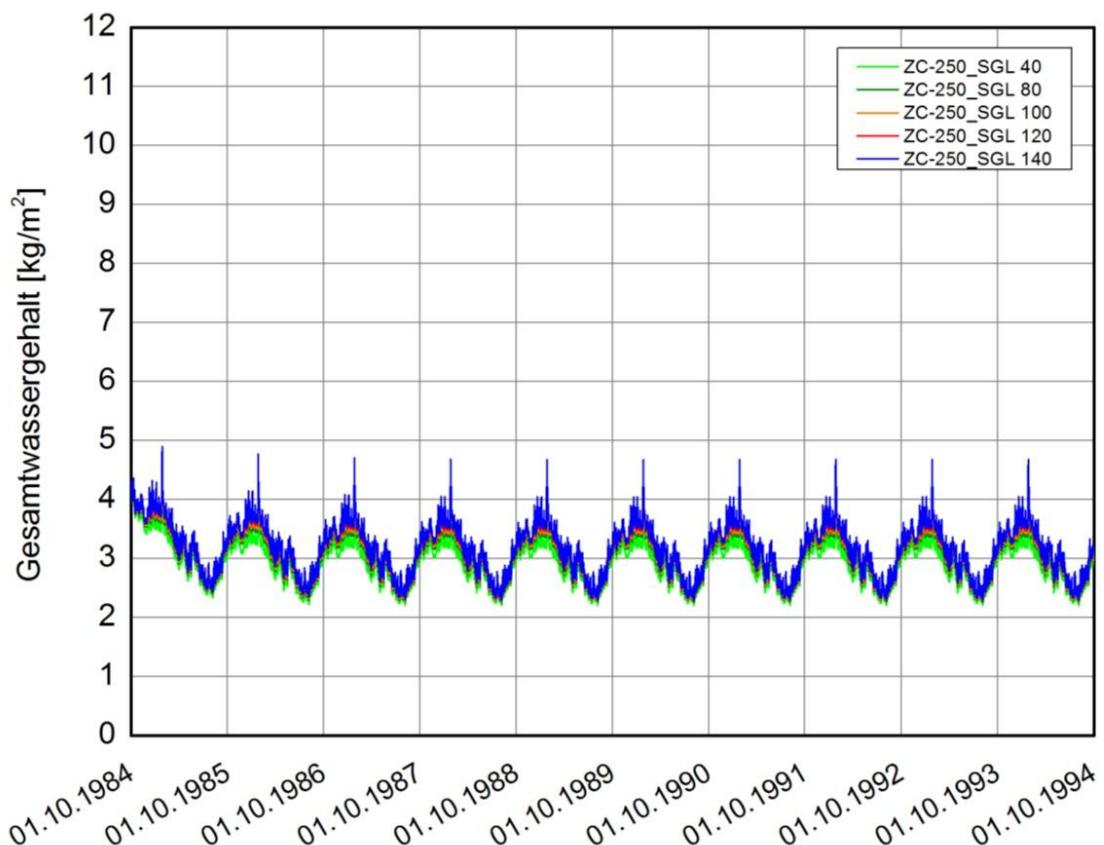


Abb. 4: Gesamtwassergehalt der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Schaumglas mit einer Dicke von 40 bis 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz  $w = 0.1 \text{ kg}/\text{m}^2 \text{h}^{0.5}$ ).

#### b) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

Das Versagenskriterium des Frost-Tau-Wechsels wurde bei einem Wasseraufnahmekoeffizienten des Aussenputzes von  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  für alle Wandkonstruktionen eingehalten (vgl. Abschnitt 3.1.2). Da der Wassergehalt im Backstein bei einem weniger saugfähigen Putz mit  $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  niedriger ist, wird das Versagenskriterium bei allen Dämmstoffdicken ebenfalls eingehalten.

#### c) Isoplethenmodell für Keimung von Schimmelpilzen

Die Verringerung des Wasseraufnahmekoeffizienten hat keinen nennenswerten Einfluss auf die raumseitigen Oberflächentemperaturen und –feuchten. Daher hat die Beurteilung des Schimmelpilzwachstums und der Tauwasserbildung das gleiche Ergebnis wie in Abschnitt 3.1.2 dargestellt.

### **3.2 IDS Schaumglasdämmung mit historischem Backstein ZC - 510 mm**

## KONSTRUKTION

The diagram illustrates a cross-section of a wall construction. The left side is labeled "innen" (inside) and the right side is labeled "aussen" (outside). The wall consists of several layers:

- innermost layer:** Gipskartonplatte (Gypsum board)
- second layer:** Bitumen-Kaltkleber (Bitumen cold adhesive)
- third layer:** Schaumglas (Foam glass)
- fourth layer:** Bitumen-Kaltkleber (Bitumen cold adhesive)
- fifth layer:** Bestand: Innenputz (Existing: Internal plaster)
- sixth layer:** Backstein (Brick)
- seventh layer:** Mörtelfuge (Mortar joint)
- outermost layer:** Aussenputz (External plaster)

Dimensions shown at the bottom are: 12.5, 2, 40, ..., 140, 3, 20, 120, 10, 250, 10, 120, 30. The total width is 510.

MATERIALKENNDATEN					
Baustoff	$\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ J/kgK	$\lambda$ in W/mK	$\mu$ [-]	Porosität in %
Gipskartonplatte	850	850	0.2	8.3	65
Bitumenkaltkleber ( $s_d = 80$ m)	1100	1500	0.17	40 000	-
Schaumglas	120	850	0.041	100 000	25
Bitumenkaltkleber ( $s_d = 120$ m)	1100	1500	0.17	40 000	-
Kalkputz (Bestand)	1600	850	0.70	7.0	30
Backstein ZC	1985	836	0.908	23.0	28.5
Kalkzementmörtel	1910	850	0.80	45.89	25
Kalkzementputz (Bestand)	1900	850	0.80	19 / 12*	24

\*beim Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0.5})$  ist  $\mu = 19.0$   
beim Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz  $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0.5})$  ist  $\mu = 12.0$

WÄRME SCHUTZ

Kenngroesse	Einheit		Dicke Innendämmung					
		Bestand	40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm	
Wärmedurchlasswiderstand R	m <sup>2</sup> K/W	0.61	1.66	2.63	3.12	3.61	4.09	
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m <sup>2</sup> K	1.28	0.55	0.36	0.30	0.27	0.23	

### 3.2.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein sowie die relative Feuchte an der inneren Oberfläche stellen sowohl bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Außenputzes von  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  sowie bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Außenputzes von  $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  kein Problem dar. Jedoch muss der Wasseraufnahmekoeffizient des Außenputzes auf  $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  reduziert werden, da ansonsten der Gesamtwassergehalt im Bauteil ansteigt. Die beiden nachfolgenden Tabellen zeigen die Beurteilung der Versagenskriterien für die beiden Konstruktionen.

<b>VERSAGENSKRITERIEN</b>						
<b>(Wasseraufnahmekoeffizient vom Außenputz <math>w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})</math>)</b>						
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung				
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100-120 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Gesamtwassergehalt im Bauteil	Bauteil soll austrocknen	✓	✓	✗	✗	✗
Wärmeschutz	$U \leq 0.40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (nach SIA 180:1999)	✗	✓	✓	✓	✓
	$U \leq 0.25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (nach SIA 380/1:2009)	✗	✗	✗	✗	✓

<b>VERSAGENSKRITERIEN</b>						
<b>(Wasseraufnahmekoeffizient vom Außenputz <math>w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})</math>)</b>						
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung				
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100-120 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Gesamtwassergehalt im Bauteil	Bauteil soll austrocknen	✓	✓	✓	✓	✓
Wärmeschutz	$U \leq 0.40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (nach SIA 180:1999)	✗	✓	✓	✓	✓
	$U \leq 0.25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (nach SIA 380/1:2009)	✗	✗	✗	✗	✓

### 3.2.2 Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ )

Zunächst werden die Simulationsergebnisse für einen Aussenputz mit einem Wasseraufnahmekoeffizienten von  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  dargestellt.

#### a) Gesamtwassergehalt

Bei 40 mm Innendämmung sinkt der Gesamtwassergehalt. Bei 80 mm Innendämmung fällt der Gesamtwassergehalt im ersten Jahr ab und bleibt dann konstant. Ab 100 mm Innendämmung steigt er ab dem ersten Jahr an. Die nachfolgende Abbildung stellt den Gesamtwassergehalt der Konstruktion für alle untersuchten Dämmstoffdicke dar.

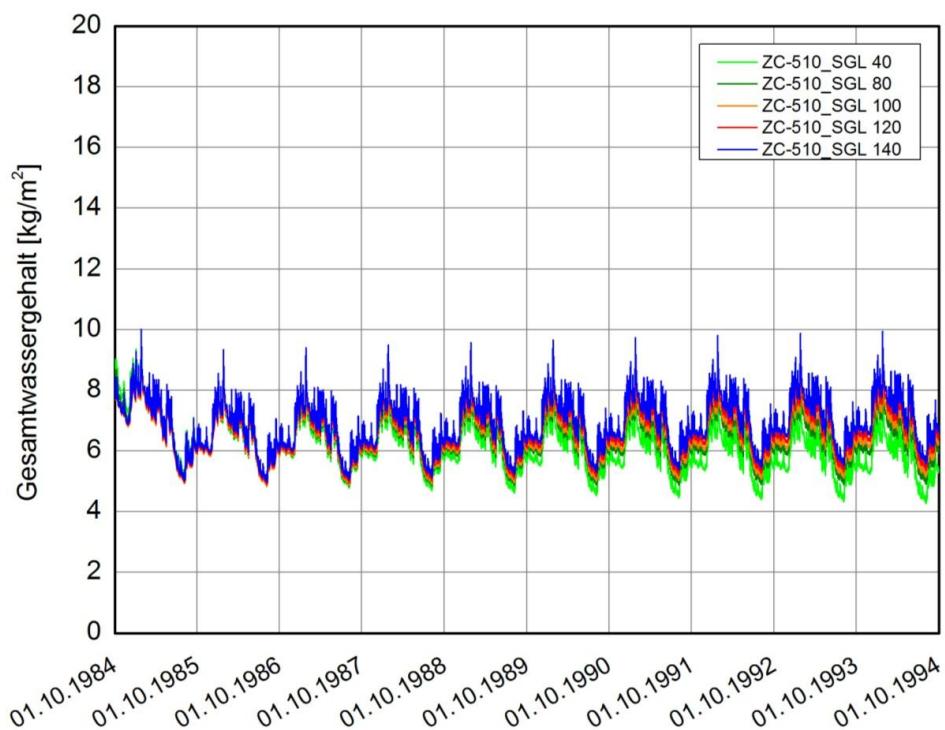
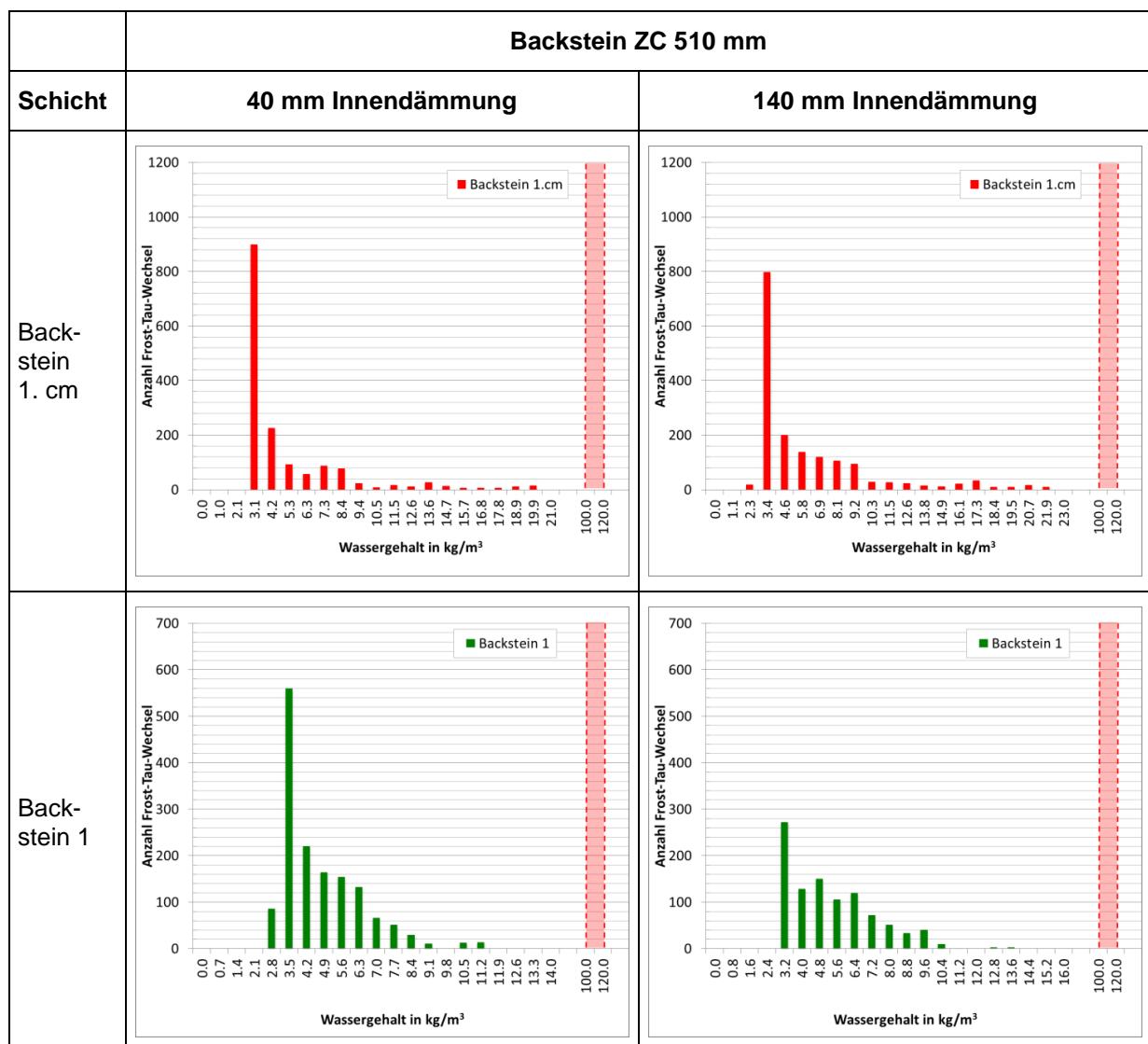


Abb. 5: Gesamtwassergehalt der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Schaumglas mit einer Dicke von 40 bis 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ )

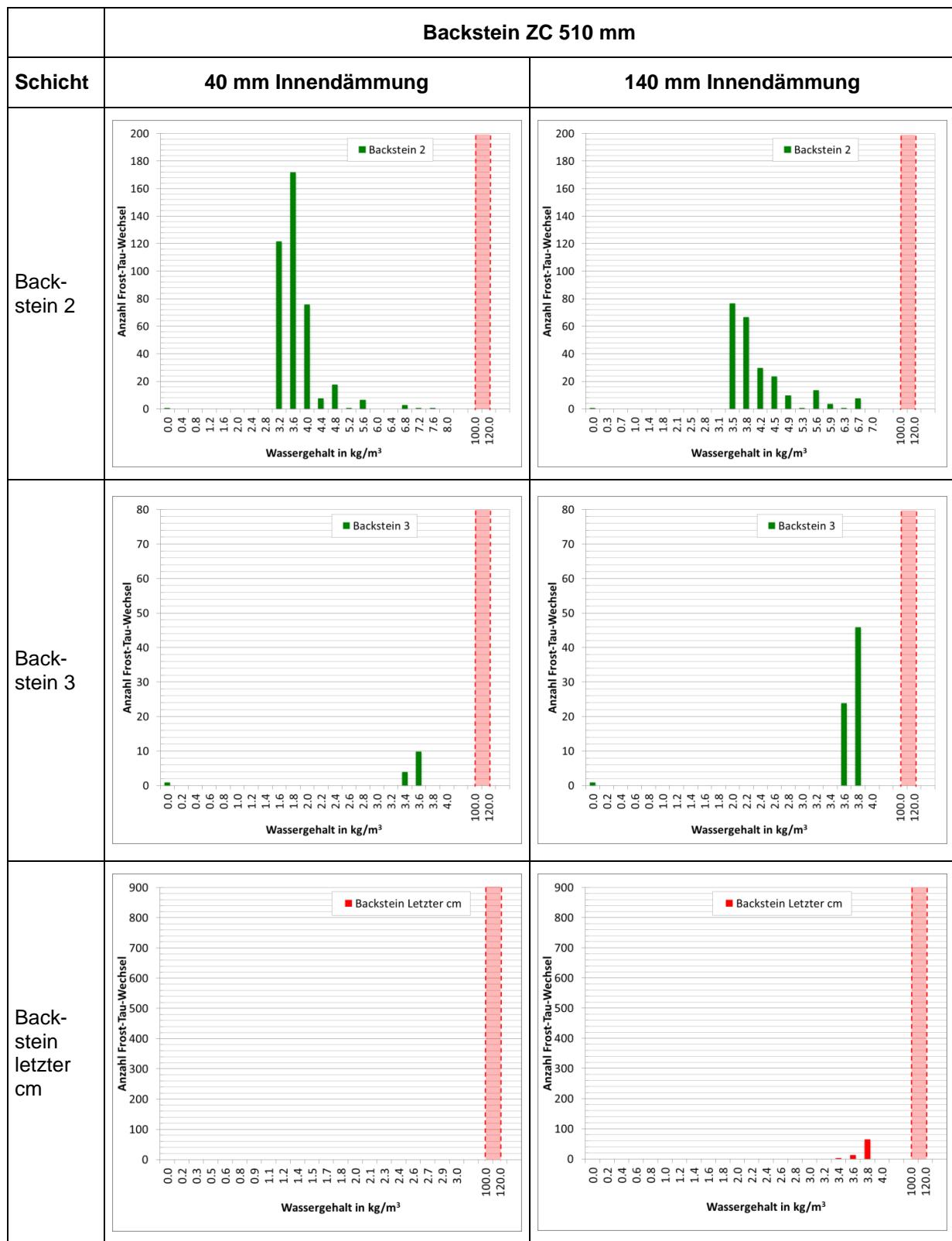
## b) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

In der nachfolgenden Tabelle wird die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel bei einem bestimmten Wassergehalt (rote und grüne Balken) mit dem kritischen Wassergehalt des Backsteintyps (hellroter Bereich) verglichen. Es ist zu erkennen, dass für alle Dicken der Innendämmung keine Frost-Tauwechsel bei Wassergehalten auftreten, die grösser als der kritische Wassergehalt des Backsteins sind. Exemplarisch sind die Werte für die geringste und für die grösste untersuchte Wärmedämmstoffdicke dargestellt.

*Tabelle 4: Berechnete Anzahl der Frost-Tau-Wechsel als Funktion des Wassergehalts beim Backsteintyp ZC mit 510 mm Backsteindicke. (Wasseraufnahmekoeffizient Außenputz  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ). Es werden jeweils die berechneten Werte für den äussersten Zentimeter, den innersten Zentimeter und den restlichen Teil des Backsteins dargestellt.*



Fortsetzung Tabelle 4



### c) Isoplethenmodell für Keimung von Schimmelpilzen

Für alle untersuchten Dicken der Wärmedämmung liegen die berechneten kritischen Oberflächenfeuchten unterhalb der LIM B I – Kurve. Die nachfolgende Abbildung zeigt exemplarisch die berechneten Werte für Schaumglas mit einer Dicke von 40 mm.

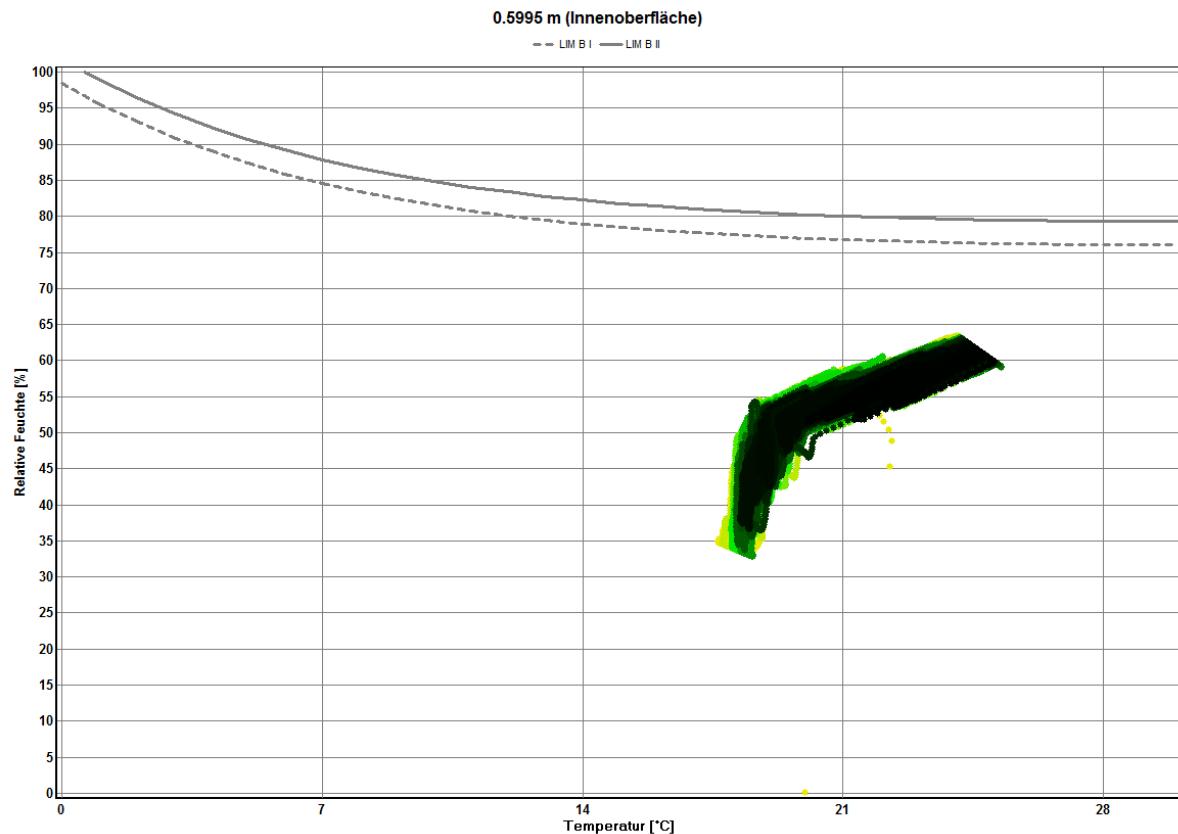


Abb. 6: Isoplethenmodell der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Schaumglas mit einer Dicke von 40 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Außenputz  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ )

### 3.2.3 Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ )

Folgend werden die Simulationsergebnisse für einen Aussenputz mit einem Wasseraufnahmekoeffizienten von  $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  dargestellt.

#### a) Gesamtwassergehalt

Bei Reduzierung des Wasseraufnahmekoeffizienten des Aussenputzes auf  $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  nimmt der Gesamtwassergehalt in allen Konstruktionen im Verlauf der 10 Simulationsjahre ab. In folgender Abbildung ist der Gesamtwassergehalt für alle untersuchten Dämmstoffdicken dargestellt.

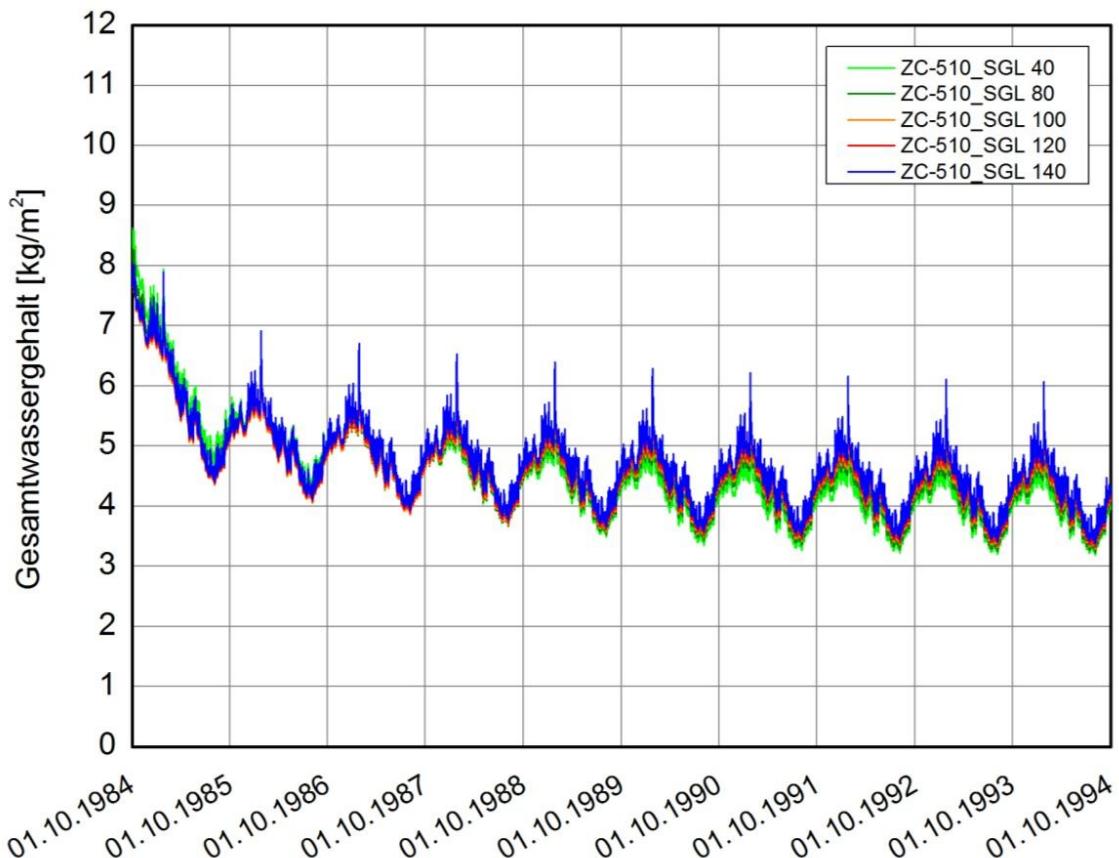


Abb. 7: Gesamtwassergehalt der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und einer Innendämmung Schaumglas mit einer Dicke von 40 bis 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz  $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ )

#### b) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

Das Versagenskriterium der Frost-Tau-Wechsel wurde bei einem Wasseraufnahmekoeffizienten des Aussenputzes von  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  bei allen Wandkonstruktionen eingehalten (vgl. Abschnitt 3.2.2). Da der Wassergehalt im Backstein bei einem weniger saugfähigen Aussenputz mit  $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  niedriger ist, wird das Versagenskriterium bei allen Wandkonstruktionen des Abschnitts 3.2.3 ebenfalls eingehalten.

#### c) Isoplethenmodell für Keimung von Schimmelpilzen

Die Verringerung des Wasseraufnahmekoeffizienten hat keinen nennenswerten Einfluss auf die raumseitigen Oberflächentemperaturen und -feuchten. Daher ergibt die Beurteilung des Schimmel pilzwachstums und der Tauwasserbildung das gleiche Ergebnis wie in Abschnitt 3.2.2 dargestellt.

### 3.3 IDS Schaumglasdämmung mit historischem Backstein HWZ - 250 mm

## KONSTRUKTION

The diagram illustrates a wall cross-section with the following components from left (innen) to right (aussen):

- Innen (Left):** Internal wall structure consisting of multiple horizontal layers.
- aussen (Right):** External wall structure consisting of multiple horizontal layers.
- Material Labels:**
  - Gipskartonplatte (Gypsum board)
  - Bitumen-Kaltkleber (Bitumen cold adhesive)
  - Schaumglas (Foam glass)
  - Bitumen-Kaltkleber (Bitumen cold adhesive)
  - Bestand: (Composition:)
  - Innenputz (Internal plaster)
  - Backsteinmauerwerk (Brick masonry)
  - Aussenputz (External plaster)

Below the diagram is a scale bar with the following markings and values:

- 12.5
- 2
- 40
- ...
- 140
- 3
- 20
- 250
- 30

MATERIALKENNDATEN					
Baustoff	$\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	c <sub>p</sub> J/kgK	$\lambda$ in W/mK	$\mu$ [-]	Porosität in %
Gipskartonplatte	850	850	0.2	8.3	65
Bitumenkaltkleber (s <sub>d</sub> = 80 m)	1100	1500	0.17	40 000	-
Schaumglas	120	850	0.041	100 000	25
Bitumenkaltkleber (s <sub>d</sub> = 120 m)	1100	1500	0.17	40 000	-
Kalkputz (Bestand)	1600	850	0.70	7.0	30
Backstein HWZ	1560	850	0.60	14.93	38
Kalkzementputz (Bestand)	1900	850	0.80	19 / 12*	24

WÄRMESCHUTZ							
Kenngroesse	Einheit		Dicke Innendämmung				
		Bestand	40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m <sup>2</sup> K/W	0.45	1.51	2.49	2.98	3.46	3.95
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m <sup>2</sup> K	1.62	0.60	0.38	0.32	0.28	0.24

### 3.3.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein sowie die relative Feuchte an der inneren Oberfläche stellen bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  kein Problem dar. Der Gesamtwassergehalt nimmt bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  über die 10 Jahre kontinuierlich ab.

Simulationen mit einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von  $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  sind im Falle der Schaumglasinnendämmung beim Backsteintyp HWZ mit 250 mm Backsteindicke nicht notwendig.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Beurteilung der Versagenskriterien für die Konstruktion.

VERSAGENSKRITERIEN (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ )						
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung				
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 200\text{-}230 \text{ kg/m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Gesamtwassergehalt im Bauteil	Bauteil soll austrocknen	✓	✓	✓	✓	✓
Wärmeschutz	$U \leq 0.40 \text{ W/m}^2\text{K}$ (nach SIA 180:1999)	✗	✓	✓	✓	✓
	$U \leq 0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$ (nach SIA 380/1:2009)	✗	✗	✗	✗	✓

### 3.3.2 Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ )

Folgend werden die Simulationsergebnisse für einen Aussenputz mit einem Wasseraufnahmekoeffizienten von  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  dargestellt.

#### a) Gesamtwassergehalt

Der Gesamtwassergehalt nimmt im Verlauf der 10 Simulationsjahre in allen Konstruktionen kontinuierlich ab. In folgender Abbildung ist der Gesamtwassergehalt aller untersuchten Dämmstoffdicken dargestellt.

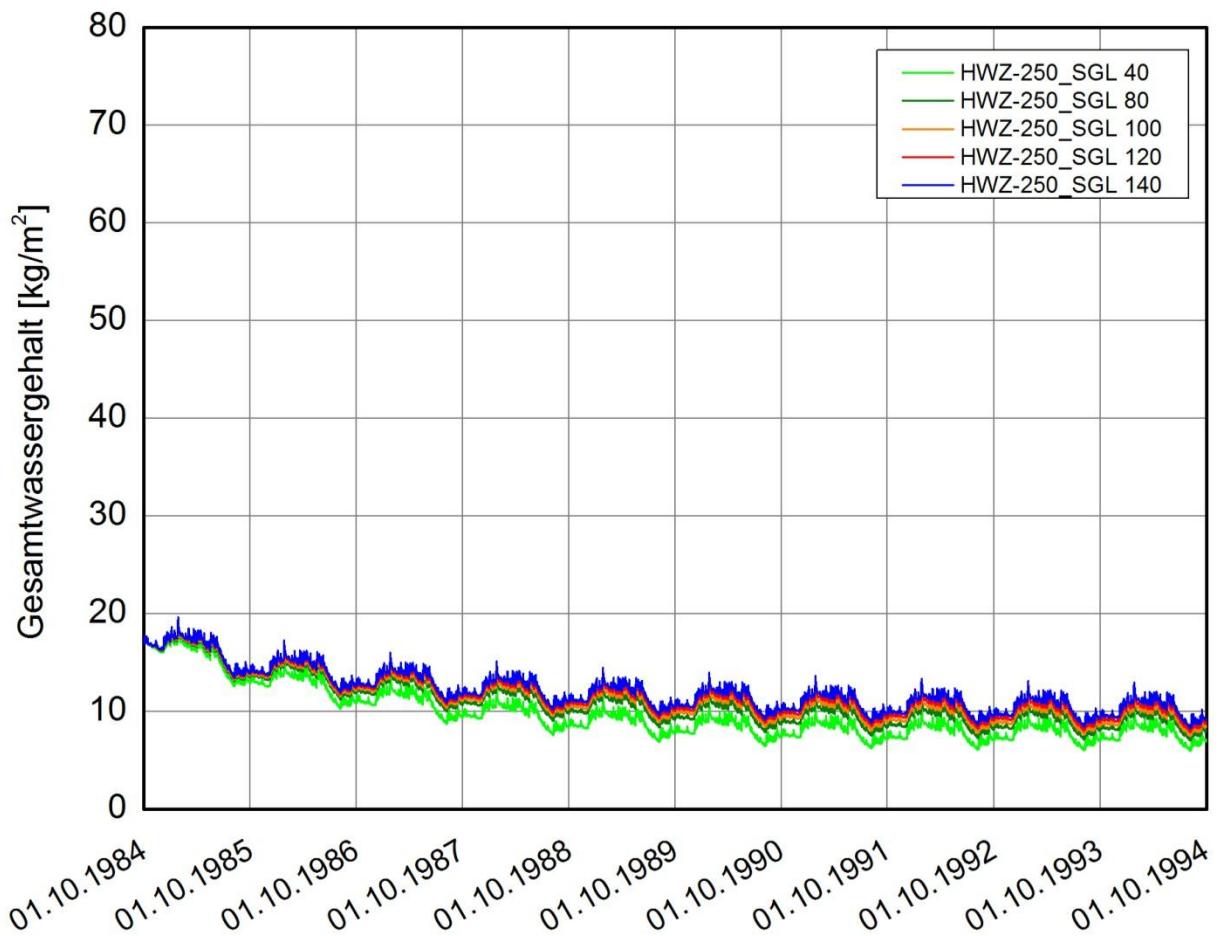
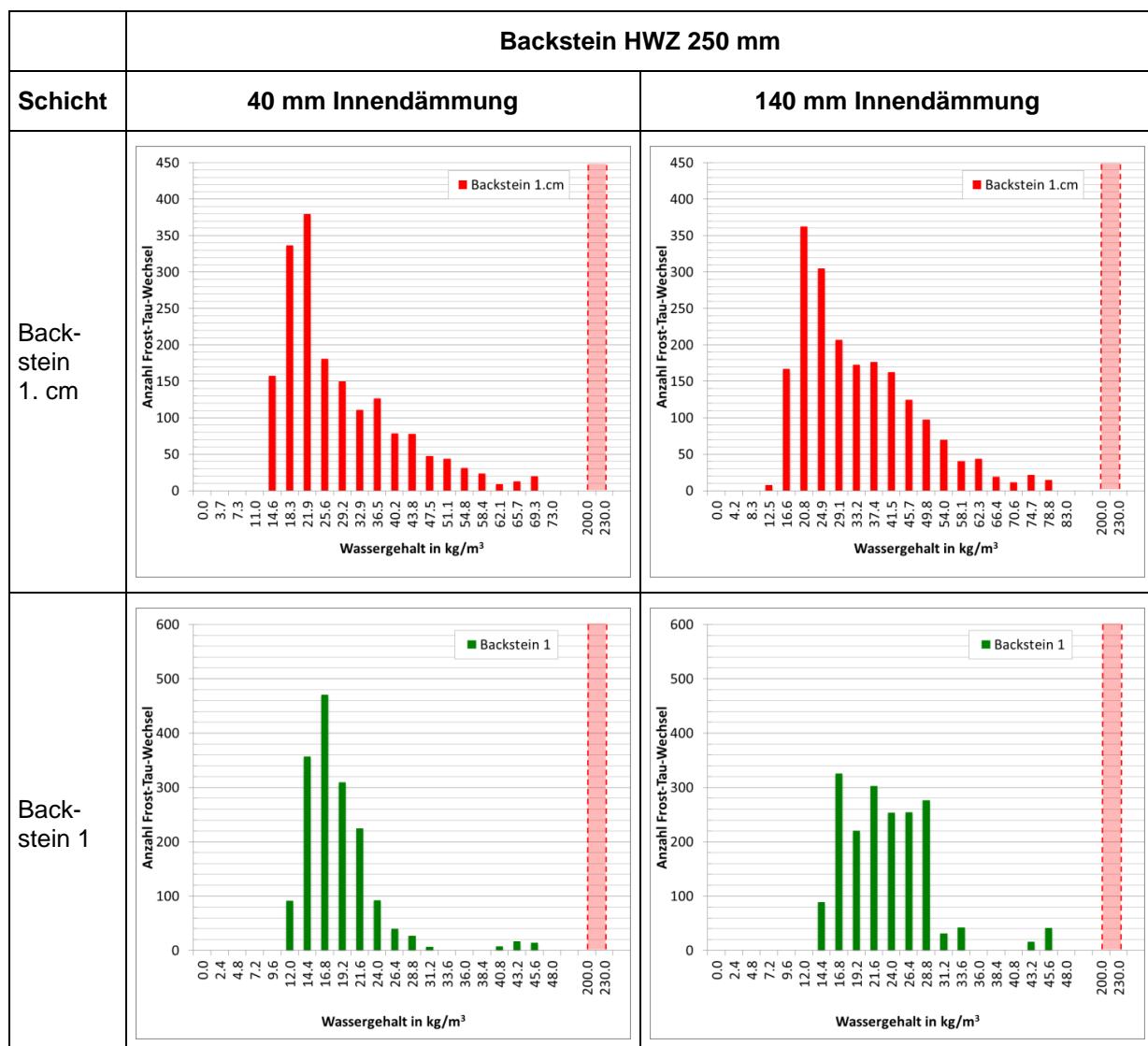


Abb. 8: Gesamtwassergehalt der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Schaumglas mit einer Dicke von 40 bis 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ).

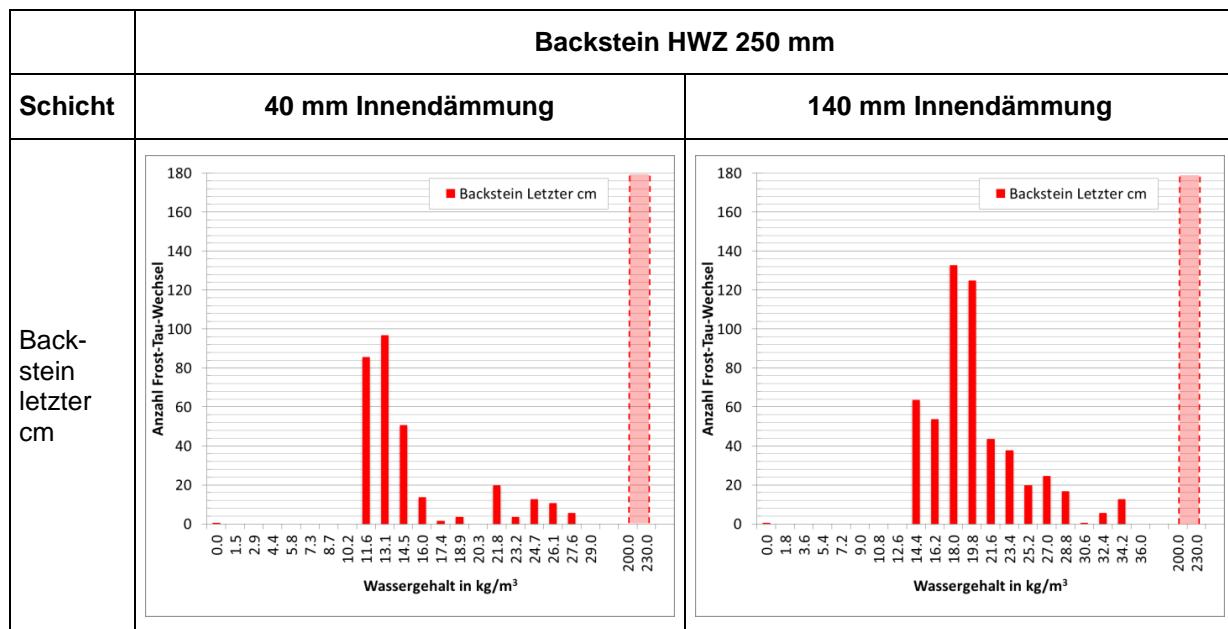
## b) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

In der nachfolgenden Tabelle wird die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel bei einem bestimmten Wassergehalt (rote und grüne Balken) mit dem kritischen Wassergehalt des Backsteintyps (hellroter Bereich) verglichen. Es ist zu erkennen, dass für alle Dicken der Innendämmung keine Frost-Tauwechsel bei Wassergehalten auftreten, die grösser als der kritische Wassergehalt des Backsteins sind. Exemplarisch sind die Werte für die geringste und für die grösste untersuchte Wärmedämmstoffdicke dargestellt.

*Tabelle 5: Berechnete Anzahl der Frost-Tau-Wechsel als Funktion des Wassergehalts beim Backsteintyp HWZ mit 250 mm Backsteindicke (Wasseraufnahmekoeffizient Außenputz  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ). Es werden jeweils die berechneten Werte für den äussersten Zentimeter, den innersten Zentimeter und den restlichen Teil des Backsteins dargestellt.*



Fortsetzung Tabelle 5



### c) Isoplethenmodell für Keimung von Schimmelpilzen

Für alle untersuchten Dicken der Wärmedämmung liegen die berechneten kritischen Oberflächenfeuchten unterhalb der LIM B I – Kurve. Die nachfolgende Abbildung zeigt exemplarisch die berechneten Werte für Schaumglas mit einer Dicke von 40 mm.

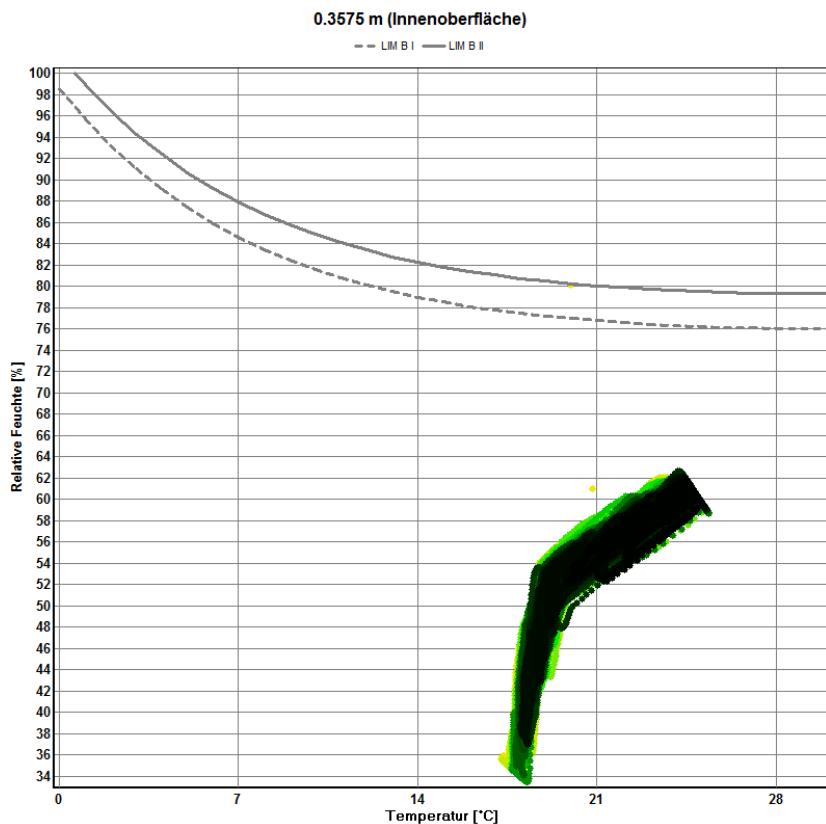


Abb. 9: Isoplethenmodell der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Schaumglas mit einer Dicke von 40 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Außenputz  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ )

### 3.4 IDS Schaumglasdämmung mit historischem Backstein HWZ - 510 mm

KONSTRUKTION													
					<ul style="list-style-type: none"> <li>Gipskartonplatte</li> <li>Bitumen-Kaltkleber</li> <li>Schaumglas</li> <li>Bitumen-Kaltkleber</li> </ul> <p>Bestand:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Innenputz</li> <li>Backstein</li> <li>Mörtelfuge</li> <li>Aussenputz</li> </ul>								
		12.5	2	40	...140	3	20	120	10	250	10	120	30
510													

MATERIALKENNDATEN					
Baustoff	$\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ J/kgK	$\lambda$ in W/mK	$\mu$ [-]	Porosität in %
Gipskartonplatte	850	850	0.2	8.3	65
Bitumenkaltkleber ( $s_d = 80$ m)	1100	1500	0.17	40 000	-
Schaumglas	120	850	0.041	100 000	25
Bitumenkaltkleber ( $s_d = 120$ m)	1100	1500	0.17	40 000	-
Kalkputz (Bestand)	1600	850	0.70	7.0	30
Backstein HWZ	1560	850	0.60	14.93	38
Kalkzementmörtel	1910	850	0.80	45.89	25
Kalkzementputz (Bestand)	1900	850	0.80	19 / 12*	24

\*beim Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0.5})$  ist  $\mu = 19.0$   
beim Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz  $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0.5})$  ist  $\mu = 12.0$

WÄRMESCHUTZ							
Kenngrösse	Einheit		Dicke Innendämmung				
		Bestand	40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$	0.85	1.89	2.87	3.35	3.84	4.33
Wärmedurchgangskoeffizient U	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	0.98	0.49	0.33	0.28	0.25	0.22

### 3.4.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein sowie die relative Feuchte an der inneren Oberfläche stellen bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  kein Problem dar. Der Gesamtwassergehalt nimmt bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  über 10 Jahre kontinuierlich ab.

Simulationen mit einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von  $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  sind im Falle der Schaumglasinnendämmung beim Backsteintyp HWZ mit 510 mm Backsteindicke nicht notwendig.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Beurteilung der Versagenskriterien für die Konstruktion.

<b>VERSAGENSKRITERIEN</b>						
(Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ )						
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung				
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 200\text{-}230 \text{ kg/m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Gesamtwassergehalt im Bauteil	Bauteil soll austrocknen	✓	✓	✓	✓	✓
Wärmeschutz	$U \leq 0.40 \text{ W/m}^2\text{K}$ (nach SIA 180:1999)	✗	✓	✓	✓	✓
	$U \leq 0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$ (nach SIA 380/1:2009)	✗	✗	✗	✓	✓

### 3.4.2 Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ )

Folgend werden die Simulationsergebnisse für einen Aussenputz mit einem Wasseraufnahmekoeffizienten von  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  dargestellt.

#### a) Gesamtwassergehalt

Der Gesamtwassergehalt nimmt im Verlauf der 10 Simulationsjahre in allen Konstruktionen kontinuierlich ab. In folgender Abbildung ist der Gesamtwassergehalt aller untersuchten Dämmstoffdicken dargestellt.

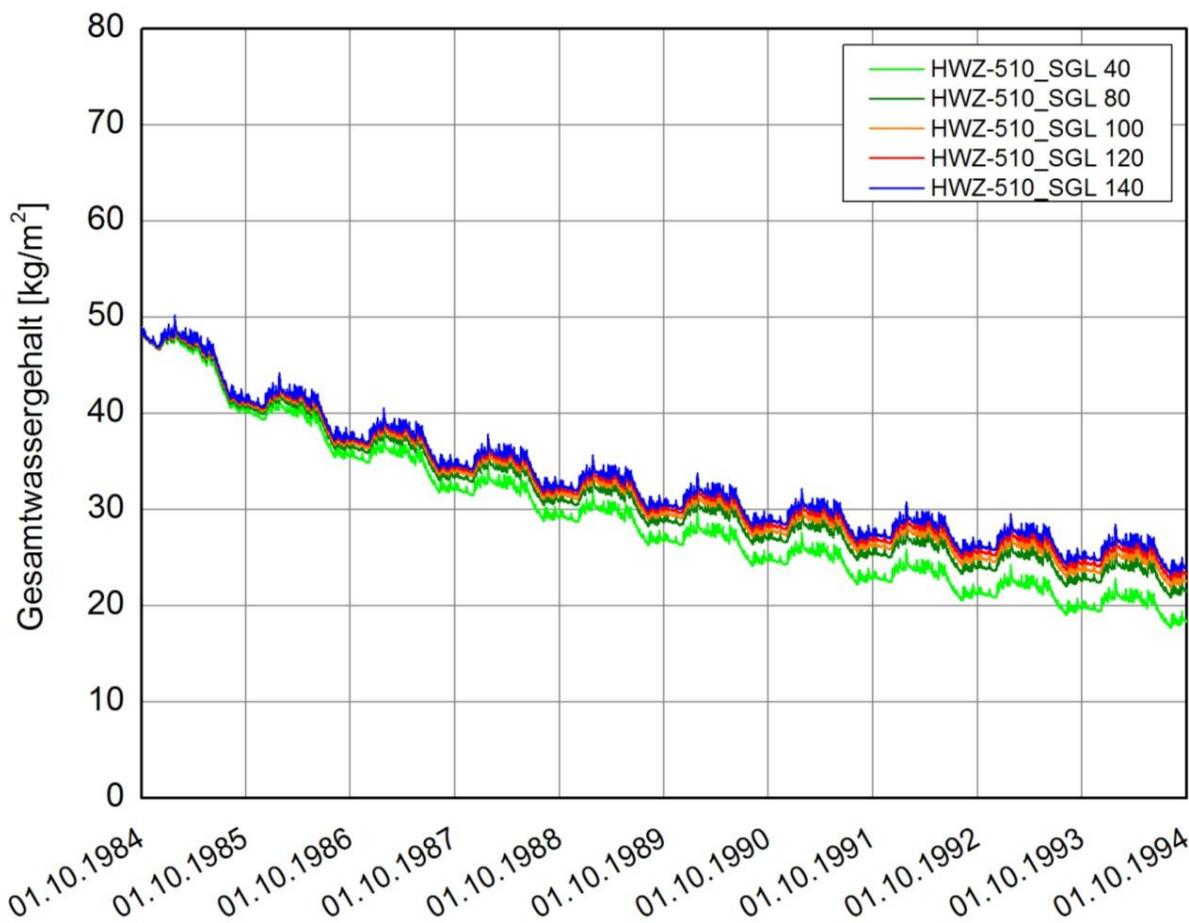
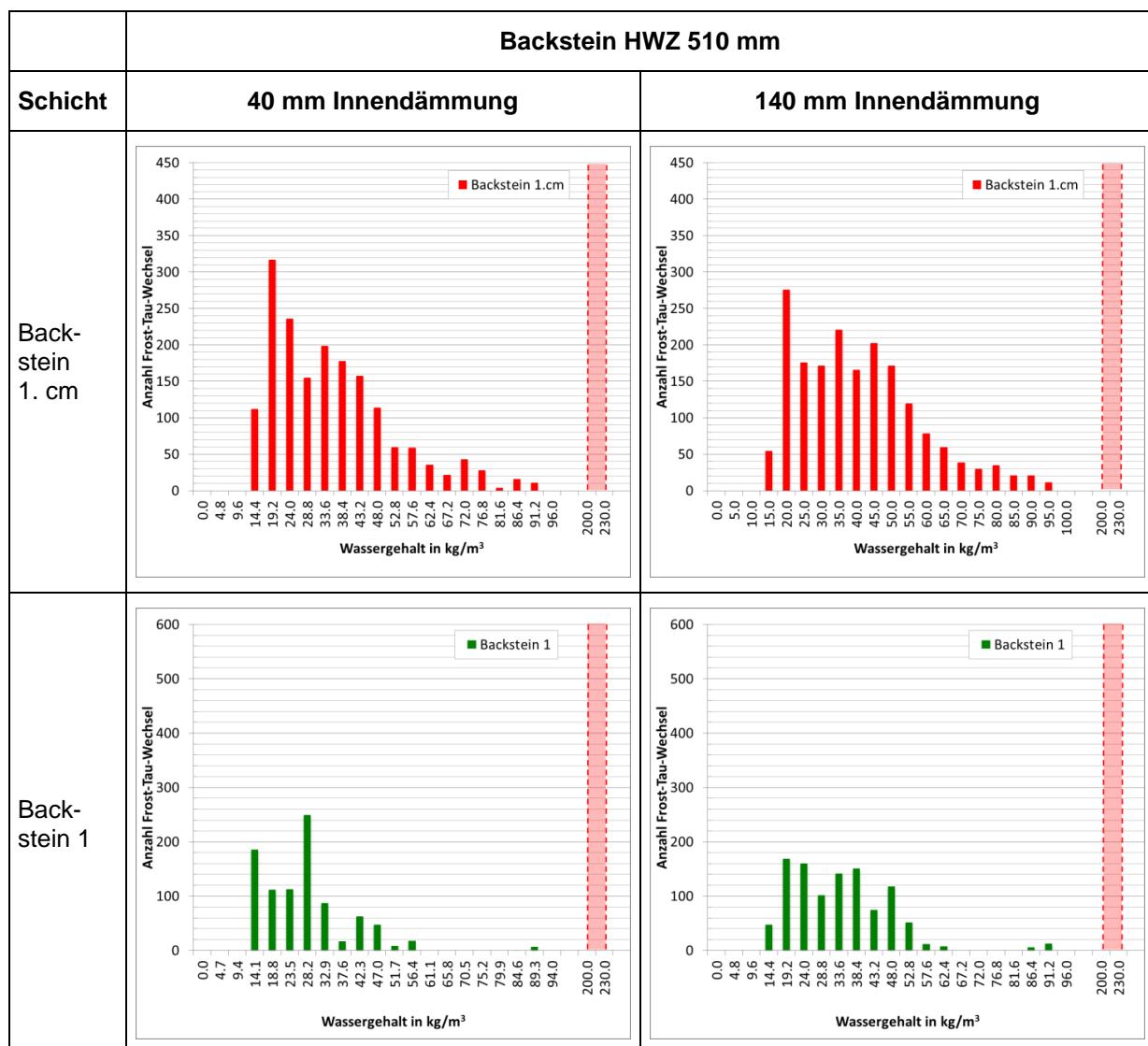


Abb. 10: Gesamtwassergehalt der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Schaumglas mit einer Dicke von 40 bis 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ).

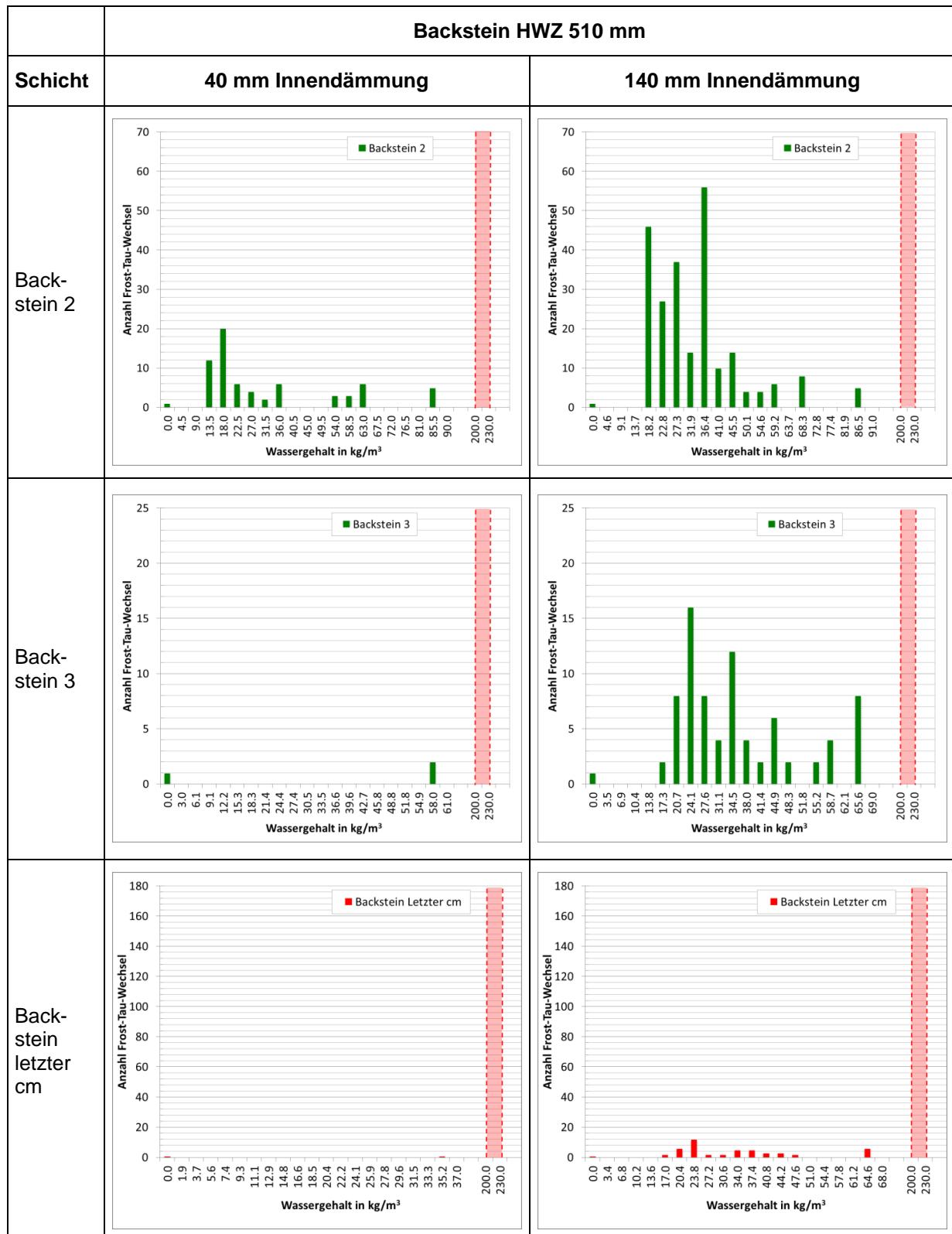
### b) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

In der nachfolgenden Tabelle wird die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel bei einem bestimmten Wassergehalt (rote und grüne Balken) mit dem kritischen Wassergehalt des Backsteintyps (hellroter Bereich) verglichen. Es ist zu erkennen, dass für alle Dicken der Innendämmung keine Frost-Tauwechsel bei Wassergehalten auftreten, die grösser als der kritische Wassergehalt des Backsteins sind. Exemplarisch sind die Werte für die geringste und für die grösste untersuchte Wärmedämmstoffdicke dargestellt.

*Tabelle 6: Berechnete Anzahl der Frost-Tau-Wechsel als Funktion des Wassergehalts beim Backsteintyp HWZ mit 510 mm Backsteindicke (Wasseraufnahmekoeffizient Außenputz  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ). Es werden jeweils die berechneten Werte für den äussersten Zentimeter, den innersten Zentimeter und den restlichen Teil des Backsteins dargestellt.*



Fortsetzung Tabelle 6



### c) Isoplethenmodell für Keimung von Schimmelpilzen

Für alle untersuchten Dicken der Wärmedämmung liegen die berechneten kritischen Oberflächenfeuchten unterhalb der LIM B I – Kurve. Die nachfolgende Abbildung zeigt exemplarisch die berechneten Werte für Schaumglas mit einer Dicke von 40 mm.

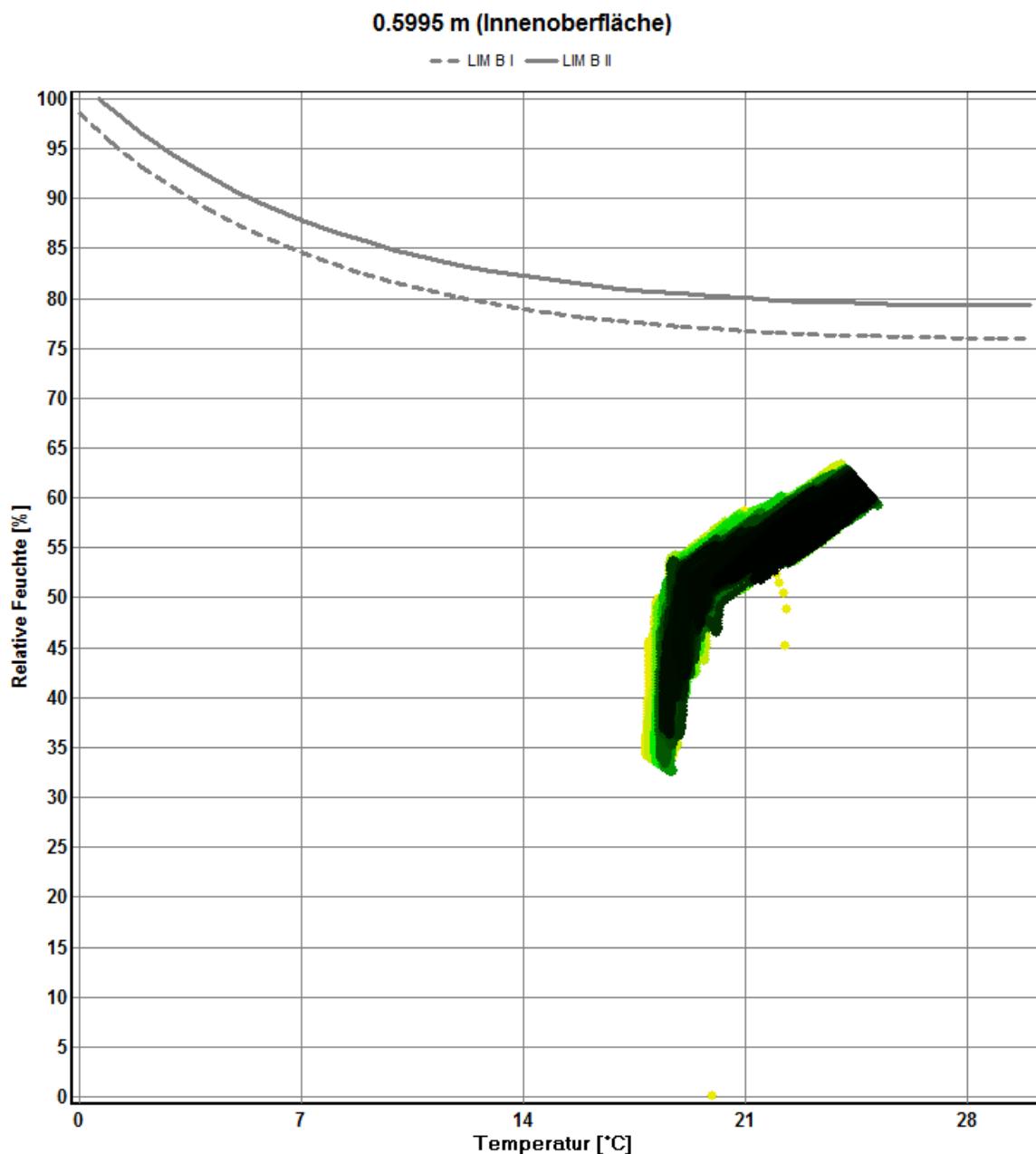


Abb. 11: Isoplethenmodell der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Schaumglas mit einer Dicke von 40 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Außenputz  $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ )