



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

ANHANG A 4: ERGEBNISKATALOG GLASWOLLEDÄMMUNG

ARBEITSPAKET 5: INNENDÄMMSYSTEME

Ergebnisse: 30.01.2013

INHALTSVERZEICHNIS

1	Versagenskriterien	4
1.1	Frostkriterium für den Backstein	4
1.2	Vermeidung von Kondensat und Schimmelpilz an der Innenoberfläche	5
1.3	Gesamtwassergehalt im Bauteil	5
1.4	Wassergehalt und relative Feuchte in der Bauteilschicht	5
1.5	Relative Feuchte an der Grenzschicht zwischen dem Innendämmsystem und der Bestandswand	6
2	Anwendung des Katalogs	7
2.1	Übersicht Innendämmsysteme	7
2.2	Randbedingungen	7
2.3	Beurteilung des Wärme- und Feuchteschutzes der untersuchen Konstruktionen	8
2.4	Anwendungsbeispiel	8
3	Ergebniskatalog (Anfangsfeuchte Profil 1)	10
3.1	IDS Glaswolle (mit XPS) mit historischem Backstein ZC - 250 mm	10
3.1.1	Zusammenfassung	11
3.1.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	12
3.1.3	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	15
3.2	IDS Glaswolle (mit XPS) mit historischem Backstein ZC - 510 mm	17
3.2.1	Zusammenfassung	18
3.2.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	19
3.2.3	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	23
3.3	IDS Glaswolle (mit XPS) mit historischem Backstein HWZ - 250 mm	25
3.3.1	Zusammenfassung	26
3.3.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	27
3.3.3	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	30
3.4	IDS Glaswolle (mit XPS) mit historischem Backstein HWZ - 510 mm	32
3.4.1	Zusammenfassung	33
3.4.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	34
3.4.3	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	38
3.5	IDS Glaswolle (mit feuchtevar. DB) mit historischem Backstein ZC - 250 mm	40
3.5.1	Zusammenfassung	41
3.5.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	43
3.5.3	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	46

3.6	IDS Glaswolle (mit feuchtevar. DB) mit historischem Backstein ZC - 510 mm	49
3.6.1	Zusammenfassung	50
3.6.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	51
3.6.3	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	55
3.7	IDS Glaswolle (mit feuchtevar. DB) mit historischem Backstein HWZ - 250 mm.....	59
3.7.1	Zusammenfassung	60
3.7.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	61
3.7.3	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	64
3.8	IDS Glaswolle (mit feuchtevar. DB) mit historischem Backstein HWZ - 510 mm.....	67
3.8.1	Zusammenfassung	68
3.8.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	69
3.8.3	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	73

1 VERSAGENSKRITERIEN

Um zu entscheiden, ob der Wärme- und Feuchteschutz für ein Innendämmsystem 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 auftauert oder gefriert. Diese Definition unterscheidet sich von der Zählweise von BENTRUP¹, 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.

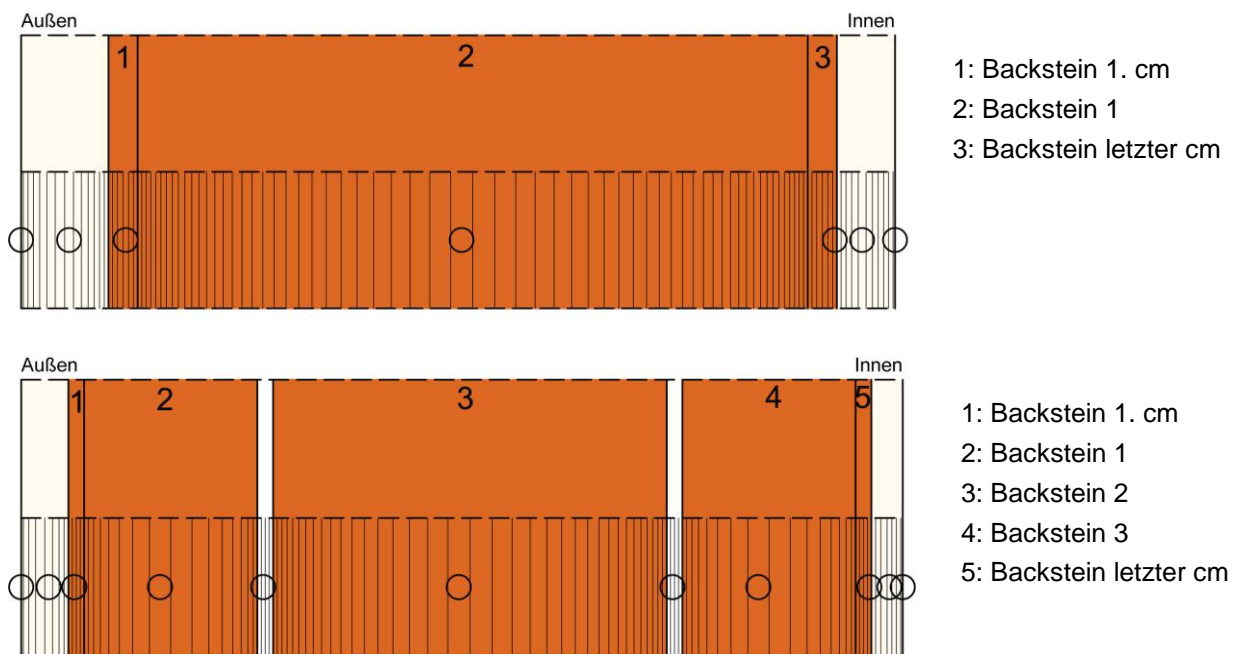


Abb. 1: Bezeichnung der Schichten zur Auswertung des Frostkriteriums für Mauerwerke der Dicke 300 mm (oben) und 560 mm (unten).

¹ 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 SEDLBAUER², 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 Steinwollendämmung ist die relative Feuchte an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung kritischer und wird deshalb nur in diesem Bereich analysiert.

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

1.5 Relative Feuchte an der Grenzschicht zwischen dem Innendämmsystem und der Bestandswand

Zur Beurteilung der relativen Feuchte der Faserdämmstoffe darf die relative Feuchte einen Wert von 80 % nicht überschreiten. Wird dieser Wert überschritten, werden zusätzlich Simulationen mit WUFI-BIO[®] durchgeführt und für die Beurteilung herangezogen.

Die Ergebnisse werden mit Hilfe des „Ampel-Systems“ in WUFI-BIO[®] interpretiert (siehe Abb. 2). Ist die Ampel rot, beträgt das Schimmelwachstum über 200 mm/Jahr. Bei gelb beträgt das Schimmelwachstum 50-200 mm/Jahr und bei grün unter 50 mm/Jahr. Da 25 Jahre der Simulation betrachtet werden, kann sich in verschiedenen Zeiträumen das Schimmelwachstum ändern. Deshalb wird ein „umschalten“ der Ampel von Rot auf Gelb als unzulässig bewertet. Wenn sich das Schimmelwachstum im Laufe von 3 Jahren auf unter 50 mm/Jahr ändert (grüne Ampel) ist das Kriterium erfüllt. Eine längere Zeitdauer wird als unzulässig beurteilt.

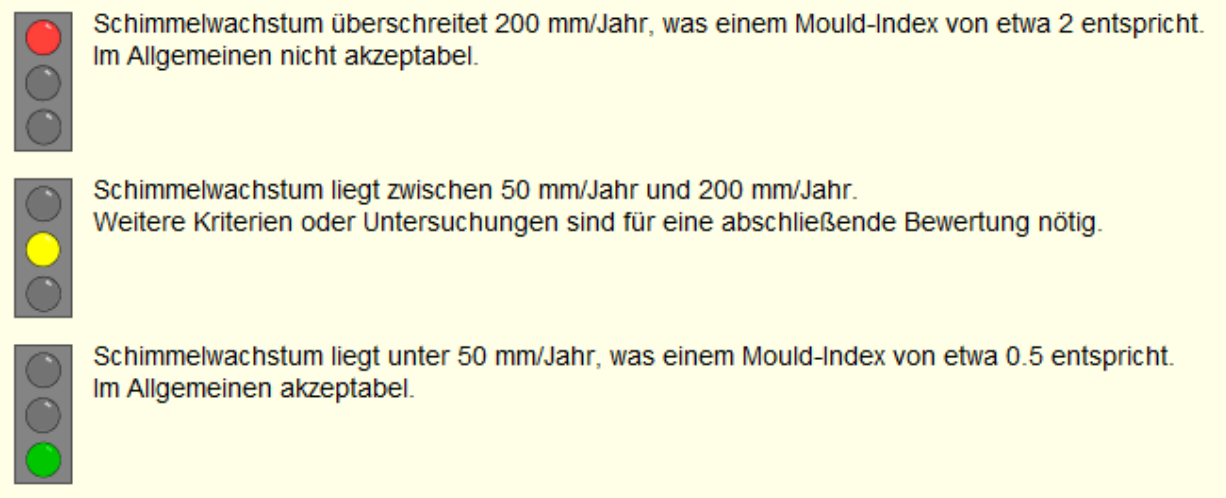


Abb. 2: „Ampel-System“ zu den Ergebnissen einer WUFI-BIO Simulation (Quelle: WUFI-Bio 3.0 Online-Hilfe)

2 ANWENDUNG DES KATALOGS

2.1 Übersicht Innendämmsysteme

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 ¹⁾ = 300 mm	d = 560 mm	d = 300 mm	d = 560 mm
Glaswolle mit Extrudierter Polystyrol-Hartschaum (XPS)	Seite 10	Seite 17	Seite 25	Seite 32
Glaswolle mit feuchtevariabler Dampfbremse	Seite 40	Seite 49	Seite 59	Seite 67
¹⁾ 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 m²W/K Innen: 0.13 m²W/K
Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes	$w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$
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 Bauteilan-schlüsse. Zudem wird bei Dämmungen, bei denen eine Unterkonstruktion notwendig ist, in den Simu-lationen nur der ungestörte Bereich der Wärmedämmung betrachtet. Die Simulationsergebnisse wer-den mit den Versagenskriterien verglichen, um zu entscheiden, ob der Wärme- und Feuchteschutz der betreffenden Bauteilschicht eingehalten ist.

2.4 Anwendungsbeispiel

Jedes Innendämmsystem wird mit unterschiedlichen Backsteintypen und Wandstärken sowie für ver-schiedenen 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 ρ , Wärmespeicherkapazität c_p , Wärmeleitfähigkeit λ , Wasserdampfdiffusionswiderstand μ sowie Porosi-tät) von innen nach aussen dargestellt.

KONSTRUKTION					
MATERIALKENNDATEN					
Baustoff	ρ in kg/m ³	c_p J/kgK	λ in W/mK	μ [-]	Porosität in %
Dampfbremse ($s_d = 1$ m)	130	2300	2.3	1000	-
Steinwolle	30	850	0.036	1.1	95
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 $w_{W,1} = 0.5 \text{ kg/m}^2 \text{ h}^{1/2}$ ist $\mu = 19.0$ beim Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w_{W,2} = 0.1 \text{ kg/m}^2 \text{ h}^{1/2}$ ist $\mu = 12.0$					

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

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

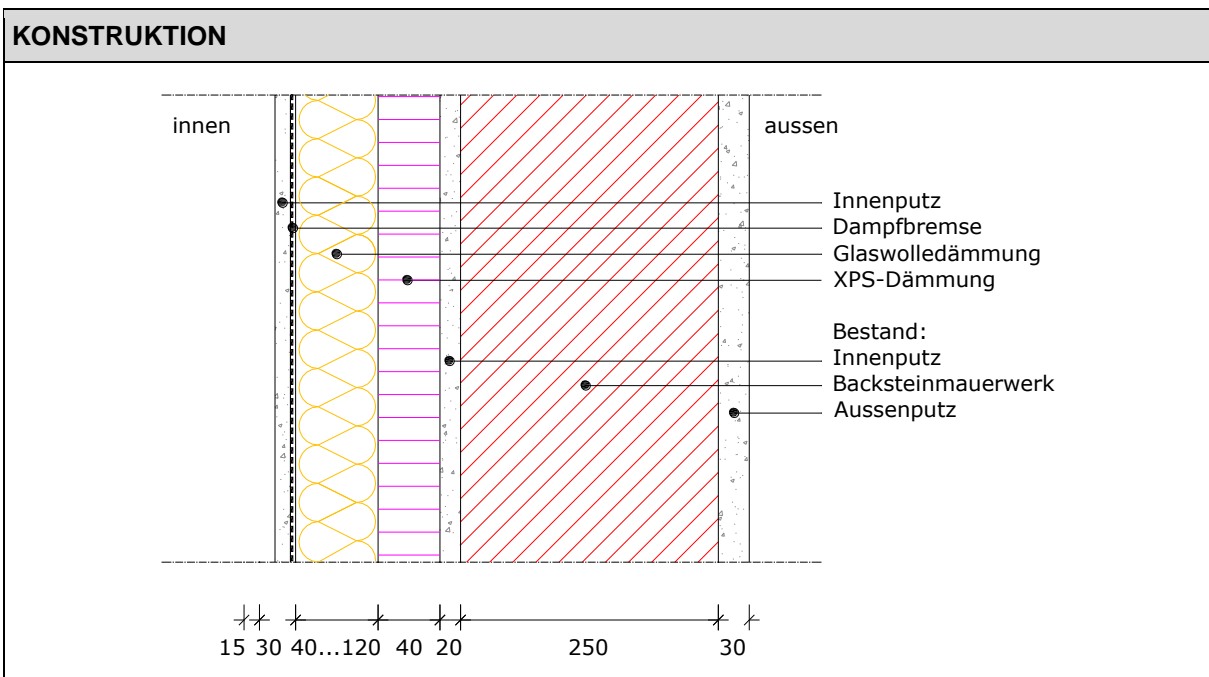
③ Danach werden die Versagenskriterien in einer Übersichtstabelle zusammengestellt und das Innendämmsystem für die verschiedenen Dicken der Wärmedämmung analysiert. ✓ bedeutet, das Kriterium wird eingehalten, ✗ bedeutet, das Kriterium wird nicht erfüllt.

VERSAGENSKRITERIEN						
(Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)						
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung				
		60 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	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte an Grenz-sicht IDS und Bestand	Relative Feuchte < 80 % / Schimmelbildung nach WUFI-BIO	✗	✗	✗	✗	✗
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)	✗	✗	✗	✗	✗

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 Glaswolle (mit XPS) mit historischem Backstein ZC - 250 mm



MATERIALKENNDATEN					
Baustoff	ρ in kg/m ³	c_p J/kgK	λ in W/mK	μ [-]	Porosität in %
Gipsputz	850	850	0.2	8.3	65
Dampfbremse ($s_d = 65$ m)	130	2300	2.3	65 000	-
Glaswolle	30	840	0.035	1.3	99
Extrudierter Polystyrol- Hartschaum (XPS)	20	1500	0.04	21.7	98
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							
Kenngrösse	Einheit		Dicke Innendämmung Glaswolle (+ 40 mm XPS)				
			Bestand	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.33	2.53	3.10	3.67	4.23	4.80
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	2.01	0.37	0.31	0.26	0.23	0.20

3.1.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein sowie die relative Feuchte an der inneren Oberfläche stellen weder bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ noch bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ein Problem dar. Dagegen überschreitet die relative Feuchte an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung die 80 % - Grenze bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$. Demnach muss der Wasseraufnahmekoeffizient auf $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ reduziert werden. Die beiden nachfolgenden Tabellen zeigen die Beurteilung der Versagenskriterien für die beiden Konstruktionen.

VERSAGENSKRITERIEN (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)						
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung Glaswolle (+ 40 mm XPS)				
		40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	120 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100\text{-}120 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte an Grenz-sicht IDS und Bestand	Relative Feuchte < 80 %	✗	✗	✗	✗	✗
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)	✗	✗	✗	✓	✓

VERSAGENSKRITERIEN (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)						
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung Glaswolle (+ 40 mm XPS)				
		40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	120 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100\text{-}120 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte an Grenz-sicht IDS und Bestand	Relative Feuchte < 80 % / Schimmelbildung nach WUFI-BIO	✓	✓	✓	✓	✓
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.

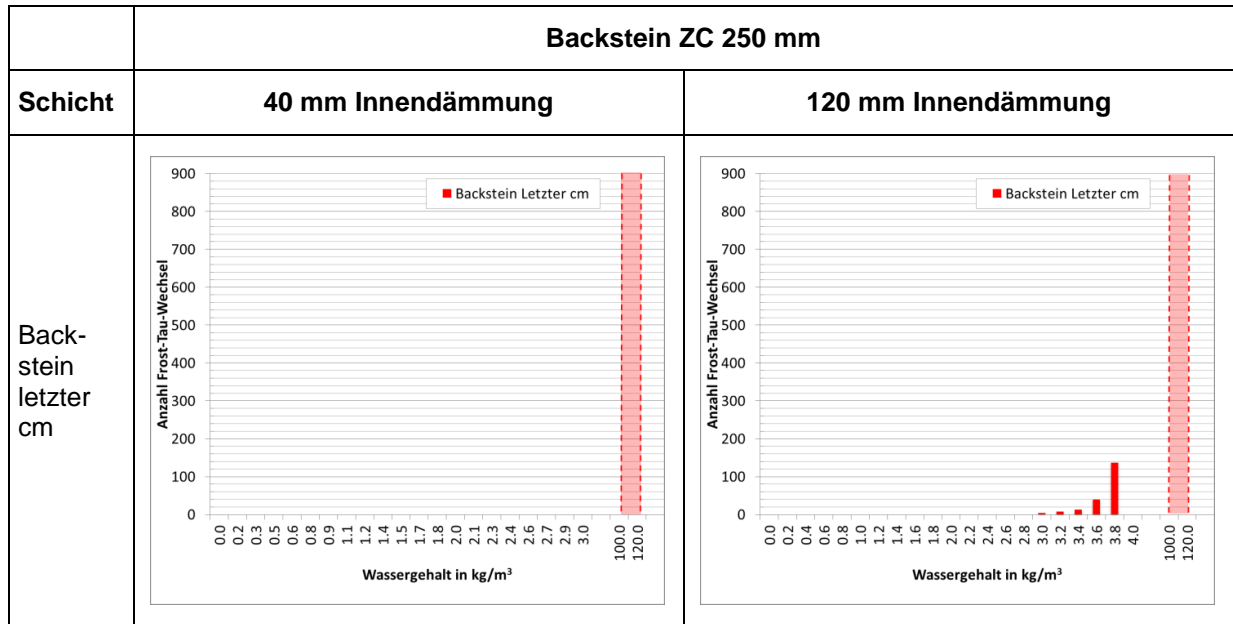
a) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

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.

	Backstein ZC 250 mm	
Schicht	40 mm Innendämmung	120 mm Innendämmung
Backstein 1. cm		
Backstein 1		

Fortsetzung Tabelle 3



b) 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 Glaswollendämmung mit einer Dicke von 40 mm.

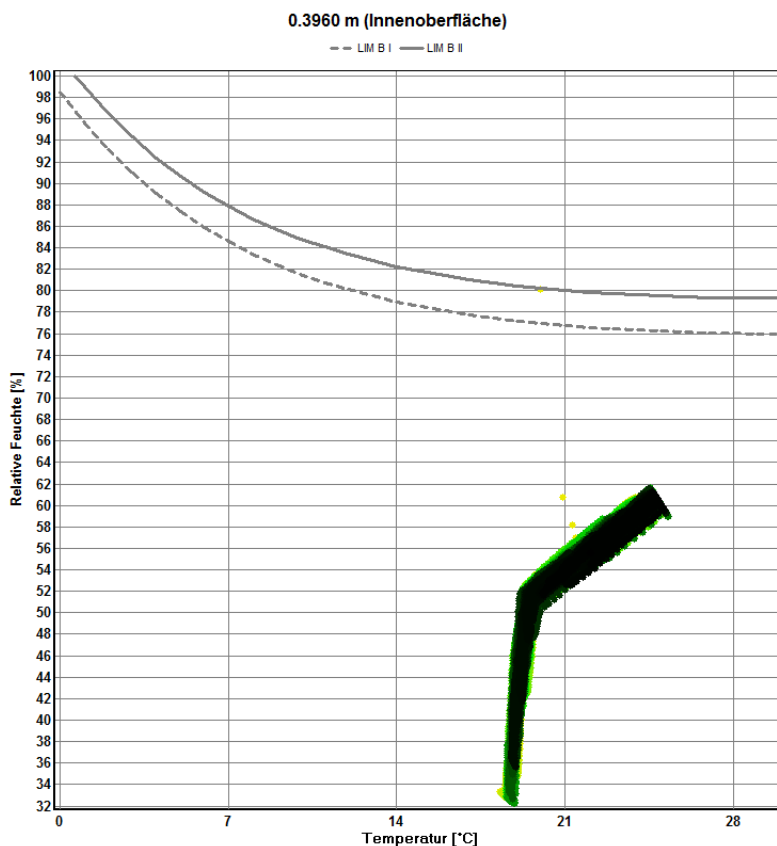


Abb. 3: Isoplethenmodell der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 mm und zusätzlich 40 mm XPS-Dämmung (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

c) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 und 120 mm Innendämmung (zusätzlich 40 mm XPS) ist während 25 Jahren die relative Feuchte über 80 % (siehe Abb. 4).

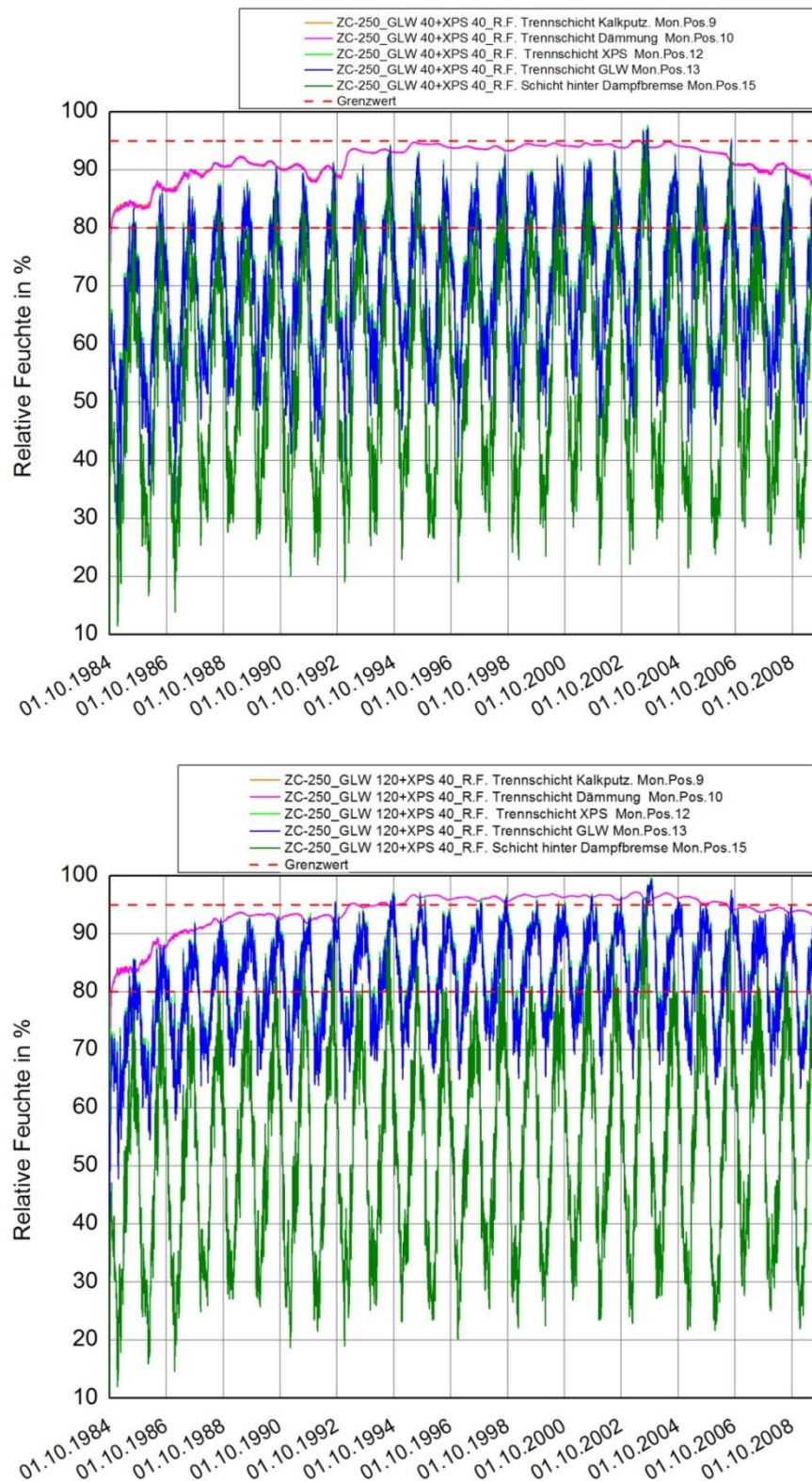


Abb. 4: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 und 120 mm und zusätzlich 40 mm XPS-Dämmung (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

Das Versagenskriterium des Frost-Tau-Wechsels wurde bei einem Wasseraufnahmekoeffizienten des Aussenputzes von $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ bei allen Wandkonstruktionen eingehalten (vgl. Abschnitt 3.1.2). Da Wassergehalt im Backstein bei $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ niedriger ist, wird das Versagenskriterium bei allen Wandkonstruktionen des Abschnitts 3.1.3 ebenfalls eingehalten.

b) 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.

c) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 und 120 mm Innendämmung (zusätzlich 40 mm XPS) reduziert sich die relative Feuchte innerhalb eines Jahres unter 80 % (siehe Abb. 5).

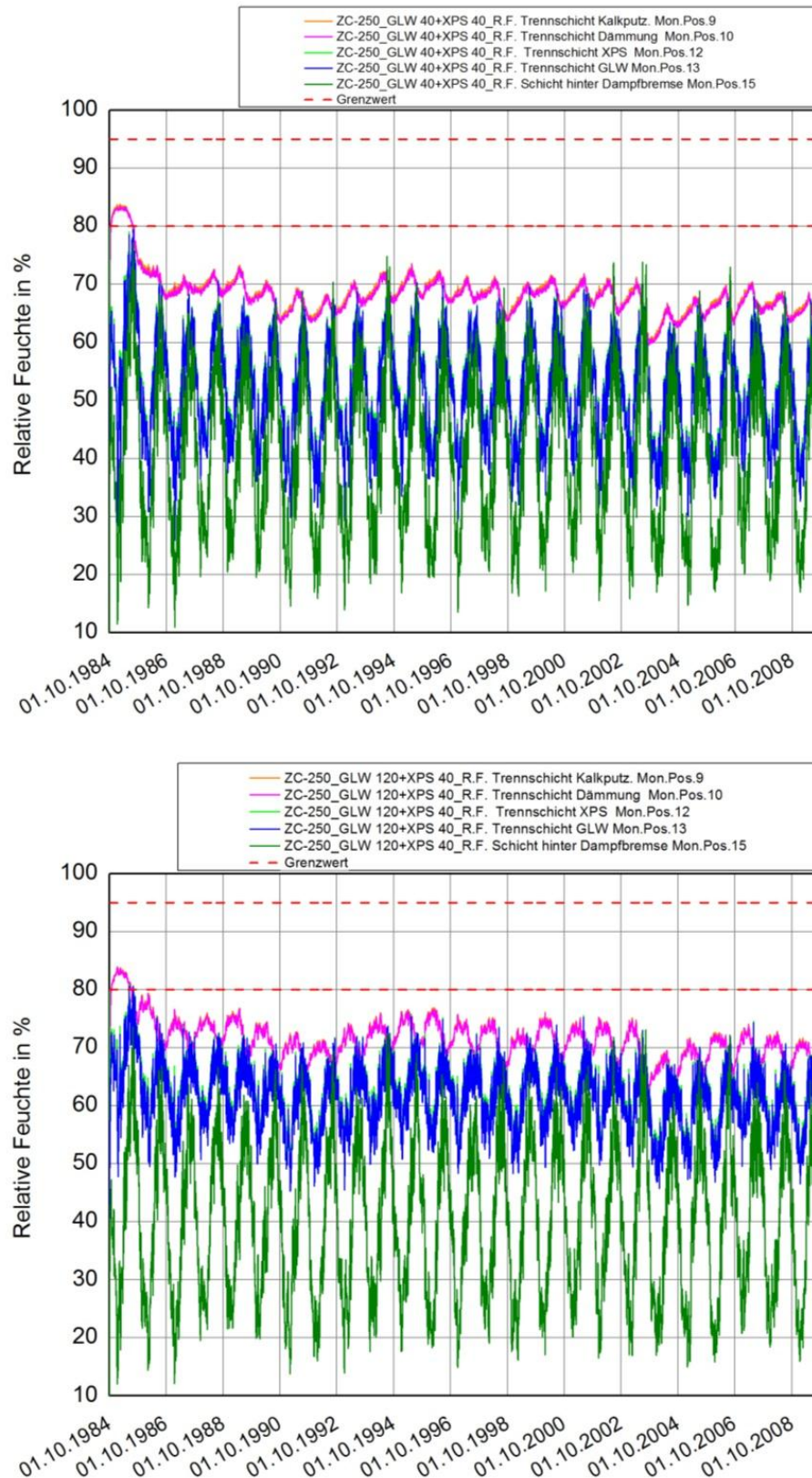
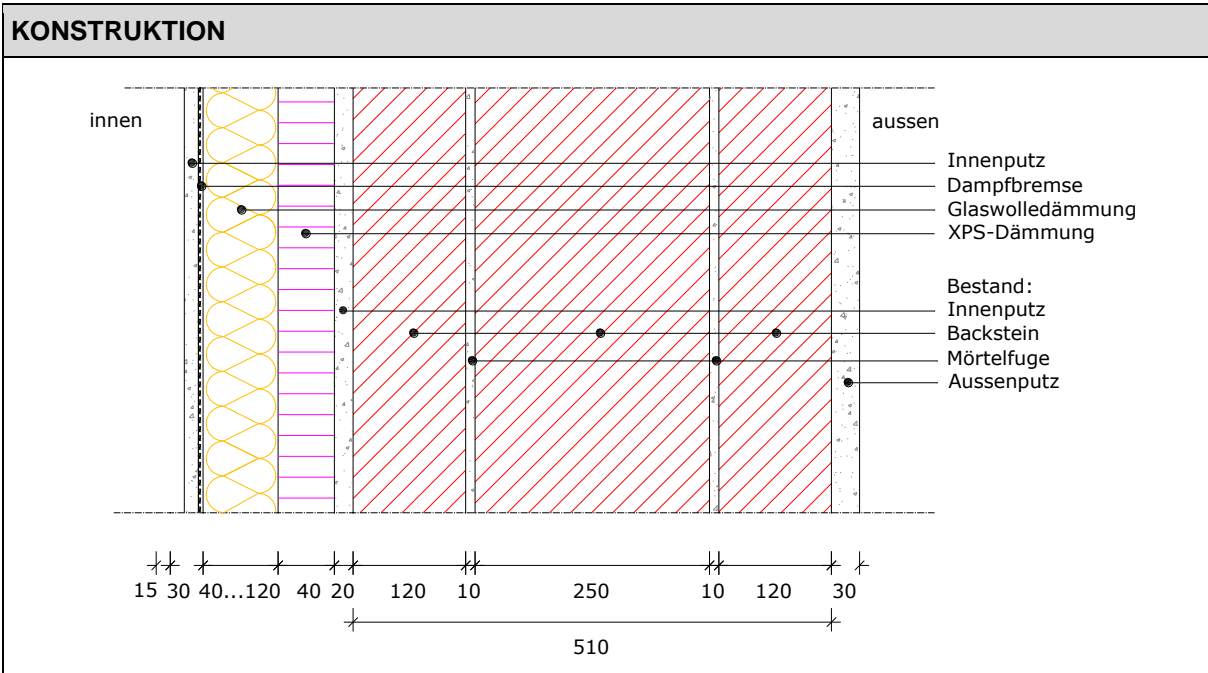


Abb. 5: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 und 120 mm und zusätzlich 40 mm XPS-Dämmung (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.2 IDS Glaswolle (mit XPS) mit historischem Backstein ZC - 510 mm



MATERIALKENNDATEN							
Baustoff	ρ in kg/m ³	c_p J/kgK	λ in W/mK	μ [-]	Porosität in %		
Gipsputz	850	850	0.2	8.3	65		
Dampfbremse (s _d = 65 m)	130	2300	2.3	65 000	-		
Glaswolle	30	840	0.035	1.3	99		
Extrudierter Polystyrol- Hartschaum (XPS)	20	1500	0.04	21.7	98		
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 kg/(m²h ^{0.5}) ist μ = 19.0 beim Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz w = 0.1 kg/(m²h ^{0.5}) ist μ = 12.0							
WÄRMESCHUTZ							
Kenngrösse	Einheit		Dicke Innendämmung Glaswolle (+ 40 mm XPS)				
			Bestand	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m²K/W	0.61	2.82	3.83	3.95	4.52	5.08
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m²K	1.28	0.34	0.28	0.24	0.21	0.19

3.2.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein sowie die relative Feuchte an der inneren Oberfläche stellen weder bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ noch bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ein Problem dar. Dagegen überschreitet die relative Feuchte an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung die 80 % - Grenze. Die beiden nachfolgenden Tabellen zeigen die Beurteilung der Versagenskriterien für die beiden Konstruktionen.

VERSAGENSKRITERIEN (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)						
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung Glaswolle (+ 40 mm XPS)				
		40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	120 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100\text{-}120 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte an Grenz-sicht IDS und Bestand	Relative Feuchte < 80 %	✗	✗	✗	✗	✗
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)	✗	✗	✓	✓	✓

VERSAGENSKRITERIEN (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)						
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung Glaswolle (+ 40 mm XPS)				
		40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	120 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100\text{-}120 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte an Grenz-sicht IDS und Bestand	Relative Feuchte < 80 % / Schimmelbildung nach WUFI-BIO	✗	✗	✗	✗	✗
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)	✗	✗	✓	✓	✓

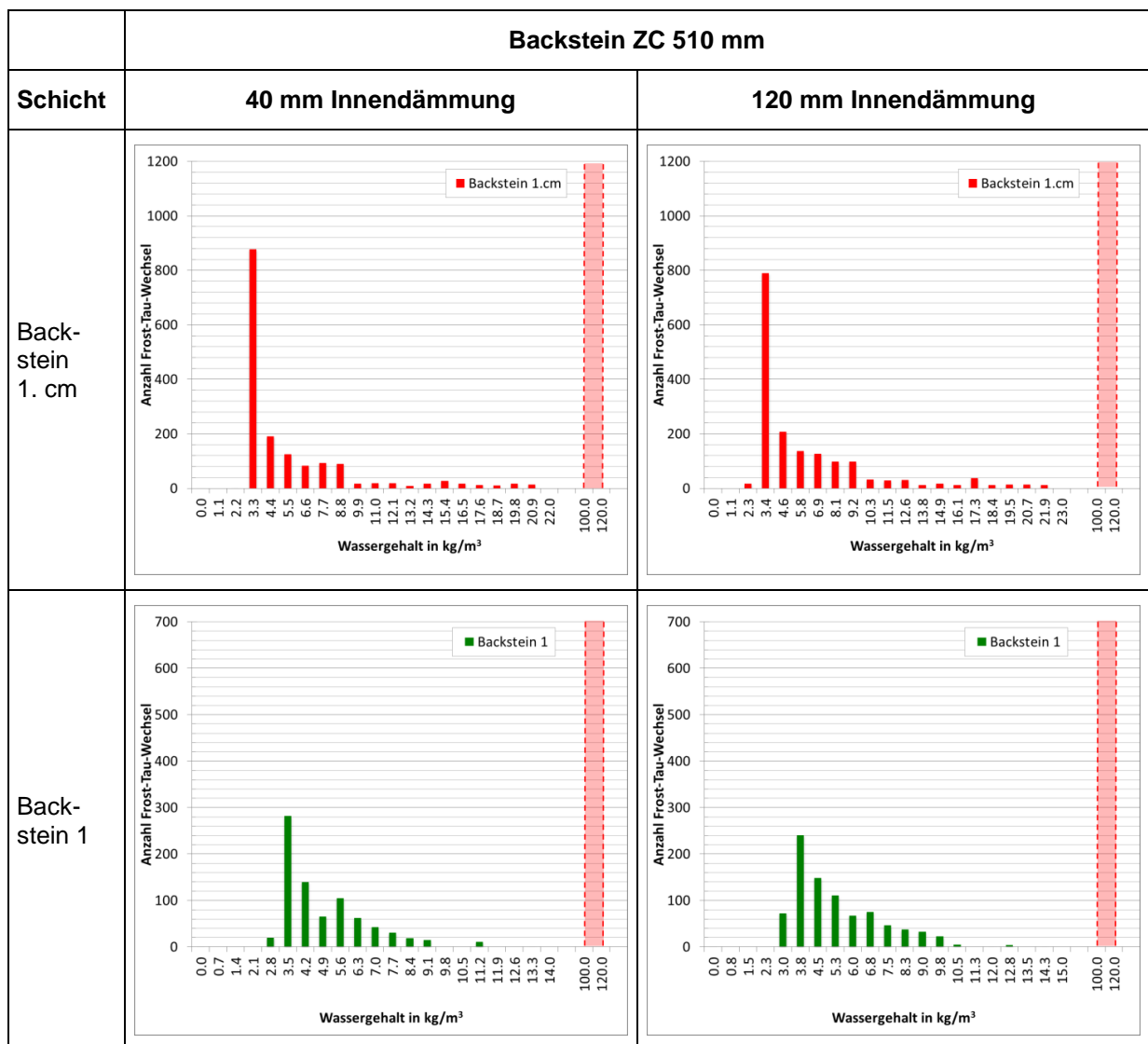
3.2.2 Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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.

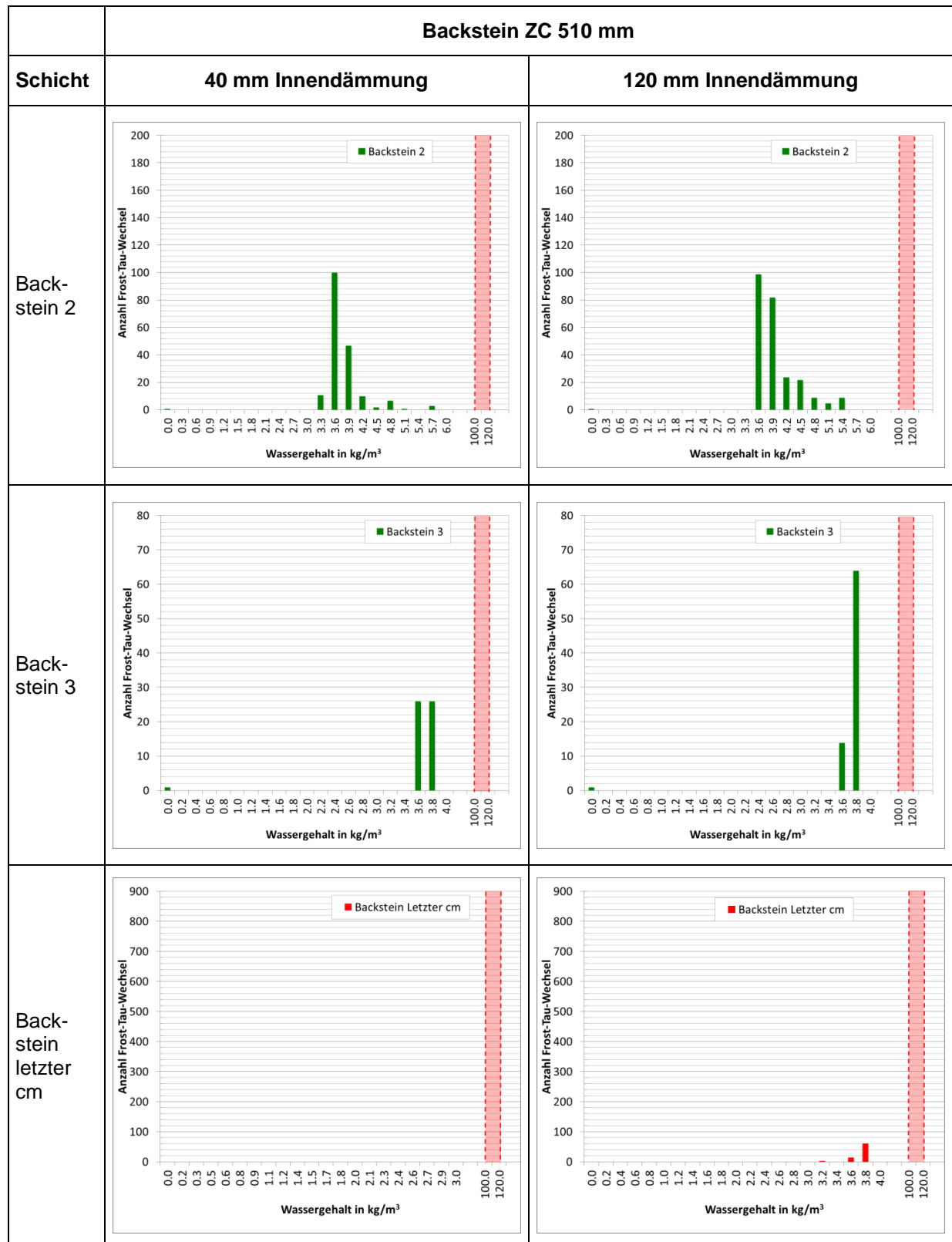
a) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

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



b) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 und 120 mm Innendämmung (zusätzlich 40 mm XPS) ist während 25 Jahren die relative Feuchte über 80 % (siehe Abb. 6).

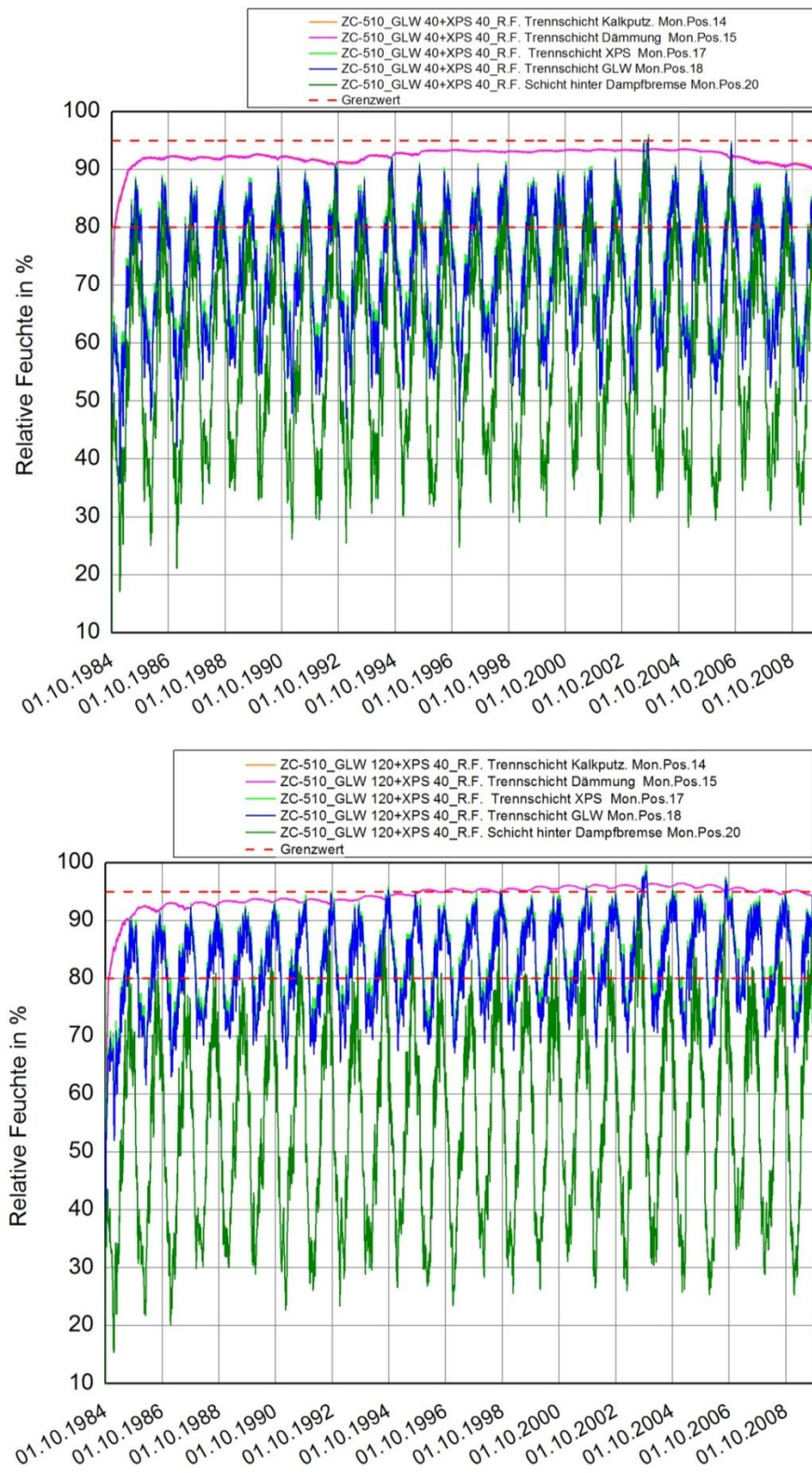


Abb. 6: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 und 120 mm und zusätzlich 40 mm XPS-Dämmung (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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 Glaswollendämmung mit einer Dicke von 40 mm.

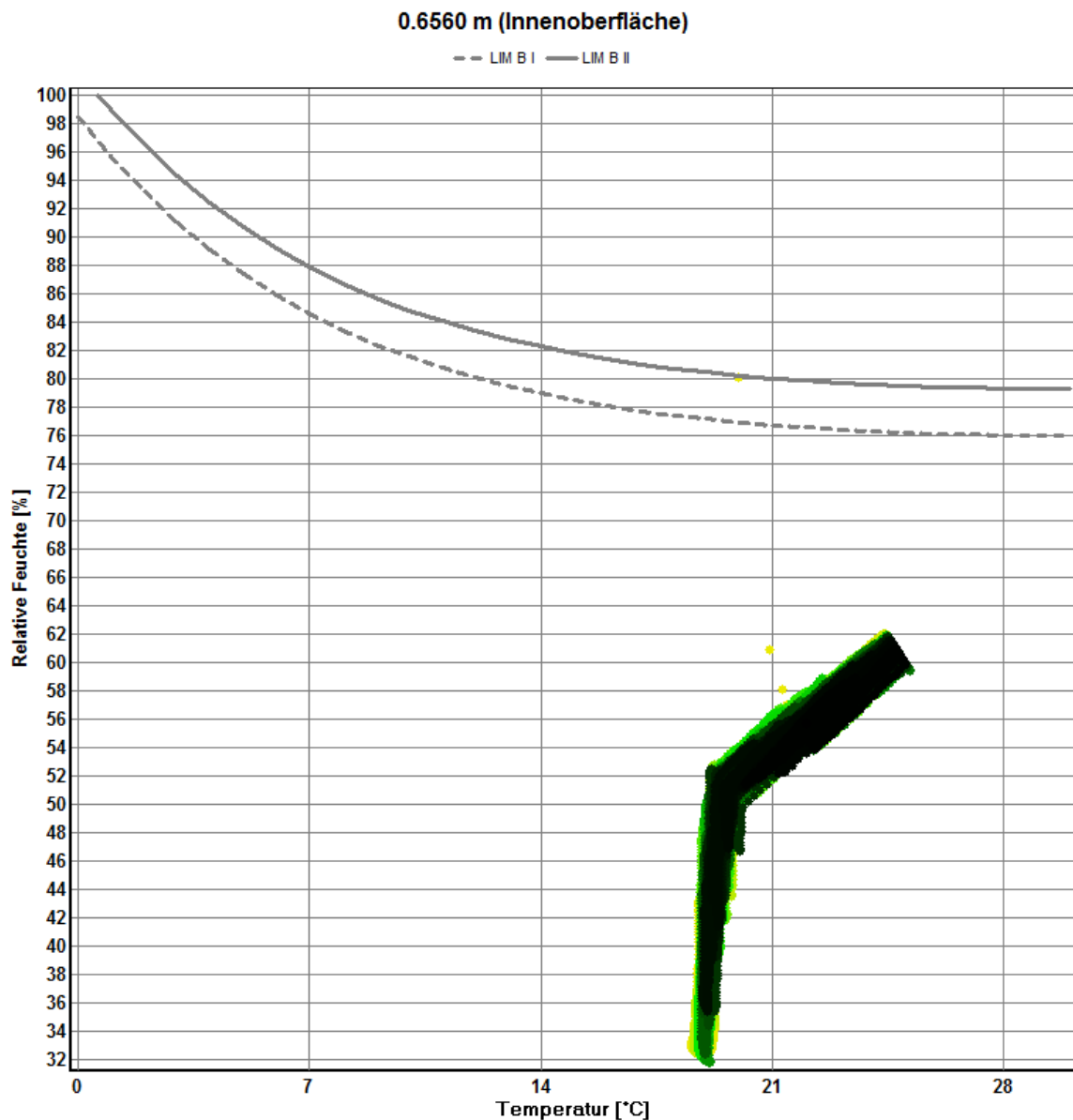


Abb. 7: Isoplethenmodell der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 mm und zusätzlich 40 mm XPS-Dämmung (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

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

b) 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 3.2.2 dargestellt.

c) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 und 120 mm Innendämmung (zusätzlich 40 mm XPS) reduziert sich die relative Feuchte nach 5 Jahren unter 80 % (siehe Abb. 8). Danach schwankt die relative Feuchte bei ca. 65 %. Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante HWZ 510 mm Backstein mit Glaswollendämmung 40 mm und zusätzlich 40 mm XPS ergibt nach 6 Jahren ein Schimmelwachstum von 50 mm/Jahr bis 200 mm/Jahr. Vorher beträgt das Wachstum über 200 mm/Jahr.

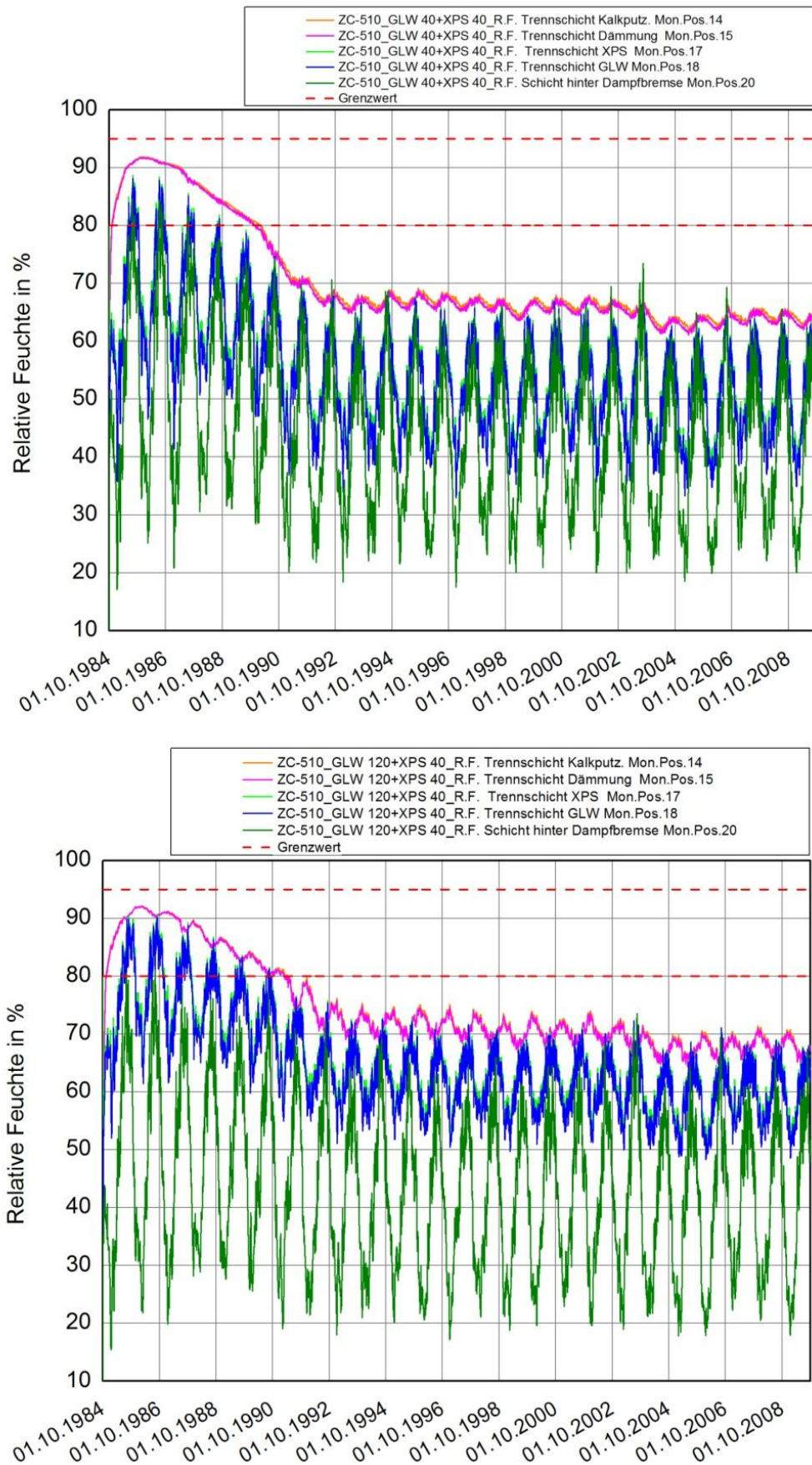
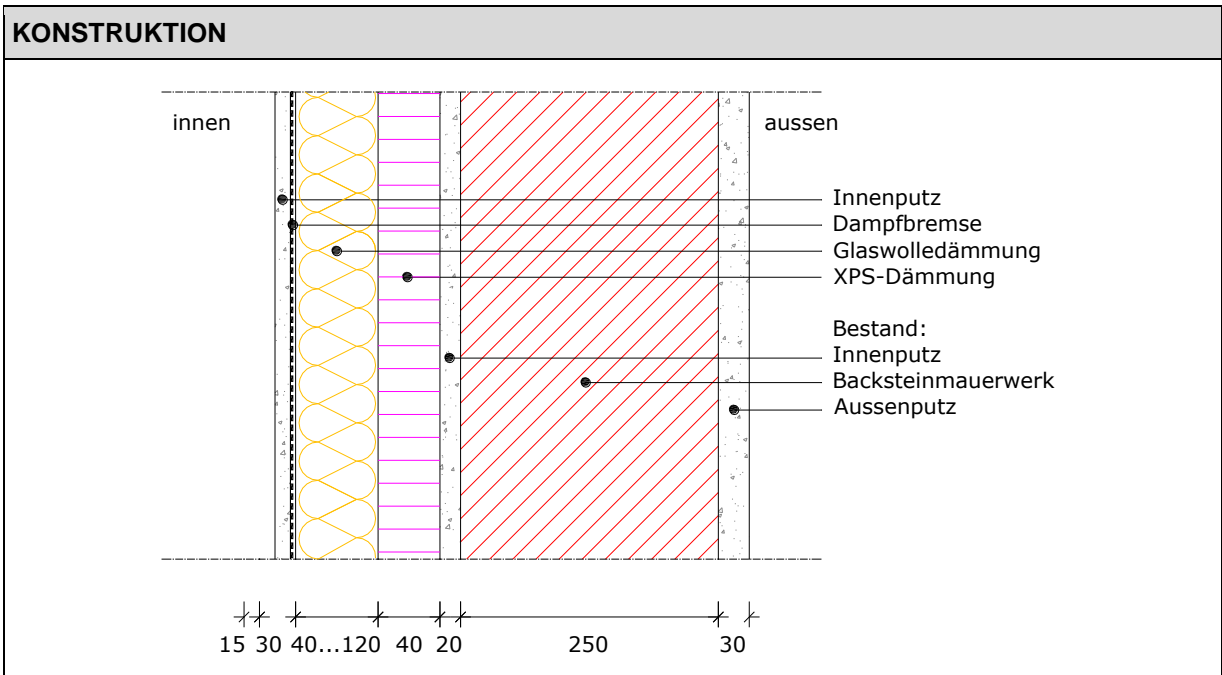


Abb. 8: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 und 120 mm und zusätzlich 40 mm XPS-Dämmung (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.3 IDS Glaswolle (mit XPS) mit historischem Backstein HWZ - 250 mm



MATERIALKENNDATEN					
Baustoff	ρ in kg/m ³	c_p J/kgK	λ in W/mK	μ [-]	Porosität in %
Gipsputz	850	850	0.2	8.3	65
Dampfbremse ($s_d = 65$ m)	130	2300	2.3	65 000	-
Glaswolle	30	840	0.035	1.3	99
Extrudierter Polystyrol- Hartschaum (XPS)	20	1500	0.04	21.7	98
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

*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 Glaswolle (+ 40 mm XPS)					
		Bestand	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	120 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.45	2.65	3.22	3.79	4.35	4.92
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	1.62	0.35	0.30	0.25	0.22	0.20

3.3.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein sowie die relative Feuchte an der inneren Oberfläche stellen weder bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ noch bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ein Problem dar. Dagegen überschreitet die relative Feuchte an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung die 80 % - Grenze. Die beiden nachfolgenden Tabellen zeigen die Beurteilung der Versagenskriterien für die beiden Konstruktionen.

VERSAGENSKRITERIEN (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)						
Kenngrosse	Bedingung	Dicke Innendämmung Glaswolle (+ 40 mm XPS)				
		40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	120 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 200\text{-}230 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte an Grenz-sicht IDS und Bestand	Relative Feuchte < 80 %	✗	✗	✗	✗	✗
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)	✗	✗	✗	✓	✓

VERSAGENSKRITERIEN (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)						
Kenngrosse	Bedingung	Dicke Innendämmung Glaswolle (+ 40 mm XPS)				
		40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	120 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 200\text{-}230 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte an Grenz-sicht IDS und Bestand	Relative Feuchte < 80 % / Schimmelbildung nach WUFI-BIO	✗	✗	✗	✗	✗
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)	✗	✗	✗	✓	✓

3.3.2 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.

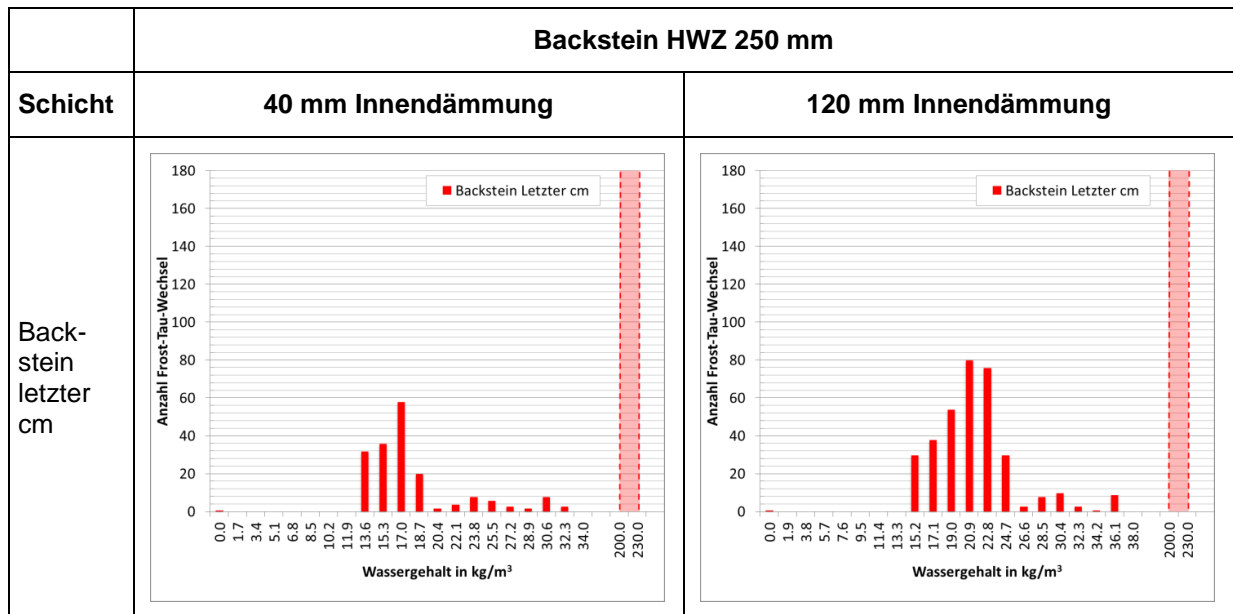
a) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

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.

	Backstein HWZ 250 mm	
Schicht	40 mm Innendämmung	120 mm Innendämmung
Backstein 1. cm		
Backstein 1		

Fortsetzung Tabelle 5



b) 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 Glaswollendämmung mit einer Dicke von 40 mm.

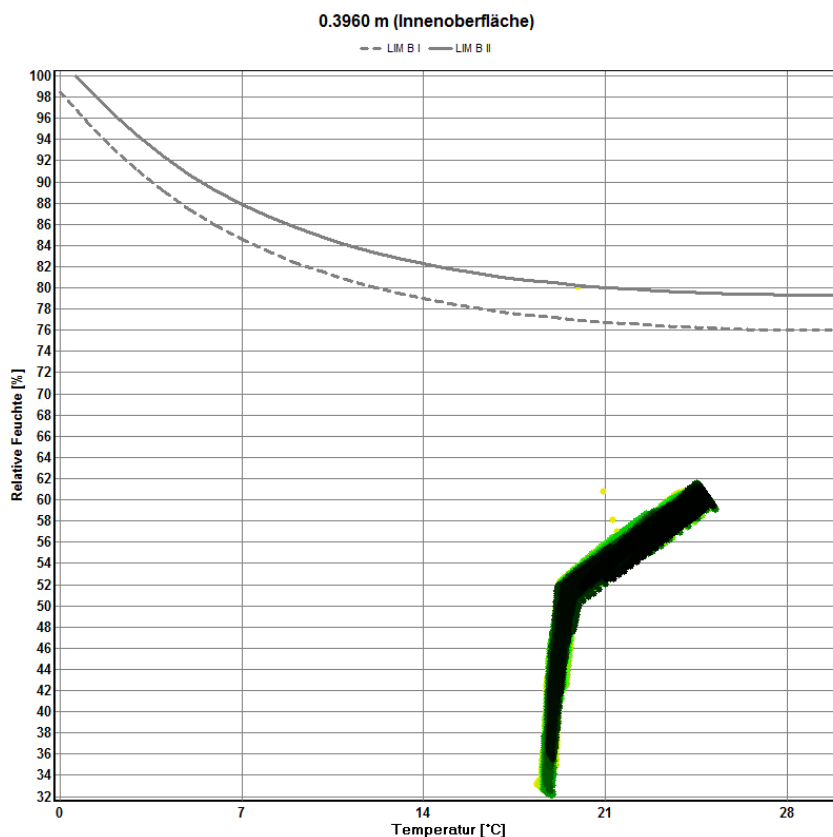


Abb. 9: Isoplethenmodell der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 mm und zusätzlich 40 mm XPS-Dämmung (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

c) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 und 120 mm Innendämmung (zusätzlich 40 mm XPS) ist während 25 Jahren die relative Feuchte über 80 % (siehe Abb. 10).

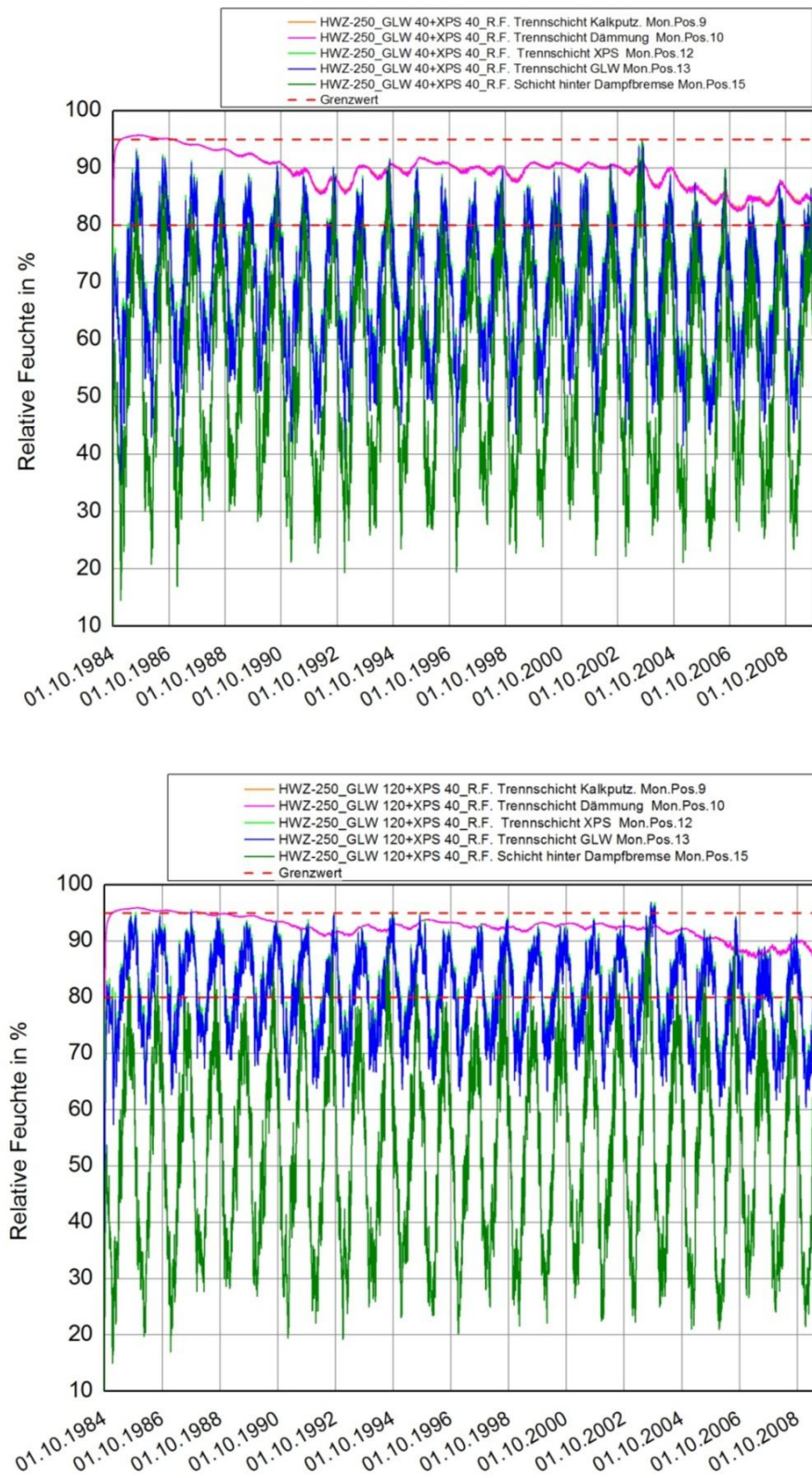


Abb. 10: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 und 120 mm und zusätzlich 40 mm XPS-Dämmung (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.3.3 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) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

Das Versagenskriterium des Frost-Tau-Wechsels wurde bei einem Wasseraufnahmekoeffizienten des Aussenputzes von $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ bei allen Wandkonstruktionen eingehalten (vgl. Abschnitt 3.3.2). Da Wassergehalt im Backstein bei $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ niedriger ist, wird das Versagenskriterium bei allen Wandkonstruktionen des Abschnitts 3.3.3 ebenfalls eingehalten.

b) 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 3.3.2 dargestellt.

c) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 und 120 mm Innendämmung (zusätzlich 40 mm XPS) reduziert sich die relative Feuchte nach 5 Jahren unter 80 % (siehe Abb. 11). Danach schwankt die relative Feuchte bei ca. 70%. Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante HWZ 250 mm Backstein mit Glaswollendämmung 40 mm und zusätzlich 40 mm XPS ergibt nach 10 Jahren ein Schimmelwachstum von 50 mm/Jahr bis 200 mm/Jahr. Vorher beträgt das Wachstum über 200 mm/Jahr.

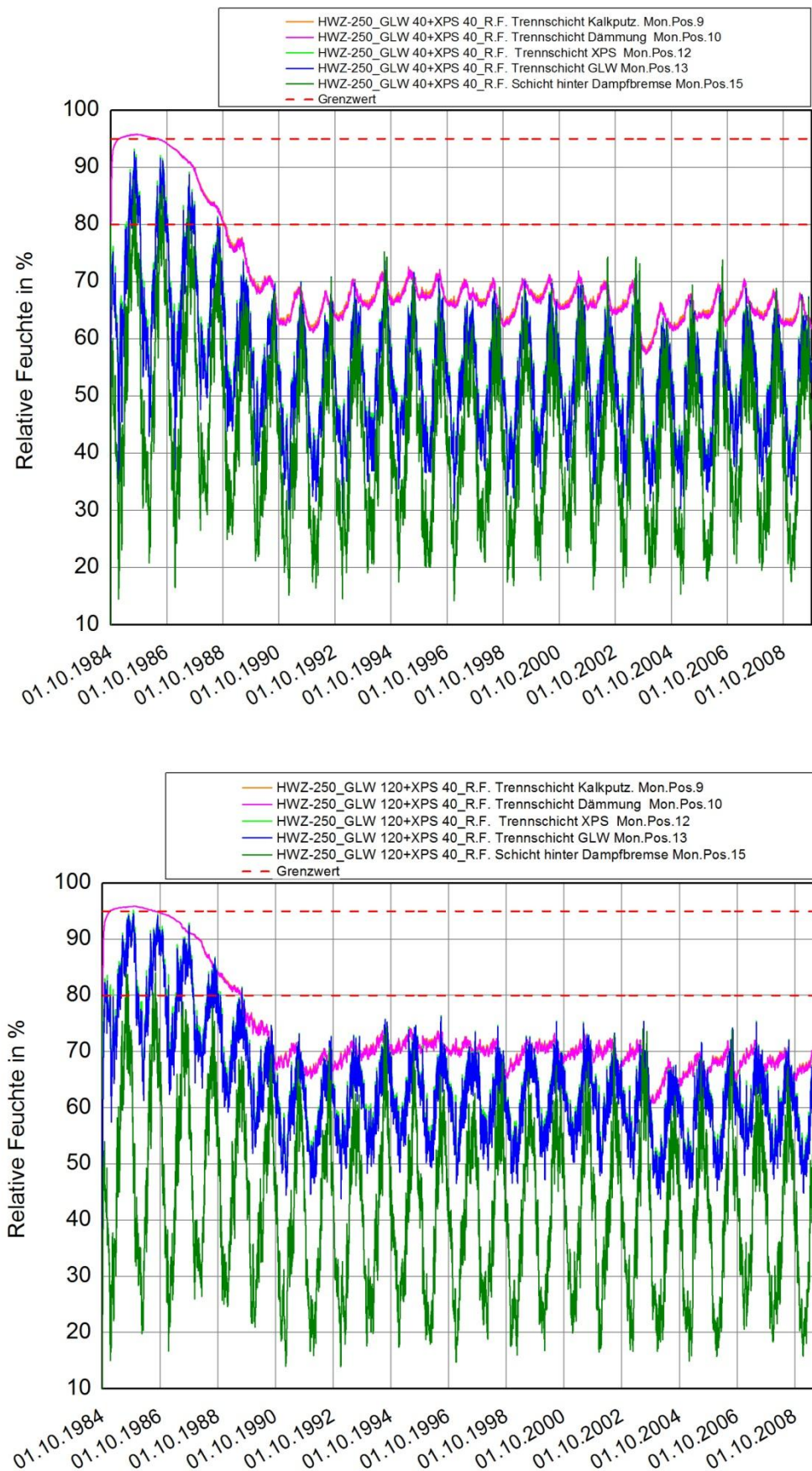
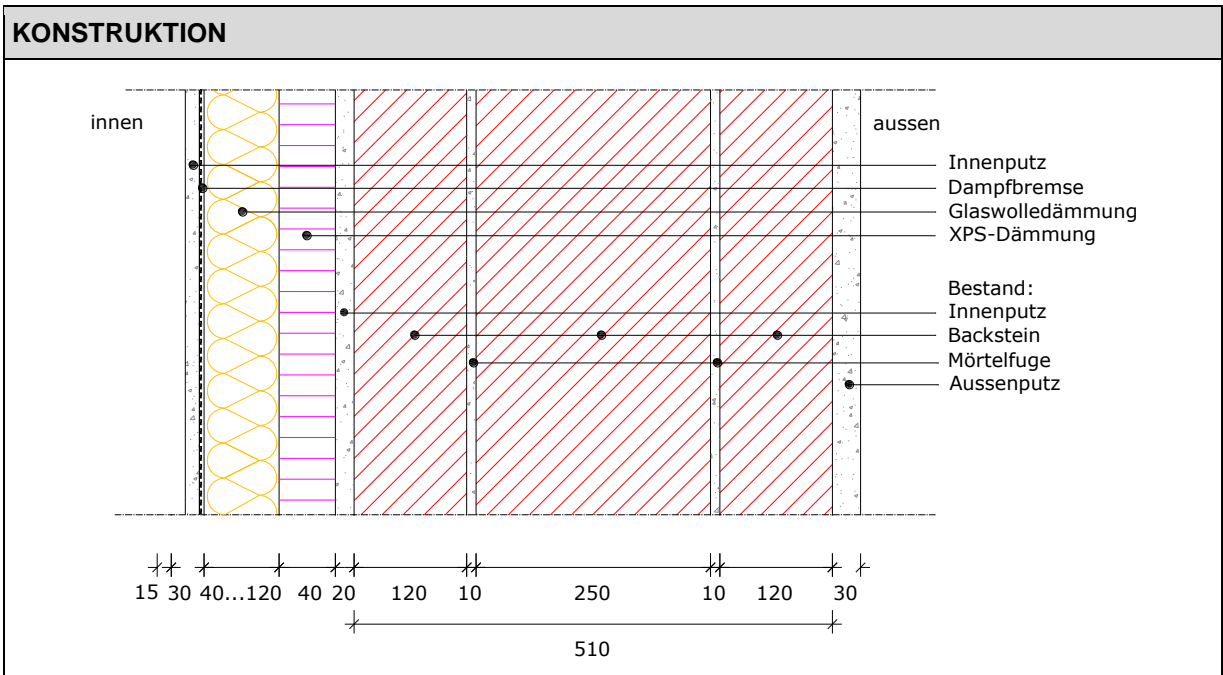


Abb. 11: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 und 120 mm und zusätzlich 40 mm XPS-Dämmung (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.4 IDS Glaswolle (mit XPS) mit historischem Backstein HWZ - 510 mm



MATERIALKENNDATEN							
Baustoff	ρ in kg/m ³	c_p J/kgK	λ in W/mK	μ [-]	Porosität in %		
Gipsputz	850	850	0.2	8.3	65		
Dampfbremse (s _d = 65 m)	130	2300	2.3	65 000	-		
Glaswolle	30	840	0.035	1.3	99		
Extrudierter Polystyrol- Hartschaum (XPS)	20	1500	0.04	21.7	98		
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 kg/(m²h ^{0.5}) ist μ = 19.0 beim Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz w = 0.1 kg/(m²h ^{0.5}) ist μ = 12.0							
WÄRMESCHUTZ							
Kenngrösse	Einheit		Dicke Innendämmung Glaswolle (+ 40 mm XPS)				
		Bestand	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	120 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m²K/W	0.85	3.05	3.62	4.18	4.75	5.32
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m²K	0.98	0.31	0.26	0.23	0.20	0.18

3.4.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein sowie die relative Feuchte an der inneren Oberfläche stellen weder bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ noch bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ein Problem dar. Dagegen überschreitet die relative Feuchte an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung die 80 % - Grenze. Die beiden nachfolgenden Tabellen zeigen die Beurteilung der Versagenskriterien für die beiden Konstruktionen.

VERSAGENSKRITERIEN (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)						
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung Glaswolle (+ 40 mm XPS)				
		40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	120 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 200\text{-}230 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte an Grenz-sicht IDS und Bestand	Relative Feuchte < 80 %	✗	✗	✗	✗	✗
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)	✗	✗	✓	✓	✓

VERSAGENSKRITERIEN (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)						
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung Glaswolle (+ 40 mm XPS)				
		40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	120 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 200\text{-}230 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte an Grenz-sicht IDS und Bestand	Relative Feuchte < 80 % / Schimmelbildung nach WUFI-BIO	✗	✗	✗	✗	✗
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)	✗	✗	✓	✓	✓

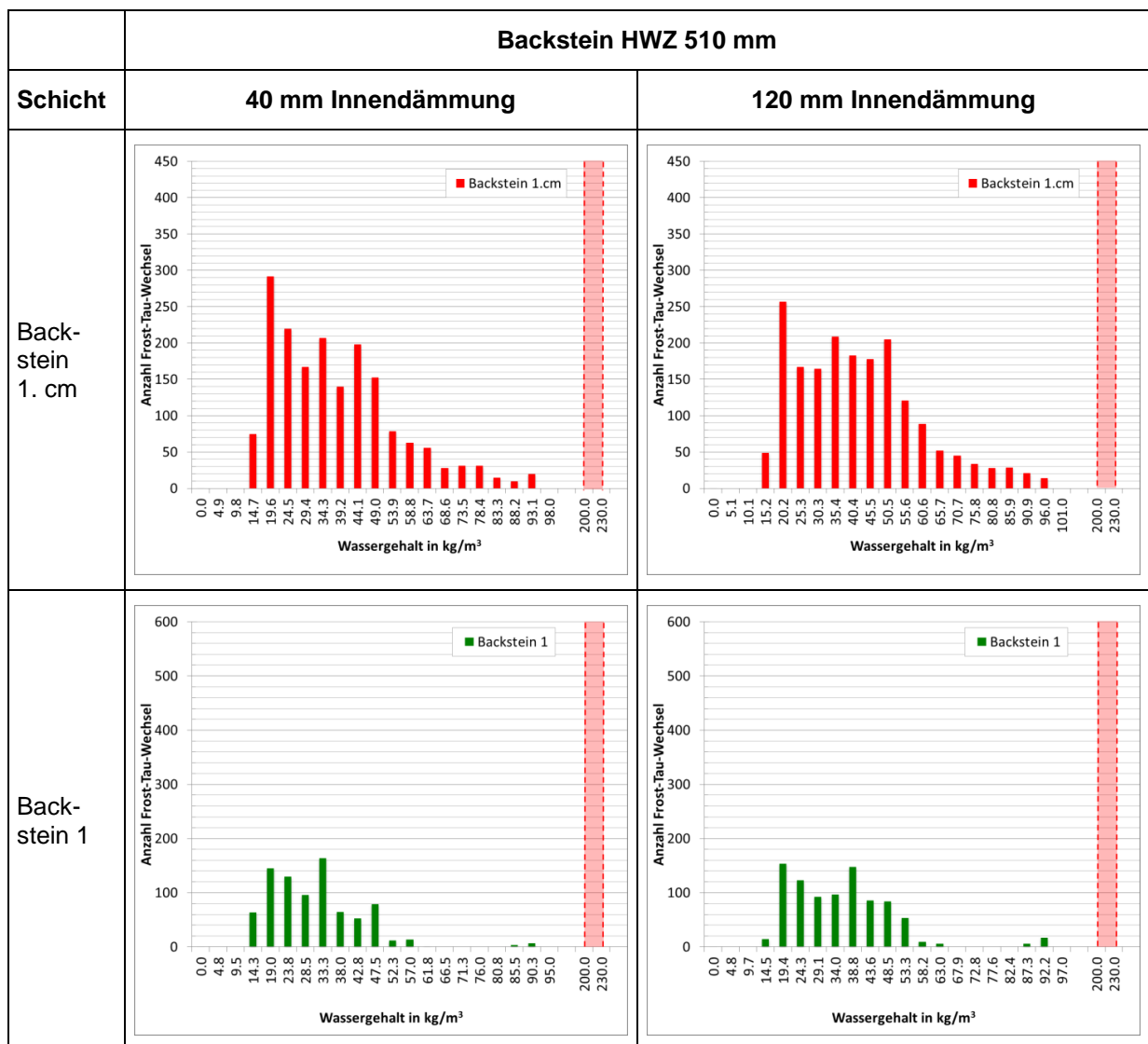
3.4.2 Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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) 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

	Backstein HWZ 510 mm	
Schicht	40 mm Innendämmung	120 mm Innendämmung
Backstein 2		
Backstein 3		
Backstein letzter cm		

b) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 und 120 mm Innendämmung (zusätzlich 40 mm XPS) ist während 25 Jahren die relative Feuchte über 80 % (siehe Abb. 12).

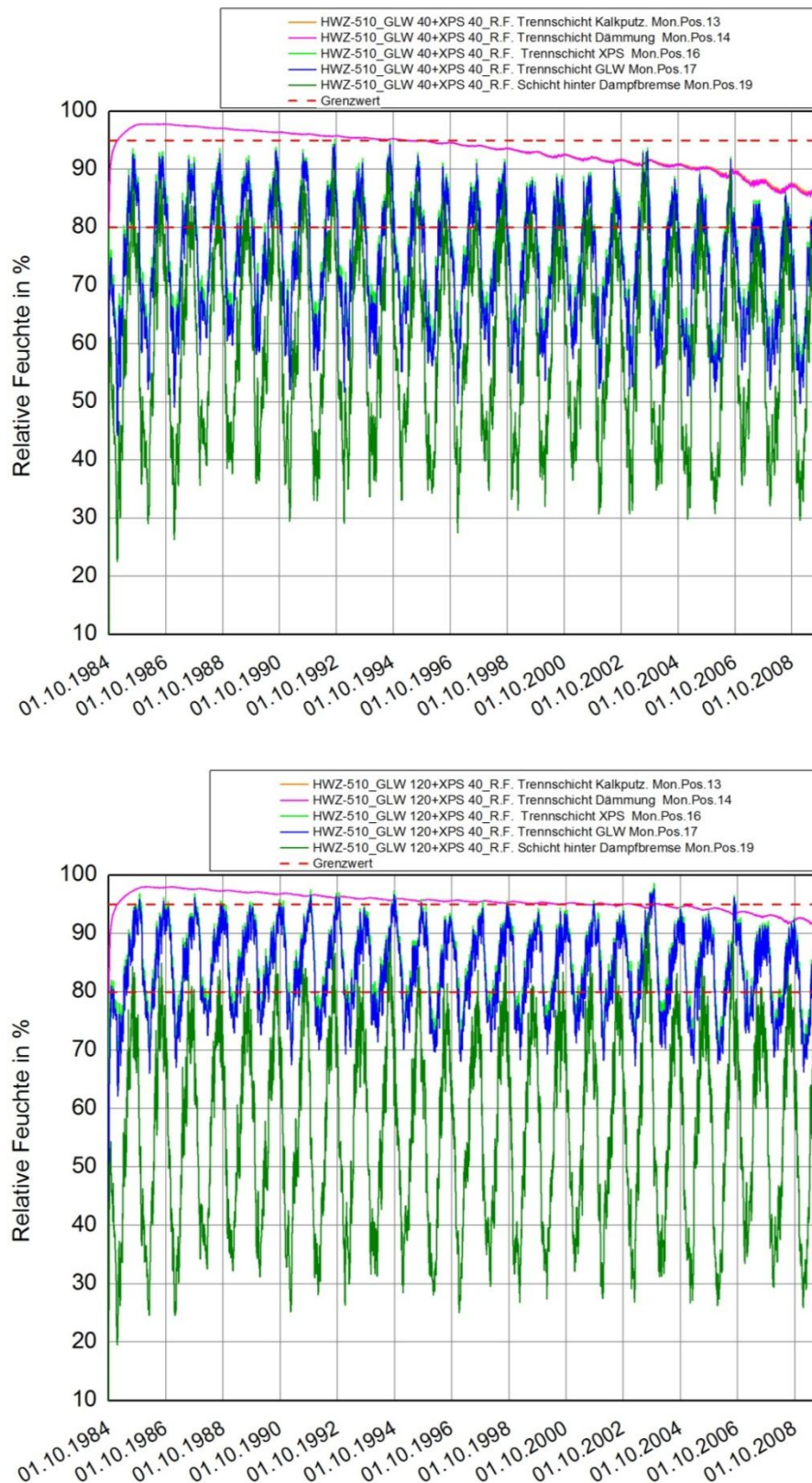


Abb. 12: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 und 120 mm und zusätzlich 40 mm XPS-Dämmung (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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 Glaswollendämmung mit einer Dicke von 40 mm.

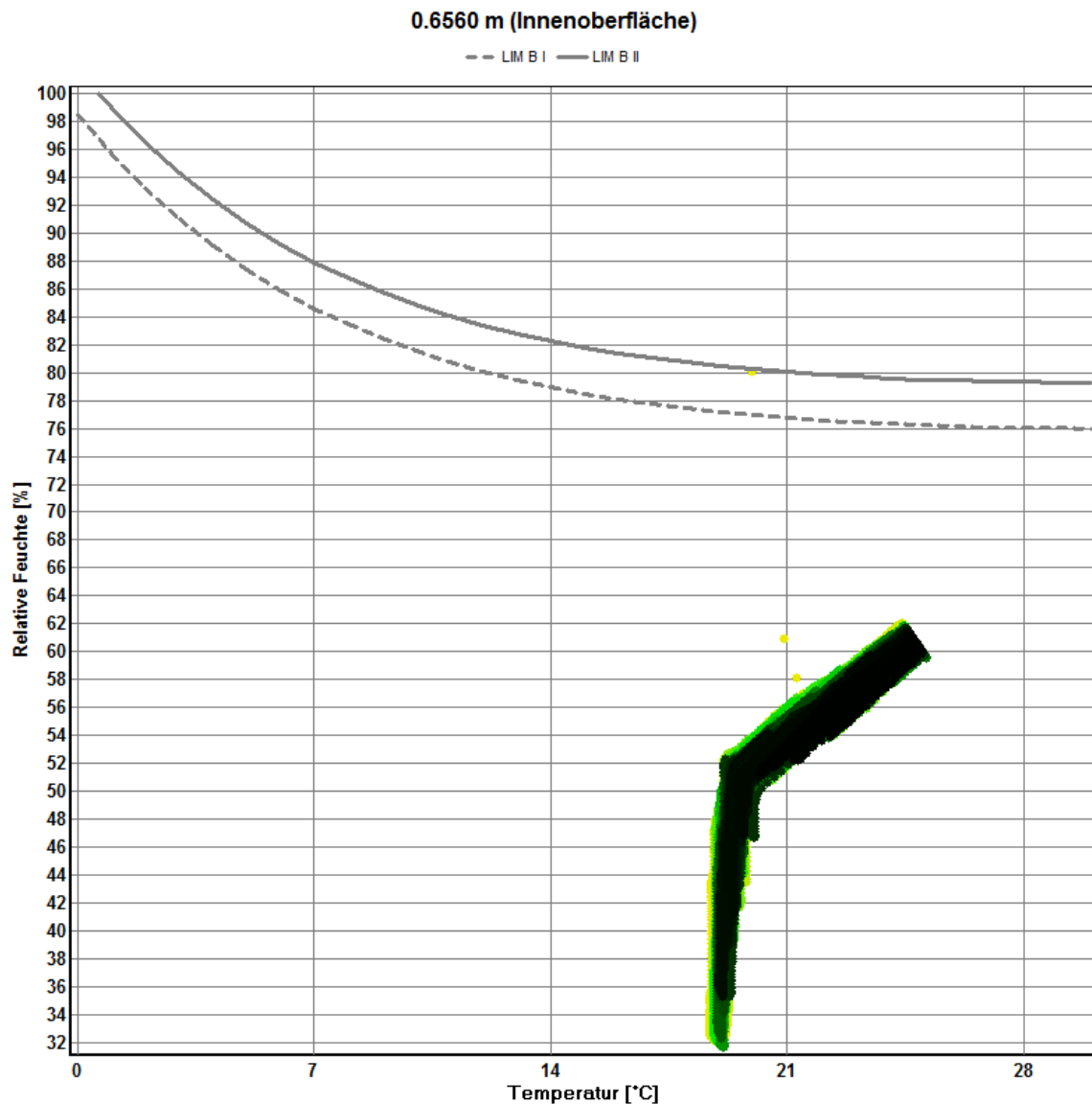


Abb. 13: Isoplethenmodell der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 mm und zusätzlich 40 mm XPS-Dämmung (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.4.3 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) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

Das Versagenskriterium des Frost-Tau-Wechsels wurde bei einem Wasseraufnahmekoeffizienten des Aussenputzes von $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ bei allen Wandkonstruktionen eingehalten (vgl. 3.4.2). Da Wassergehalt im Backstein bei $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ niedriger ist, wird das Versagenskriterium bei allen Wandkonstruktionen des Abschnitts 3.4.3 ebenfalls eingehalten.

b) 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 3.4.2 dargestellt.

c) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung (zusätzlich 40 mm XPS) ist die relative Feuchte erst nach 14 Jahren unter 80 %, bei 120 mm Innendämmung (zusätzlich 40 mm XPS) erst nach 16 Jahren (siehe Abb. 14). Danach schwankt die relative Feuchte bei ca. 65 %. Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante HWZ 510 mm Backstein mit Glaswollendämmung 40 mm und zusätzlich 40 mm XPS ergibt ein Schimmelwachstum von über 200 mm/Jahr, was einem Mould-Index von etwa 2 entspricht.

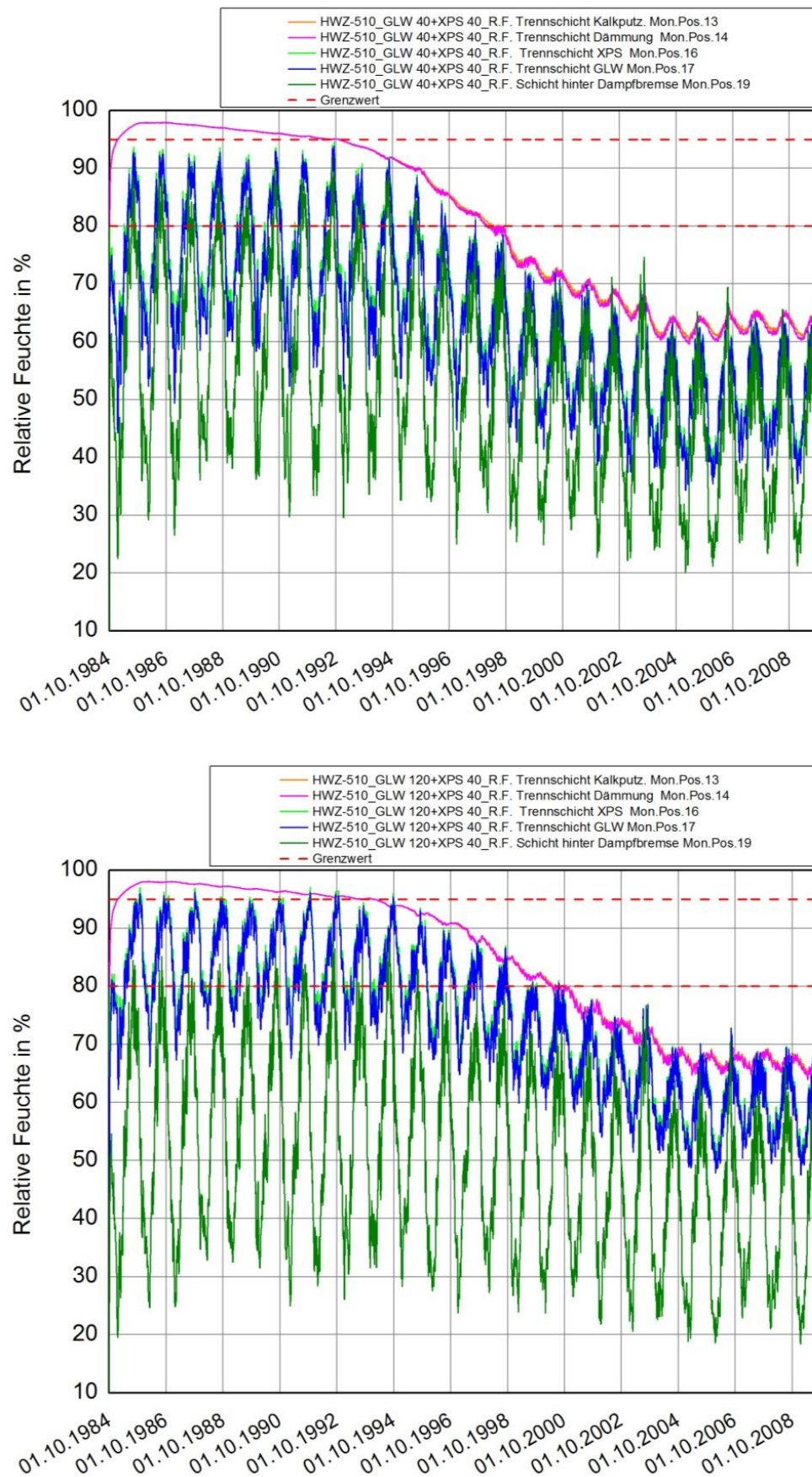
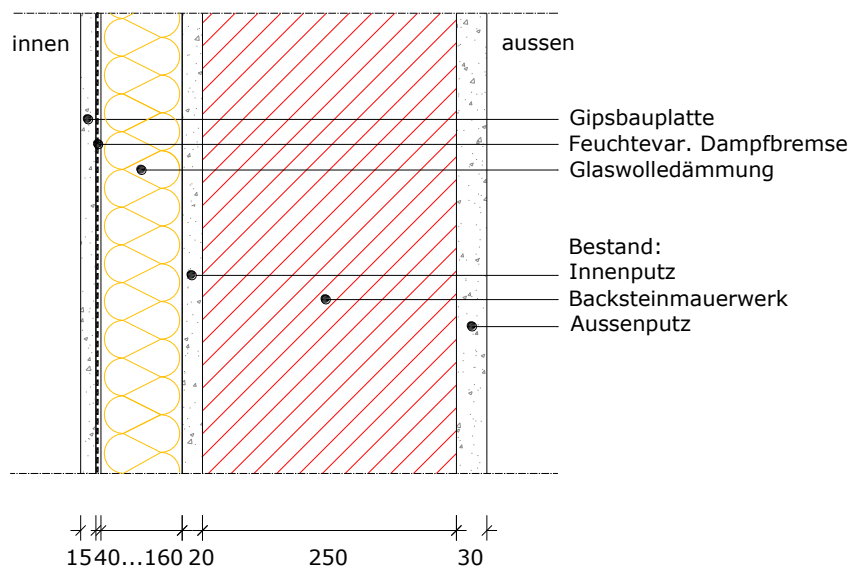


Abb. 14: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 und 120 mm und zusätzlich 40 mm XPS-Dämmung (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.5 IDS Glaswolle (mit feuchtevar. DB) mit historischem Backstein ZC - 250 mm

KONSTRUKTION**MATERIALKENNDATEN**

Baustoff	ρ in kg/m ³	c_p J/kgK	λ in W/mK	μ [-]	Porosität in %
Gipskartonplatte	850	850	0.2	8.3	65
Feuchtevariable Dampfbremse (Vario KM Duplex)	83	1800	1.0	-	-
Glaswolle	30	840	0.035	1.3	99
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

Kenngrösse	Einheit	Dicke Innendämmung in mm							
		Bestand	40	60	80	100	120	140	160
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.33	1.54	2.09	2.46	3.08	3.57	3.94	4.29
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	2.01	0.65	0.48	0.41	0.33	0.28	0.25	0.23

Bemerkung: Kennwerte inkl. Holzlattung der Unterkonstruktion in der Wärmedämmebene berechnet

3.5.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein sowie die relative Feuchte an der inneren Oberfläche stellen weder bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ noch bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ein Problem dar. Dagegen überschreitet die relative Feuchte an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung die 80 % - Grenze bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$. Auch eine genauere Auswertung mit WUFI BIO an dieser Grenzschicht ergibt Schimmelpilzwachstum. Demnach können nur bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ Dämmungen bis zu einer Dicke von 160 mm eingesetzt werden. Die beiden nachfolgenden Tabellen zeigen die Beurteilung der Versagenskriterien für die beiden Konstruktionen.

VERSAGENSKRITERIEN								
(Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)								
Kenngrosse	Bedingung	Dicke Innendämmung in mm						
		40	60	80	100	120	140	160
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100\text{-}120 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte an Grenzschicht IDS und Bestand	Relative Feuchte < 80 % / Schimmelbildung nach WUFI-BIO	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
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)	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓

VERSAGENSKRITERIEN								
(Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)								
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung in mm						
		40	60	80	100	120	140	160
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100\text{-}120 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte an Grenz-sicht IDS und Bestand	Relative Feuchte < 80 % / Schimmelbildung nach WUFI-BIO	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
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)	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓

3.5.2 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.

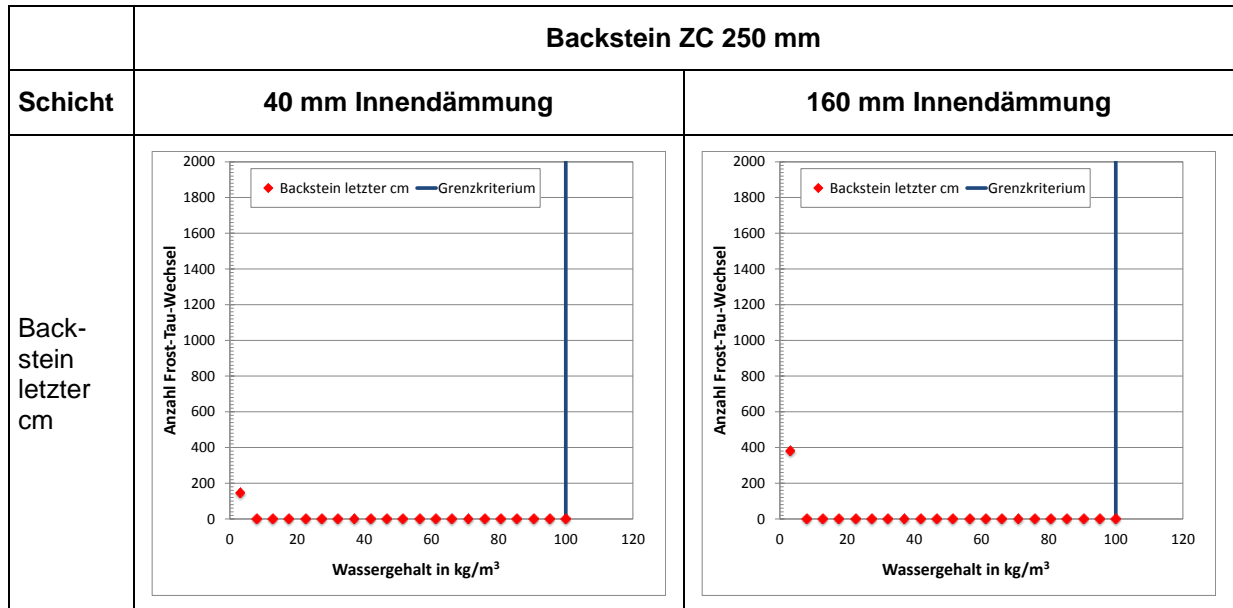
a) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

In der nachfolgenden Tabelle wird die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel bei einem bestimmten Wassergehalt (rote Punkte) mit dem kritischen Wassergehalt des Backsteintyps (blaue Linie) 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 7: 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.

	Backstein ZC 250 mm	
Schicht	40 mm Innendämmung	160 mm Innendämmung
Backstein 1. cm		
Backstein 1		

Fortsetzung Tabelle 7



b) 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 Glaswolledämmung mit einer Dicke von 40 mm.

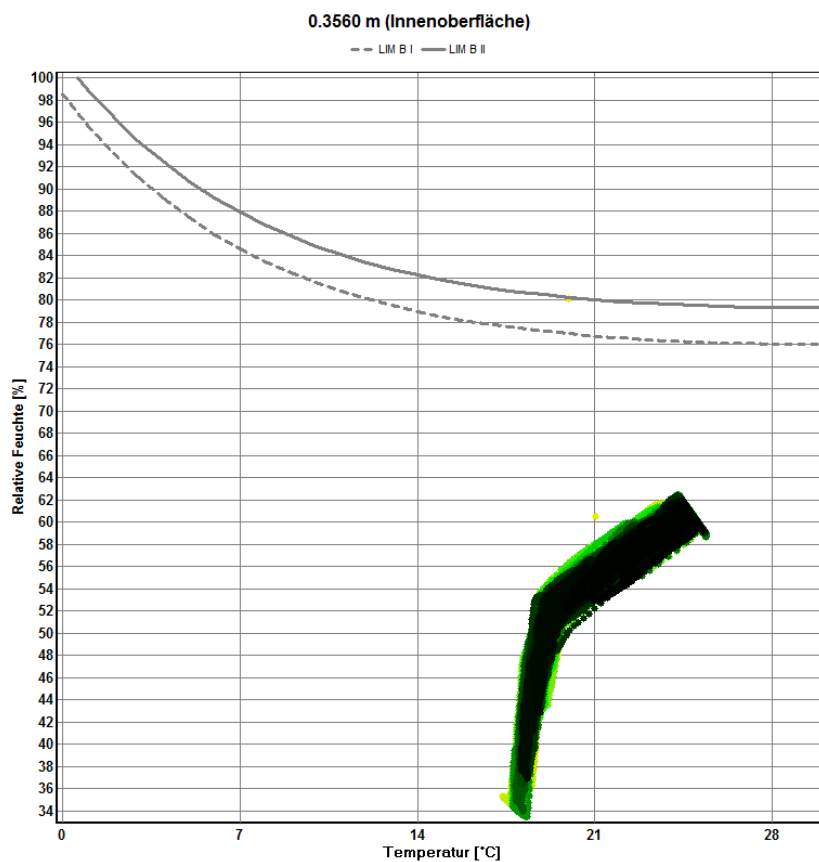


Abb. 15: Isoplethenmodell der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 mm und feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

c) Relative Feuchte an Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte um die 80 %, bei 160 mm über 80 % (siehe Abb. 16). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante ZC 250 mm Backstein mit Glaswollendämmung 40 mm und feuchtevariabler Dampfbremse ergibt ein Schimmelwachstum von 50 mm/Jahr bis 200 mm/Jahr.

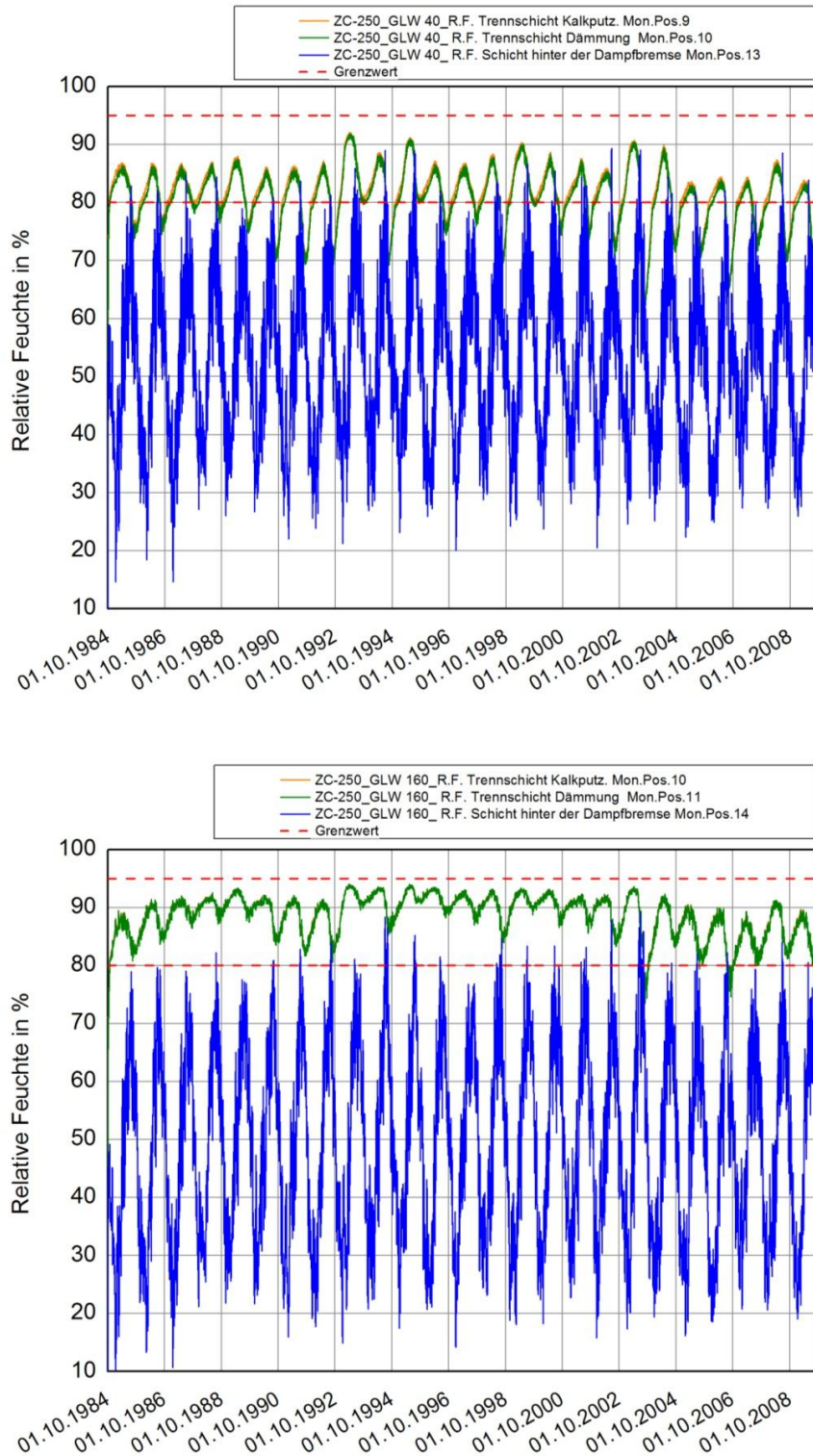


Abb. 16: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 und 160 mm und feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.5.3 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.

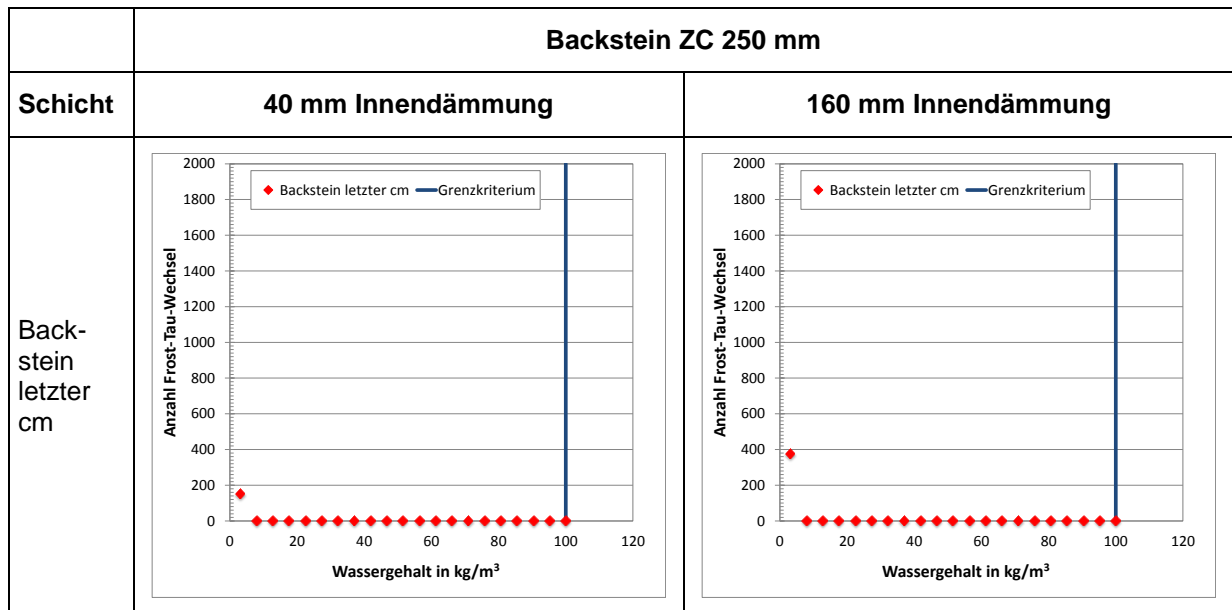
a) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

In der nachfolgenden Tabelle wird die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel bei einem bestimmten Wassergehalt (rote Punkte) mit dem kritischen Wassergehalt des Backsteintyps (blaue Linie) 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 8: Berechnete Anzahl der Frost-Tau-Wechsel als Funktion des Wassergehalts beim Backsteintyp ZC mit 250 mm Backsteindicke (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$). Es werden jeweils die berechneten Werte für den äussersten Zentimeter, den innersten Zentimeter und den restlichen Teil des Backsteins dargestellt.

	Backstein ZC 250 mm	
Schicht	40 mm Innendämmung	160 mm Innendämmung
Backstein 1. cm		
Backstein 1		

Fortsetzung Tabelle 8



b) 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 0 dargestellt.

c) Relative Feuchte an Trennschicht

Bei 40 und 160 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte um die 80 % (siehe Abb. 17). Eine Auswertung mit WUFI BIO für diese Varianten ergibt ein Schimmelwachstum von unter 50 mm/Jahr, was einem Mould-Index von etwa 0.5 entspricht.

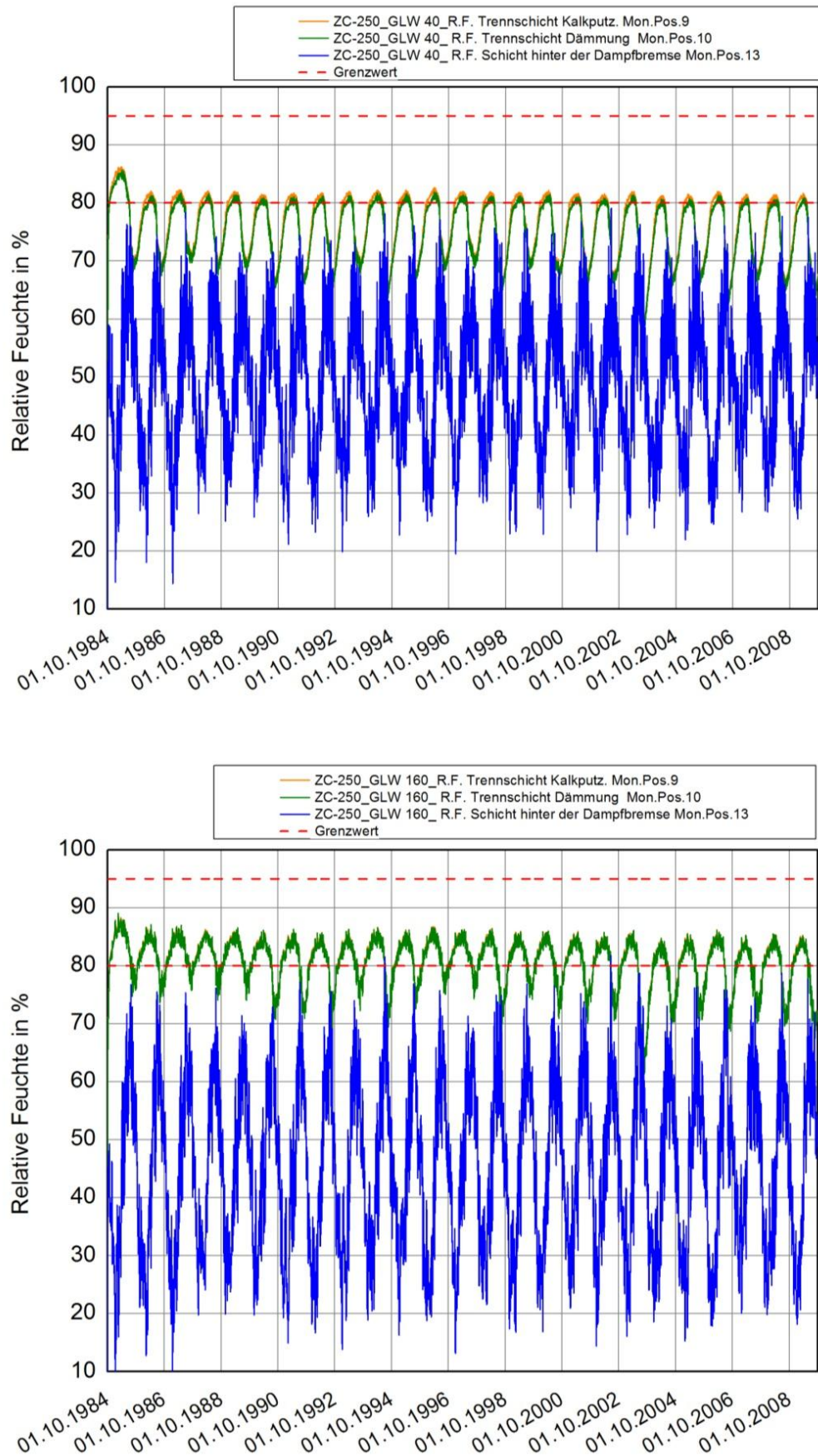
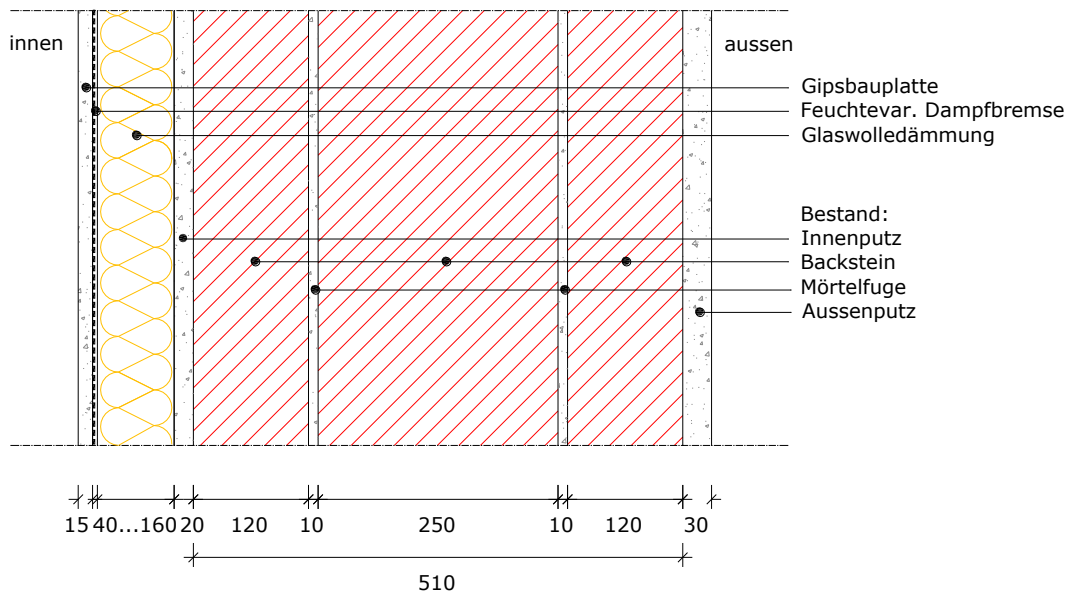


Abb. 17: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 und 160 mm und feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.6 IDS Glaswolle (mit feuchtevar. DB) mit historischem Backstein ZC - 510 mm

KONSTRUKTION**MATERIALKENNDATEN**

Baustoff	ρ in kg/m ³	c_p J/kgK	λ in W/mK	μ [-]	Porosität in %
Gipskartonplatte	850	850	0.2	8.3	65
Feuchtevariable Dampfbremse (Vario KM Duplex)	83	1800	1.0	-	-
Glaswolle	30	840	0.035	1.3	99
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 $\mu = 12.0$

WÄRMESCHUTZ

Kenngrösse	Einheit	Dicke Innendämmung in mm							
		Bestand	40	60	80	100	120	140	160
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.61	1.83	2.39	2.77	3.38	3.87	4.25	4.61
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	1.28	0.55	0.42	0.36	0.30	0.26	0.24	0.22

Bemerkung: Kennwerte inkl. Holzlattung der Unterkonstruktion in der Wärmedämmebene berechnet

3.6.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein sowie die relative Feuchte an der inneren Oberfläche stellen weder bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ noch bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ein Problem dar. Dagegen überschreitet die relative Feuchte an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung die 80 % - Grenze. Auch eine genauere Auswertung mit WUFI BIO an dieser Grenzschicht ergibt Schimmelpilzwachstum. Demnach können Dämmungen bis zu einer Dicke von 40 mm eingesetzt werden. Die beiden nachfolgenden Tabellen zeigen die Beurteilung der Versagenskriterien.

VERSAGENSKRITERIEN (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)								
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung in mm						
		40	60	80	100	120	140	160
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100\text{-}120 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte an Grenz-sicht IDS und Bestand	Relative Feuchte < 80 % / Schimmelbildung nach WUFI-BIO	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
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)	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓

VERSAGENSKRITERIEN (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)								
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung in mm						
		40	60	80	100	120	140	160
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100\text{-}120 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte an Grenz-sicht IDS und Bestand	Relative Feuchte < 80 % / Schimmelbildung nach WUFI-BIO	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
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)	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓

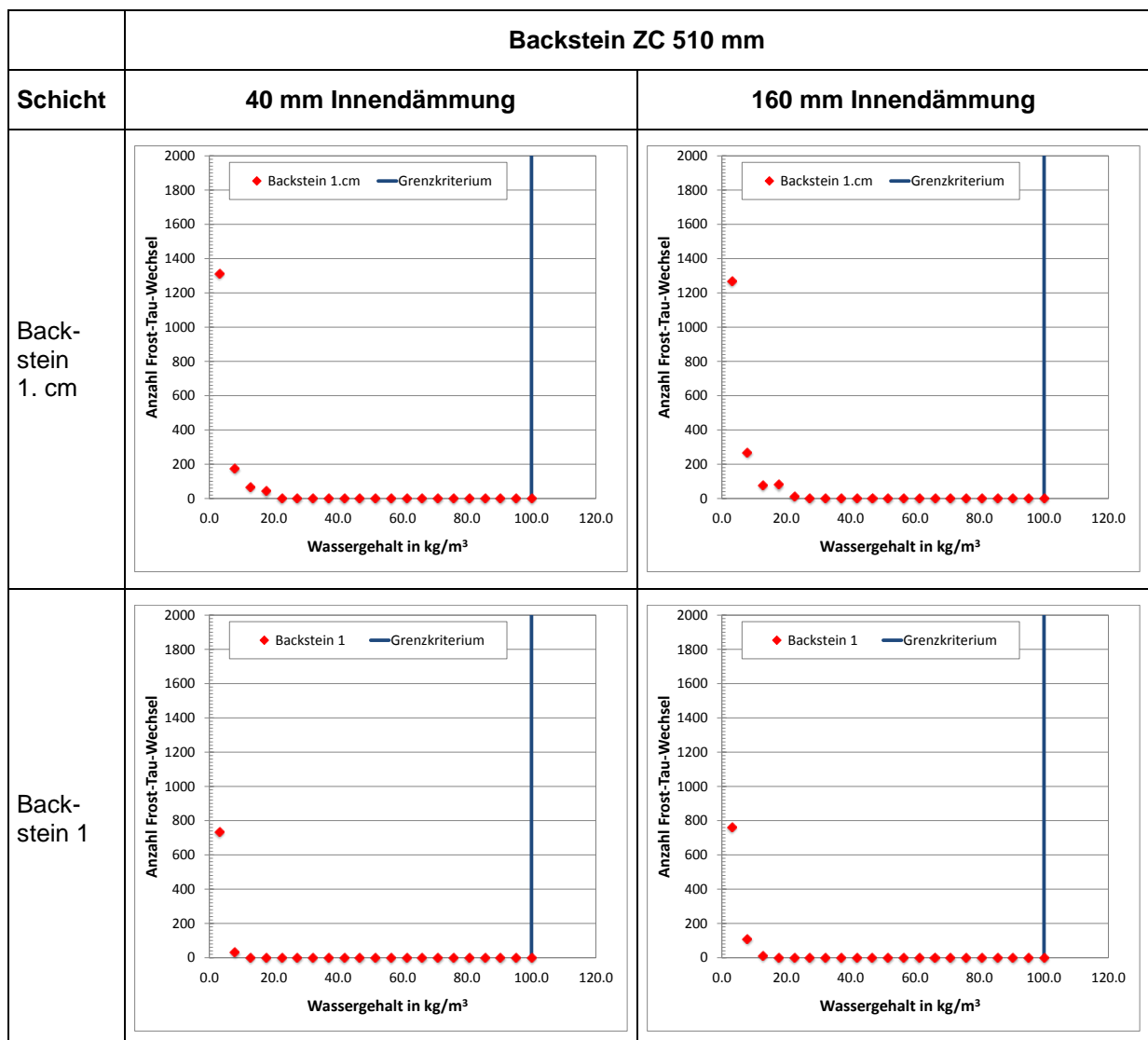
3.6.2 Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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.

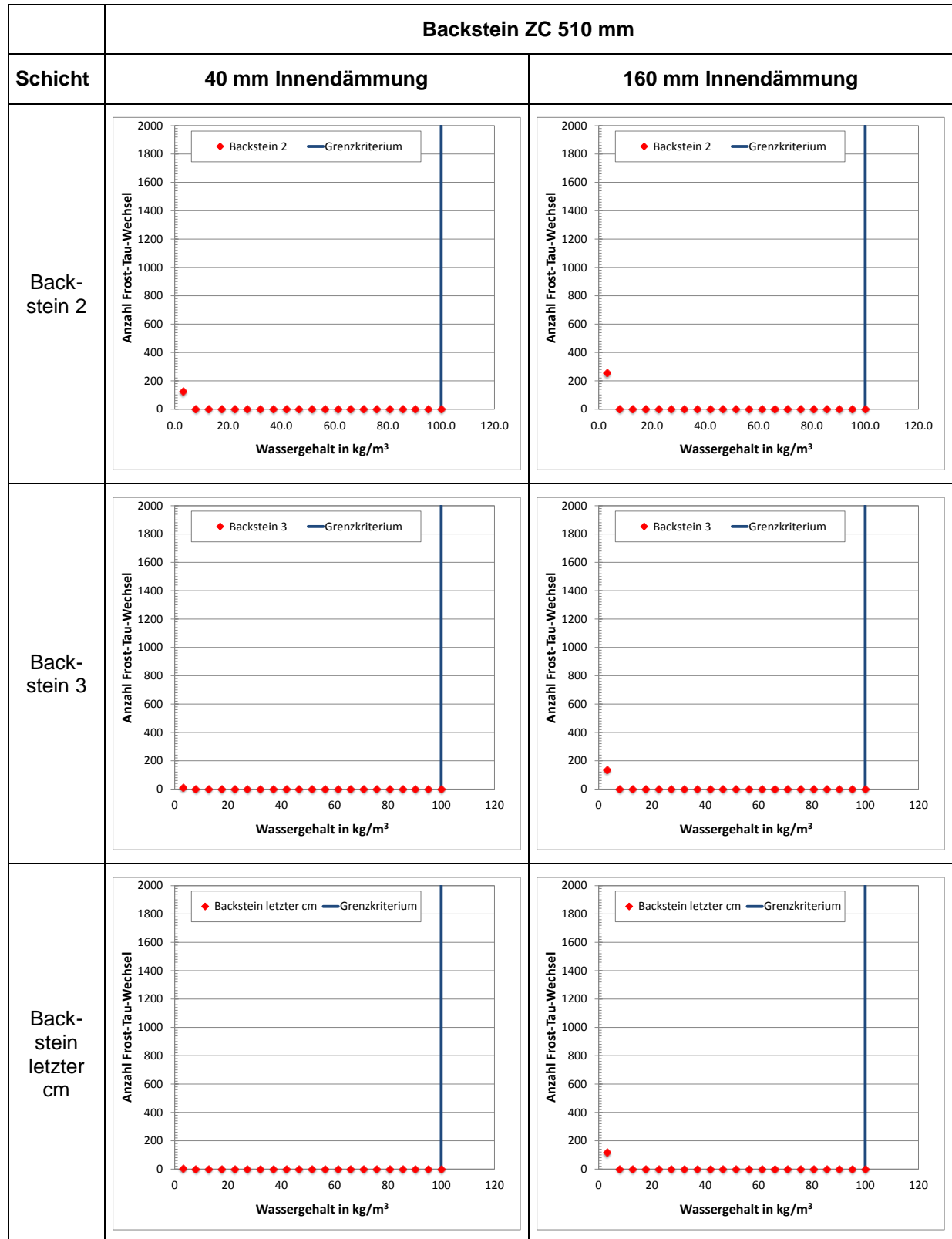
a) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

In der nachfolgenden Tabelle wird die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel bei einem bestimmten Wassergehalt (rote Punkte) mit dem kritischen Wassergehalt des Backsteintyps (blaue Linie) 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 9: 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 9



b) Relative Feuchte an Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte um die 80 %, bei 160 mm Innendämmung über 80 % (siehe Abb. 18). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante ZC 510 mm Backstein mit Glaswollendämmung 40 mm und feuchtevariabler Dampfbremse ergibt ein Schimmelwachstum von unter 50 mm/Jahr nach 4 Jahren, was einem Mould-Index von etwa 0.5 entspricht. Vorher beträgt das Schimmelwachstum bei 50 mm/Jahr bis 200 mm/Jahr. Bei 80 mm Innendämmung liegt das Schimmelwachstum bei 50 mm/Jahr bis 200 mm/Jahr.

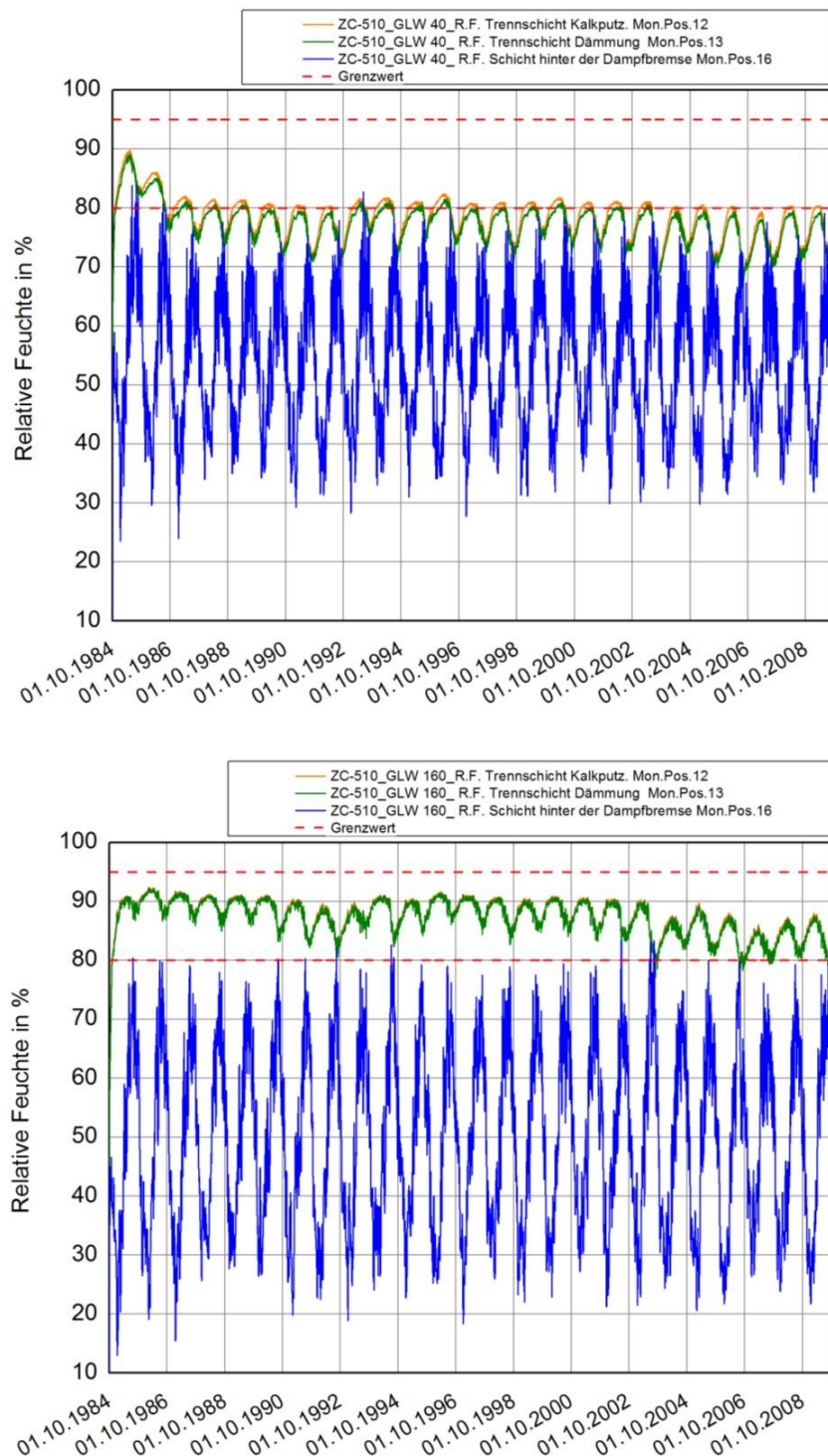


Abb. 18: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 und 160 mm und feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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 Glaswollendämmung mit einer Dicke von 40 mm.

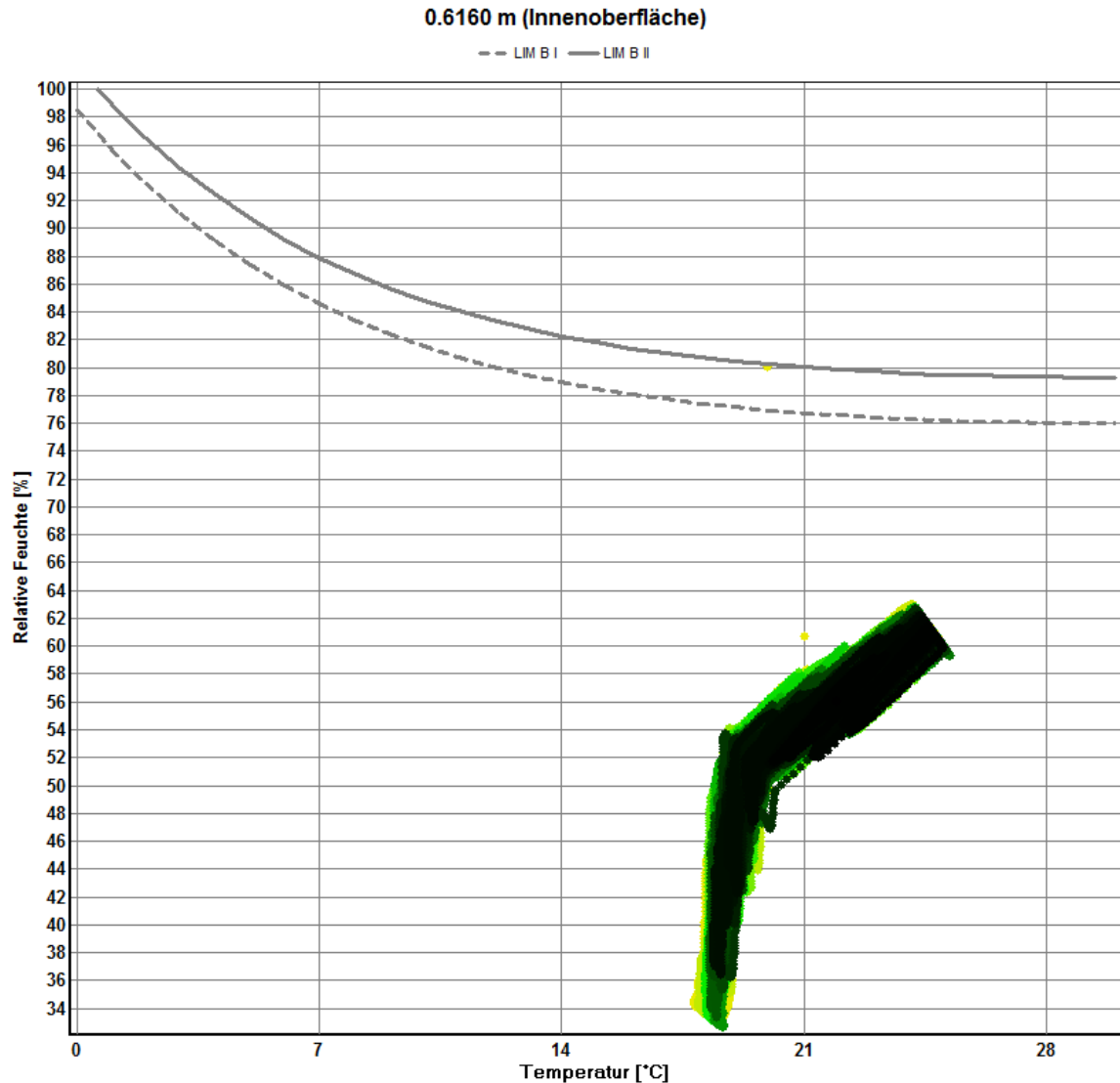


Abb. 19: Isoplethenmodell der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 mm und feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

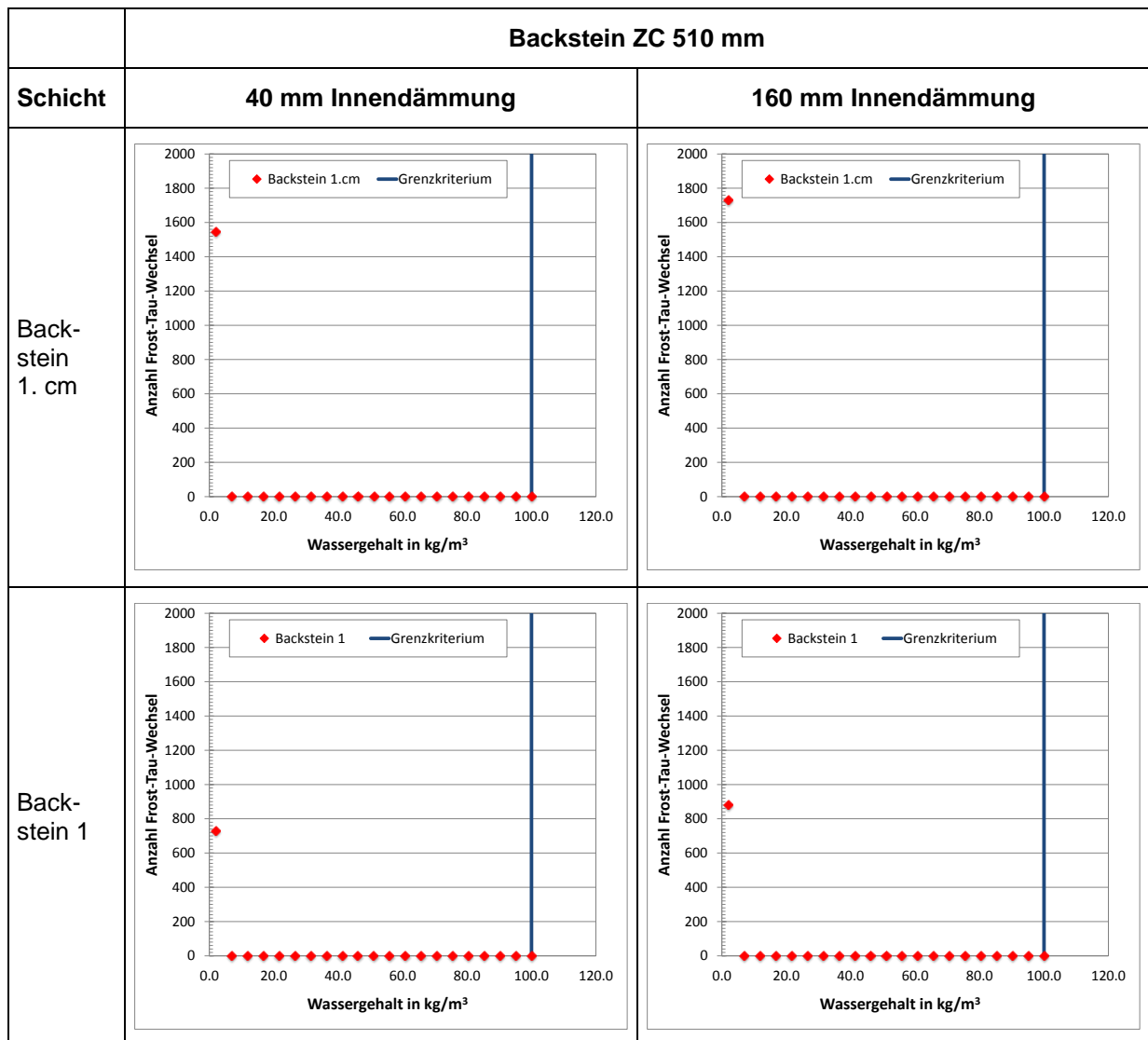
3.6.3 Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

In der nachfolgenden Tabelle wird die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel bei einem bestimmten Wassergehalt (rote Punkte) mit dem kritischen Wassergehalt des Backsteintyps (blaue Linie) 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 10: Berechnete Anzahl der Frost-Tau-Wechsel als Funktion des Wassergehalts beim Backsteintyp ZC mit 510 mm Backsteindicke (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$). Es werden jeweils die berechneten Werte für den äussersten Zentimeter, den innersten Zentimeter und den restlichen Teil des Backsteins dargestellt.



Fortsetzung Tabelle 10

	Backstein ZC 510 mm	
Schicht	40 mm Innendämmung	160 mm Innendämmung
Backstein 2		
Backstein 3		
Backstein letzter cm		

b) 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 3.6.2 dargestellt.

c) Relative Feuchte an Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung sinkt die relative Feuchte innerhalb von 2 Jahren unter 80 %, bei 160 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte um die 80 % (siehe Abb. 20). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante ZC 510 mm Backstein mit Glaswollendämmung 160 mm und feuchtevariabler Dampfbremse ergibt nach über 20 Jahren der Simulation ein Schimmelpilzwachstum von unter 50 mm/Jahr. In den ersten Jahren ergibt sich ein höheres Schimmelpilzwachstum von 50-200 mm/Jahr. Bei 80 mm Innendämmung ergibt sich nach 8 Jahren ein Schimmelpilzwachstum von unter 50 mm/Jahr.

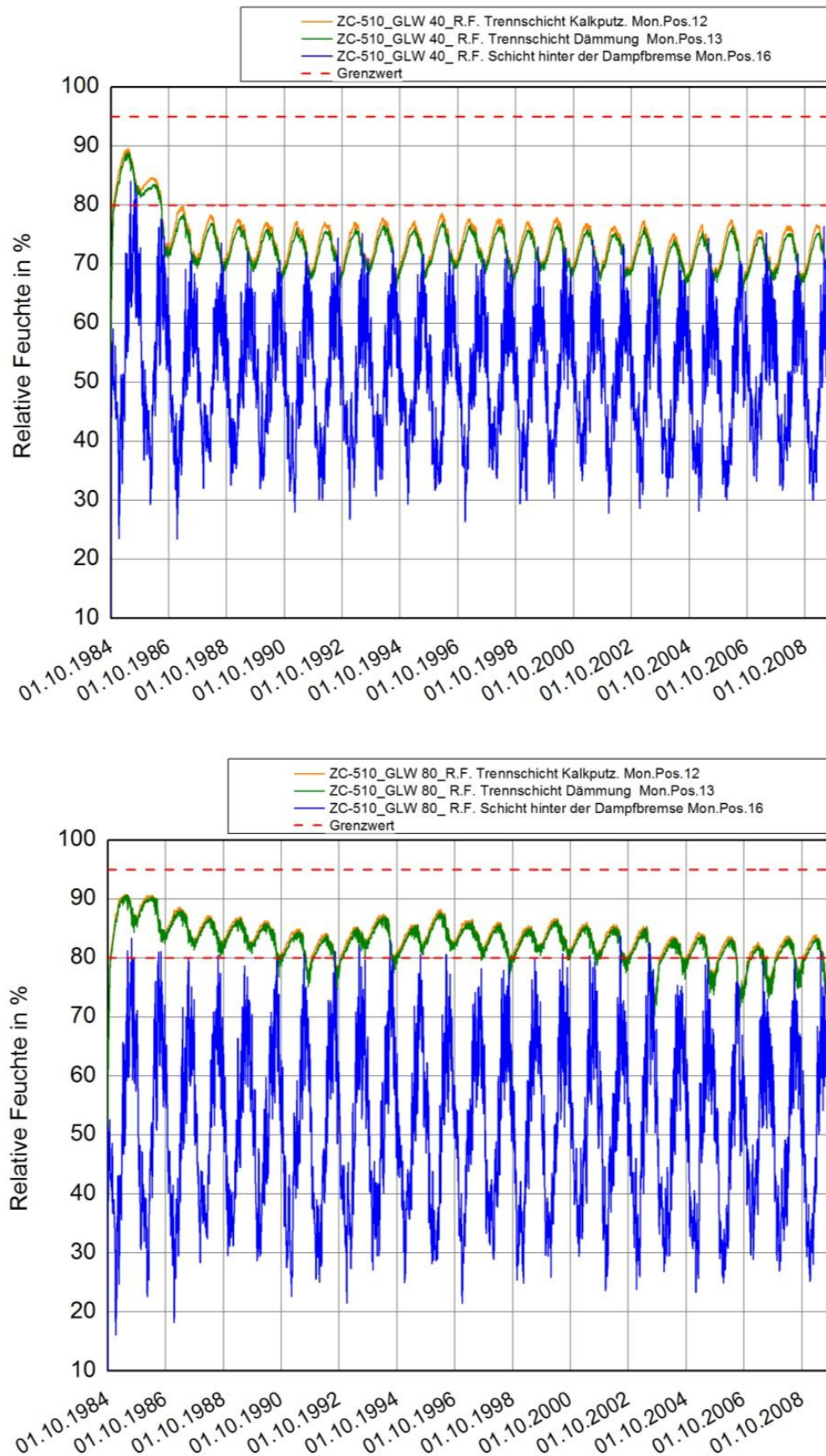
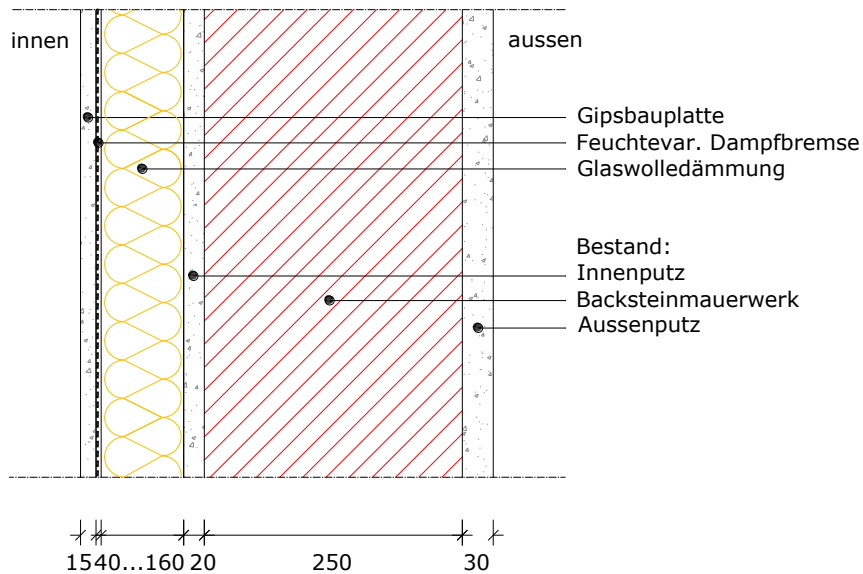


Abb. 20: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 und 80 mm und feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.7 IDS Glaswolle (mit feuchtevar. DB) mit historischem Backstein HWZ - 250 mm

KONSTRUKTION**MATERIALKENNDATEN**

Baustoff	ρ in kg/m ³	c_p J/kgK	λ in W/mK	μ [-]	Porosität in %
Gipskartonplatte	850	850	0.2	8.3	65
Feuchtevariable Dampfbremse (Vario KM Duplex)	83	1800	1.0	-	-
Glaswolle	30	840	0.035	1.3	99
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

*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	Bestand	Dicke Innendämmung in mm						
			40	60	80	100	120	140	160
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.45	1.68	2.24	2.61	3.22	3.72	4.10	4.45
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	1.62	0.59	0.45	0.38	0.31	0.27	0.24	0.22

Bemerkung: Kennwerte inkl. Holzlattung der Unterkonstruktion in der Wärmedämmebene berechnet

3.7.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein sowie die relative Feuchte an der inneren Oberfläche stellen weder bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ noch bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ein Problem dar. Dagegen überschreitet die relative Feuchte an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung die 80 % - Grenze. Auch eine genauere Auswertung mit WUFI BIO ergibt Schimmelpilzwachstum an dieser Grenzschicht. Die beiden nachfolgenden Tabellen zeigen die Beurteilung der Versagenskriterien für die beiden Konstruktionen.

VERSAGENSKRITERIEN (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)								
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung in mm						
		40	60	80	100	120	140	160
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 200\text{-}230 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte an Grenz-sicht IDS und Bestand	Relative Feuchte < 80 % / Schimmelbildung nach WUFI-BIO	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
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)	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓

VERSAGENSKRITERIEN (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)								
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung in mm						
		40	60	80	100	120	140	160
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 200\text{-}230 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte an Grenz-sicht IDS und Bestand	Relative Feuchte < 80 % / Schimmelbildung nach WUFI-BIO	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
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)	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓

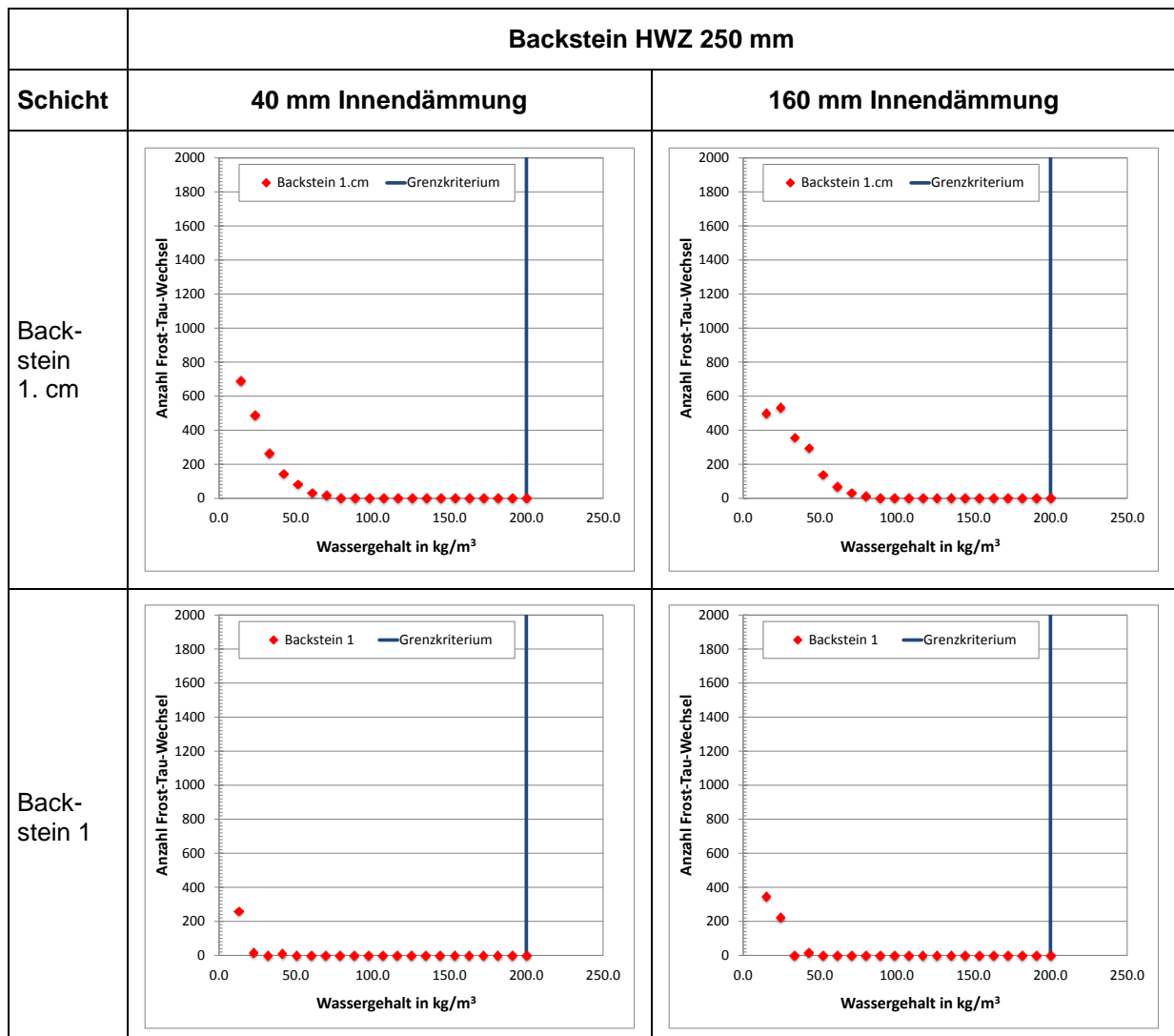
3.7.2 Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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.

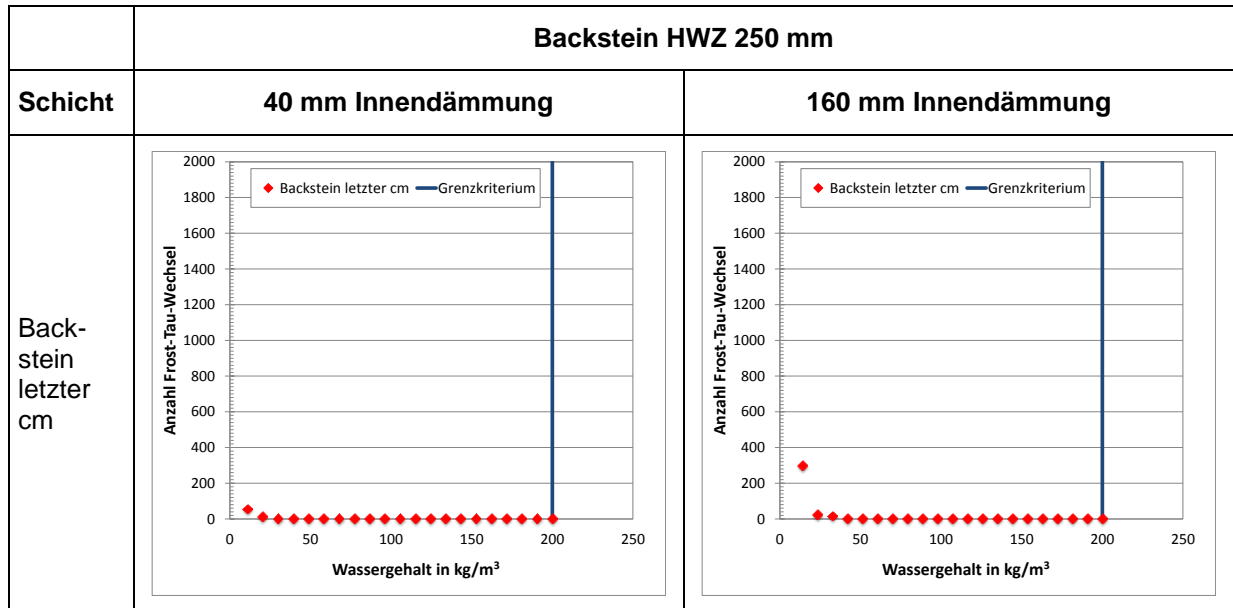
a) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

In der nachfolgenden Tabelle wird die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel bei einem bestimmten Wassergehalt (rote Punkte) mit dem kritischen Wassergehalt des Backsteintyps (blaue Linie) 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 11: 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 11



b) 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 Glaswolledämmung mit einer Dicke von 40 mm.

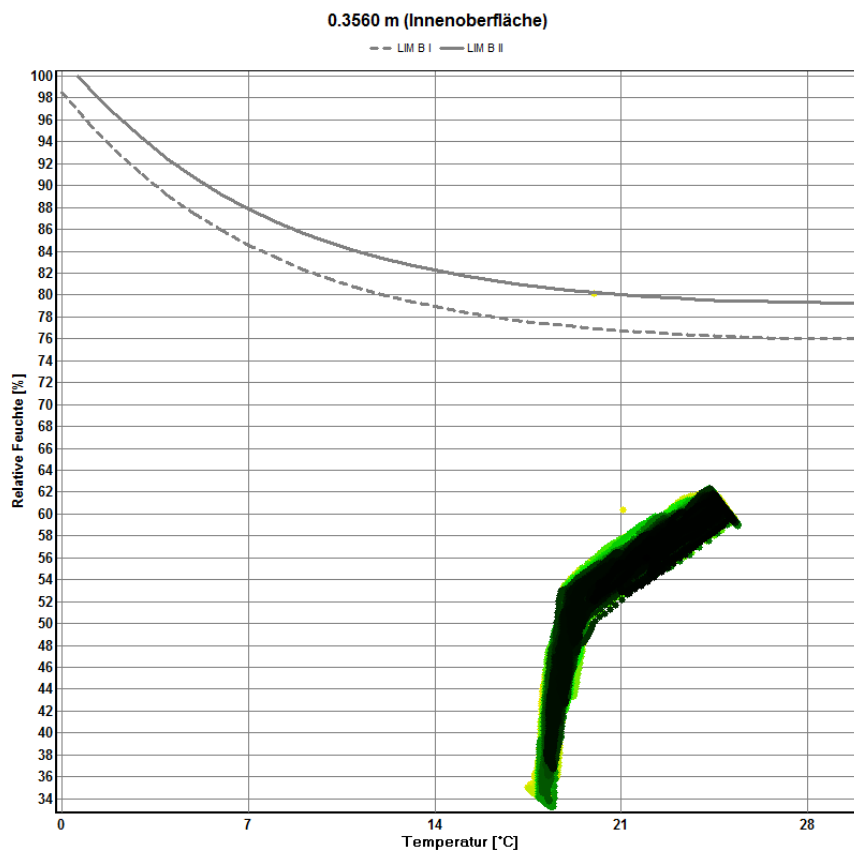


Abb. 21: Isoplethenmodell der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 mm und feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

c) Relative Feuchte an Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte um 80 %, bei 160 mm ist relative Feuchte über 80 % während den gesamten 25 Jahren (siehe Abb. 22). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante HWZ 250 mm Backstein mit Glaswollendämmung 40 mm und feuchtevariabler Dampfbremse ergibt nach 8 Jahren ein Schimmelwachstum von 50 mm/Jahr bis 200 mm/Jahr. Vorher beträgt das Wachstum über 200 mm/Jahr.

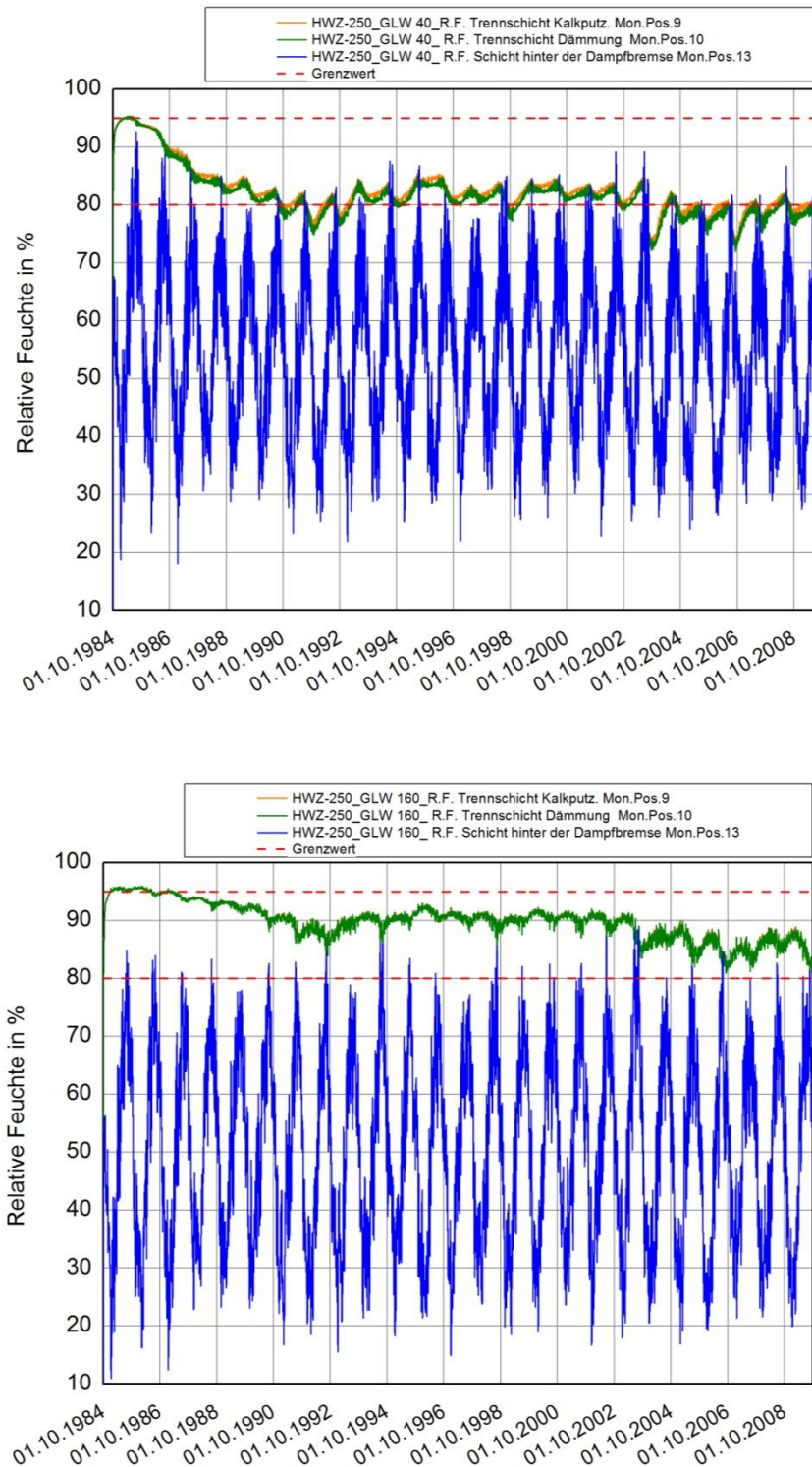


Abb. 22: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 und 160 mm und feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.7.3 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.

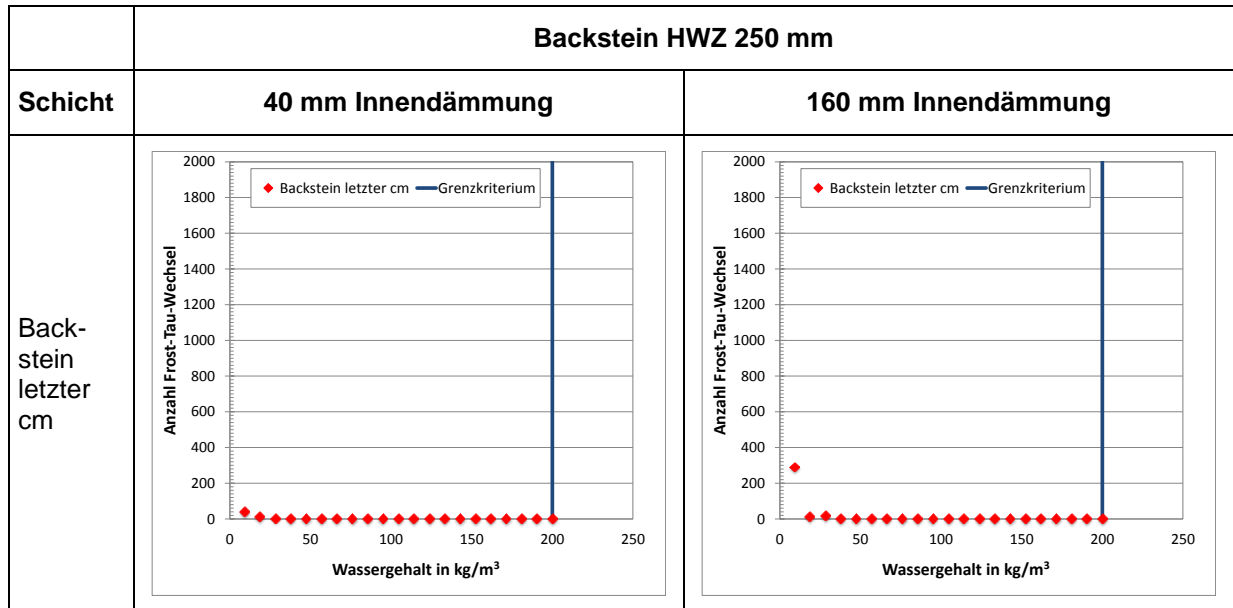
a) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

In der nachfolgenden Tabelle wird die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel bei einem bestimmten Wassergehalt (rote Punkte) mit dem kritischen Wassergehalt des Backsteintyps (blaue Linie) 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 12: Berechnete Anzahl der Frost-Tau-Wechsel als Funktion des Wassergehalts beim Backsteintyp HWZ mit 250 mm Backsteindicke (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$). Es werden jeweils die berechneten Werte für den äussersten Zentimeter, den innersten Zentimeter und den restlichen Teil des Backsteins dargestellt.

	Backstein HWZ 250 mm	
Schicht	40 mm Innendämmung	160 mm Innendämmung
Backstein 1. cm		
Backstein 1		

Fortsetzung Tabelle 12



b) 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 3.7.2 dargestellt.

c) Relative Feuchte an Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung ist die relative Feuchte nach 3 Jahren unter 80 %, bei 160 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte knapp unter 80 % (siehe Abb. 23). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante HWZ 250 mm Backstein mit Glaswolledämmung 40 mm und feuchtevariabler Dampfbremse ergibt nach 5 Jahren ein Schimmelwachstum von 50 mm/Jahr bis 200 mm/Jahr. Vorher beträgt das Wachstum über 200 mm/Jahr.

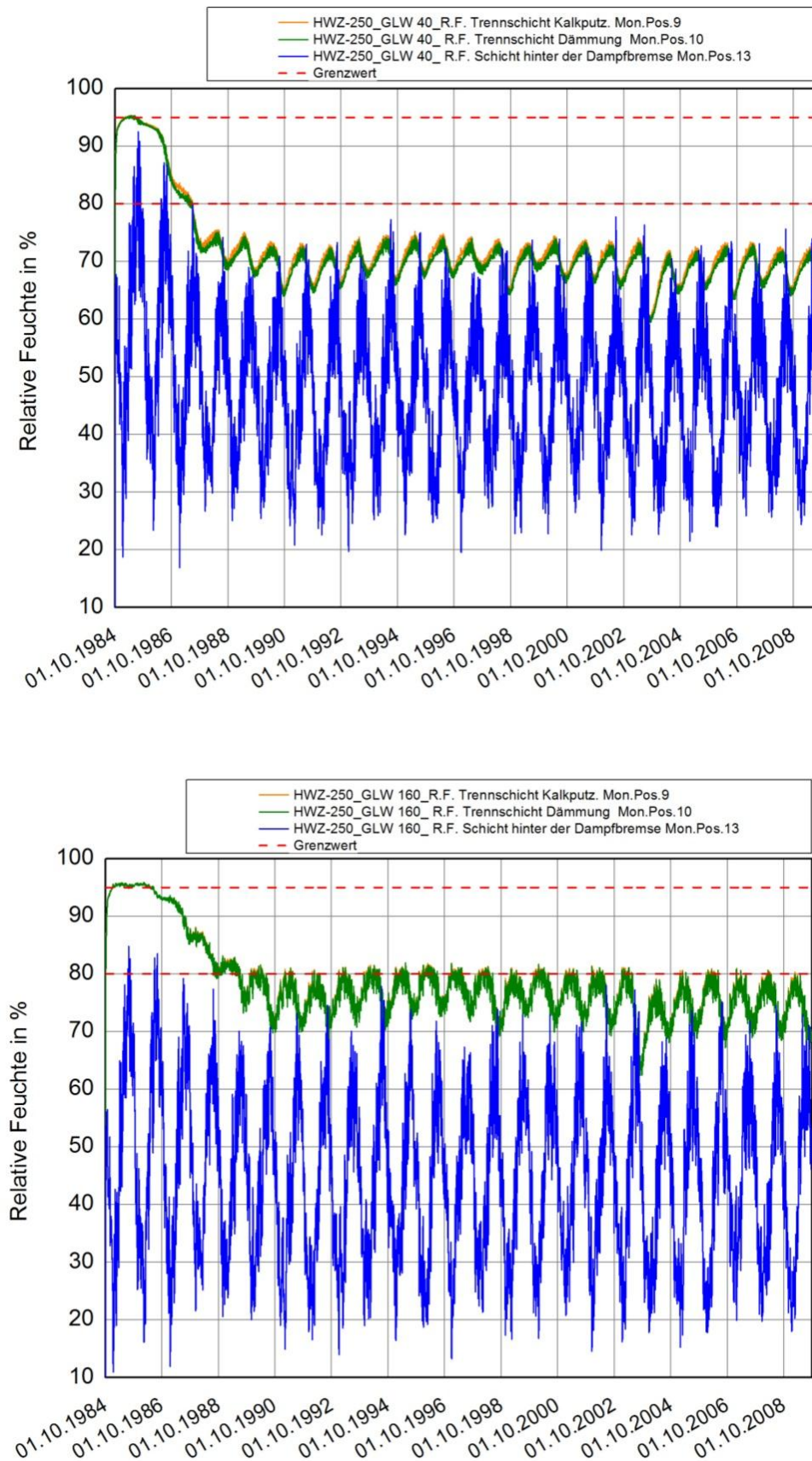
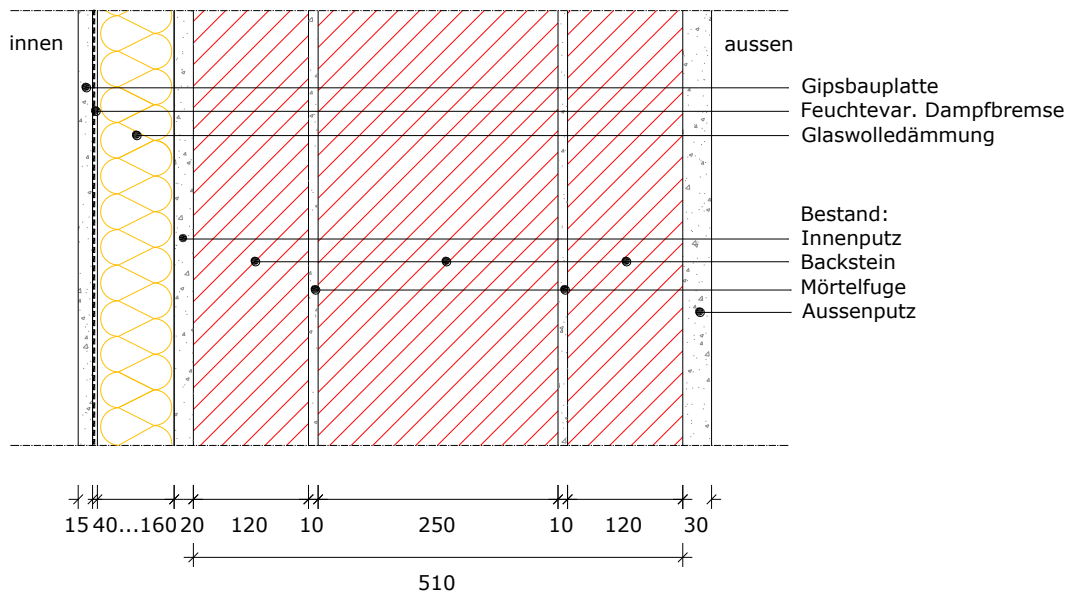


Abb. 23: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 und 160 mm und feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.8 IDS Glaswolle (mit feuchtevar. DB) mit historischem Backstein HWZ - 510 mm

KONSTRUKTION**MATERIALKENNDATEN**

Baustoff	ρ in kg/m ³	c_p J/kgK	λ in W/mK	μ [-]	Porosität in %
Gipskartonplatte	850	850	0.2	8.3	65
Feuchtevariable Dampfbremse (Vario KM Duplex)	83	1800	1.0	-	-
Glaswolle	30	840	0.035	1.3	99
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 in mm						
		Bestand	40	60	80	100	120	140	160
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.85	2.12	2.68	3.07	3.67	4.17	4.56	4.92
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	0.98	0.47	0.37	0.33	0.27	0.24	0.22	0.20
Bemerkung: Kennwerte inkl. Holzlattung der Unterkonstruktion in der Wärmedämmebene berechnet									

3.8.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein sowie die relative Feuchte an der inneren Oberfläche stellen weder bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ noch bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ ein Problem dar. Dagegen überschreitet die relative Feuchte an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung die 80 % - Grenze. Auch eine genauere Auswertung mit WUFI BIO ergibt Schimmelpilzwachstum an dieser Grenzschicht. Die beiden nachfolgenden Tabellen zeigen die Beurteilung der Versagenskriterien für die beiden Konstruktionen.

VERSAGENSKRITERIEN (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)								
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung in mm						
		40	60	80	100	120	140	160
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 200\text{-}230 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte an Grenz-sicht IDS und Bestand	Relative Feuchte < 80 % / Schimmelbildung nach WUFI-BIO	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
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)	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓

VERSAGENSKRITERIEN (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)								
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung in mm						
		40	60	80	100	120	140	160
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 200\text{-}230 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte an Grenz-sicht IDS und Bestand	Relative Feuchte < 80 % / Schimmelbildung nach WUFI-BIO	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
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)	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓

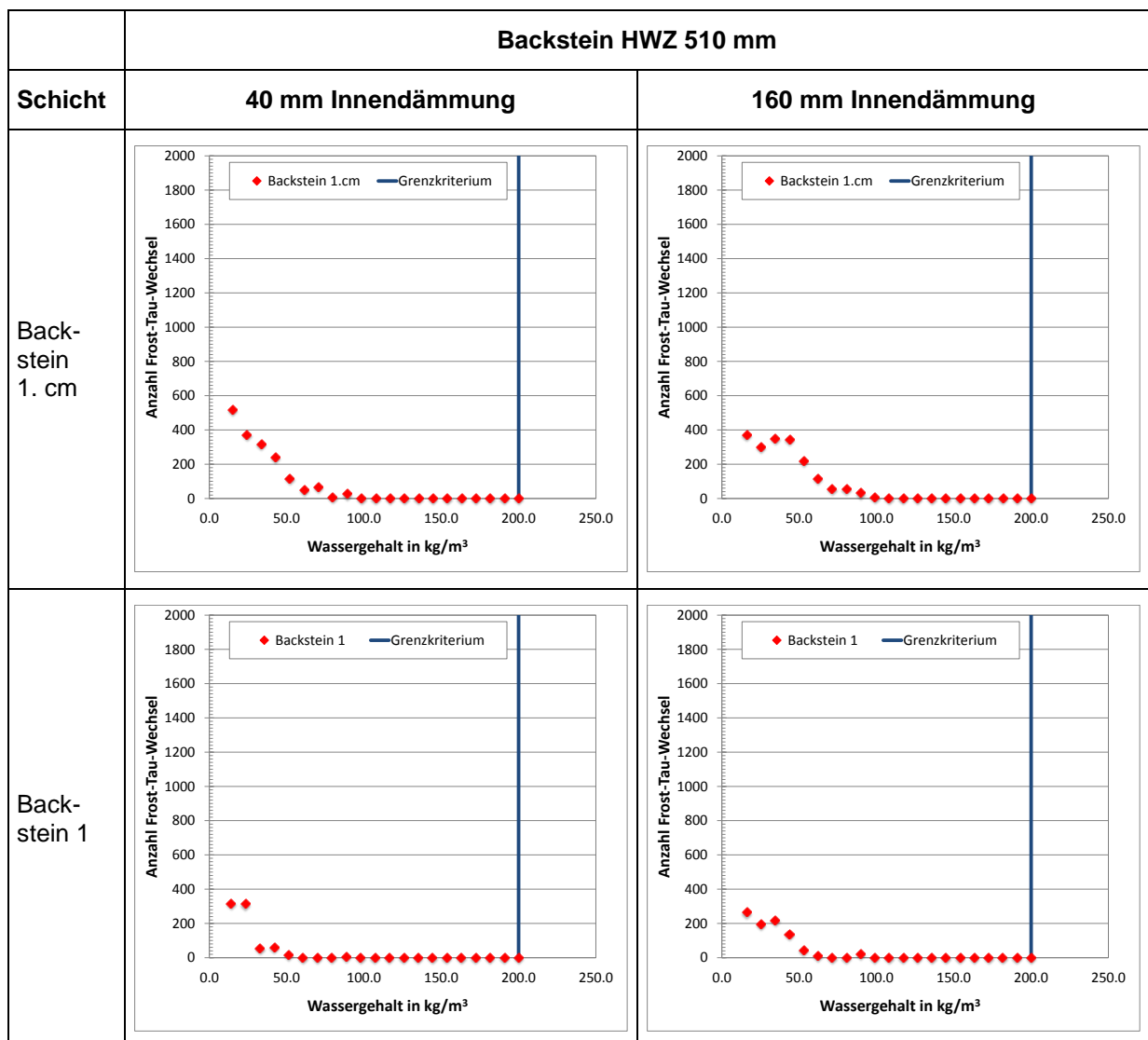
3.8.2 Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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.

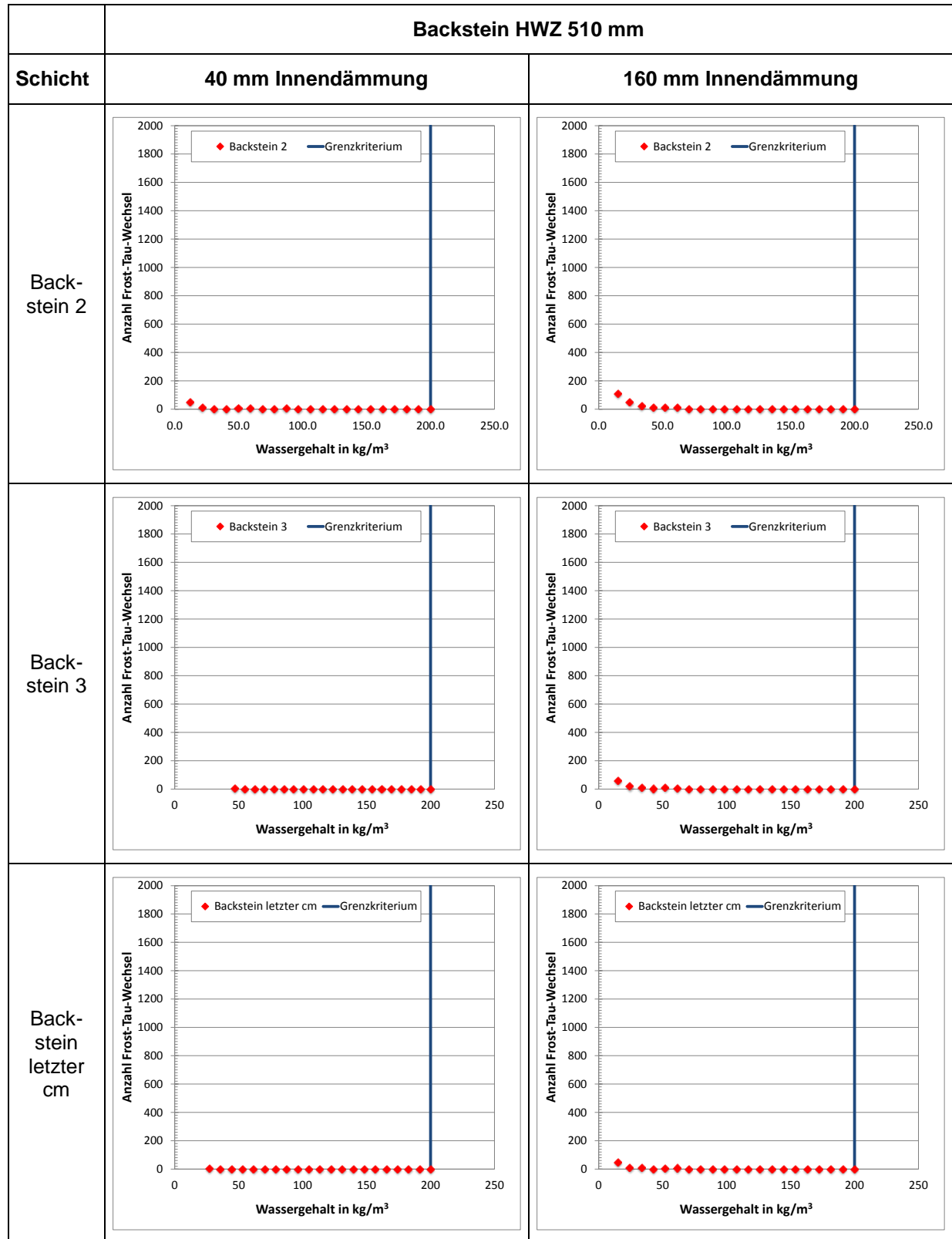
a) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

In der nachfolgenden Tabelle wird die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel bei einem bestimmten Wassergehalt (rote Punkte) mit dem kritischen Wassergehalt des Backsteintyps (blaue Linie) 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 13: 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 13



b) Relative Feuchte an Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung ist die relative Feuchte erst nach 10 Jahren unter 80 %, bei 160 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte über 80 % (siehe Abb. 24). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante HWZ 510 mm Backstein mit Glaswollendämmung 40 mm und feuchtevariabler Dampfbarriere ergibt ein Schimmelwachstum von über 200 mm/Jahr, was einem Mould-Index von etwa 2 entspricht.

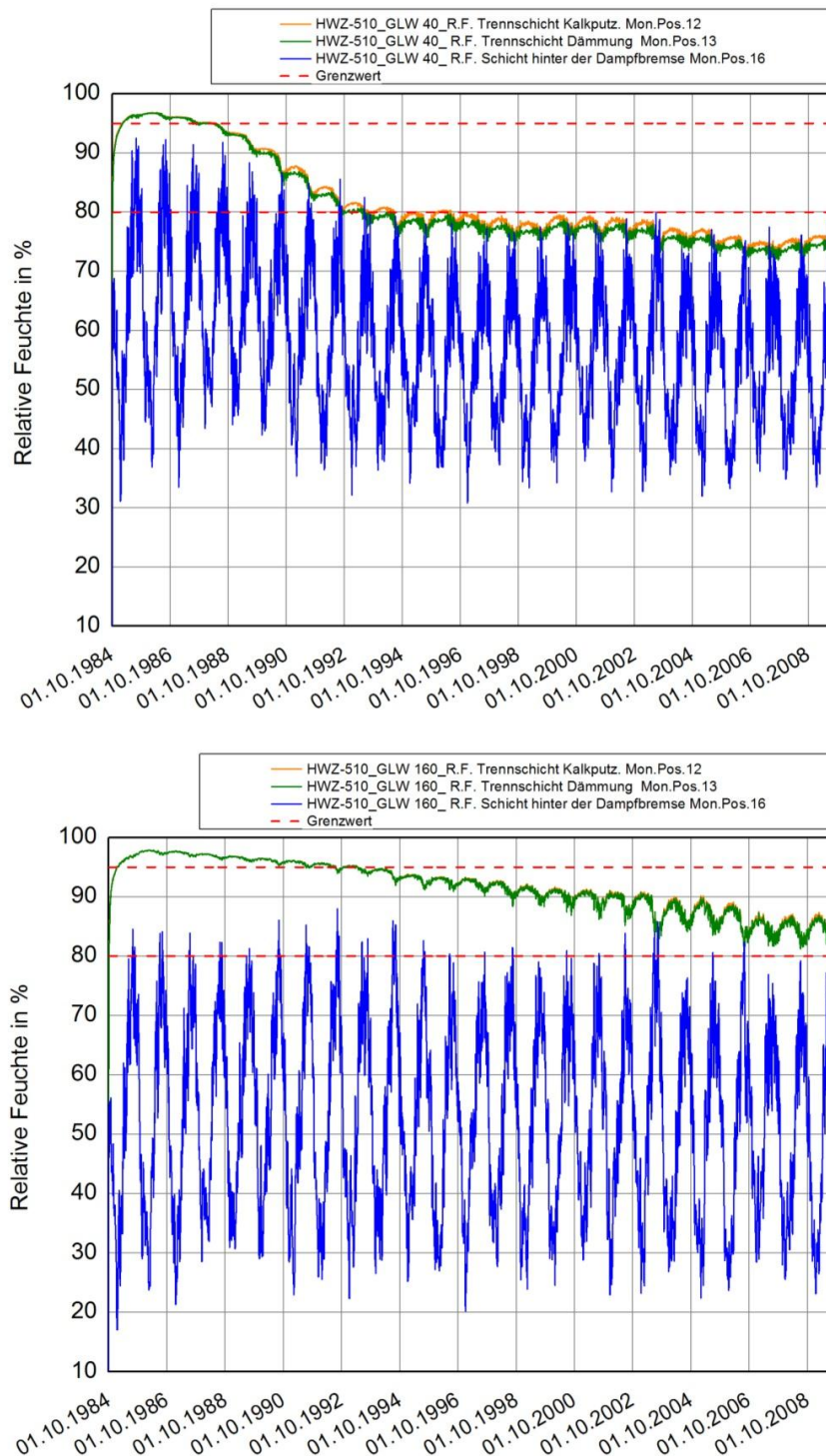


Abb. 24: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 und 160 mm und feuchtevariabler Dampfbarriere (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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 Glaswollendämmung mit einer Dicke von 40 mm.

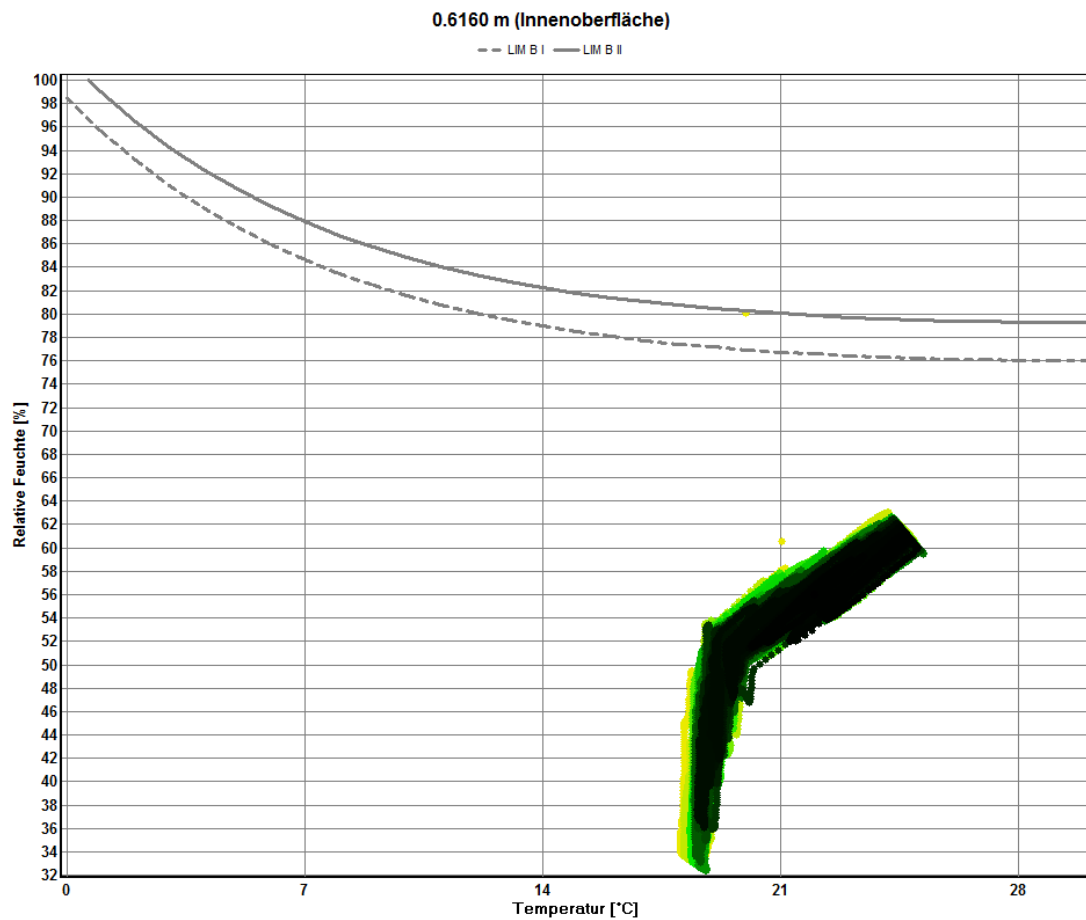


Abb. 25: Isoplethenmodell der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 mm und feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.8.3 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.

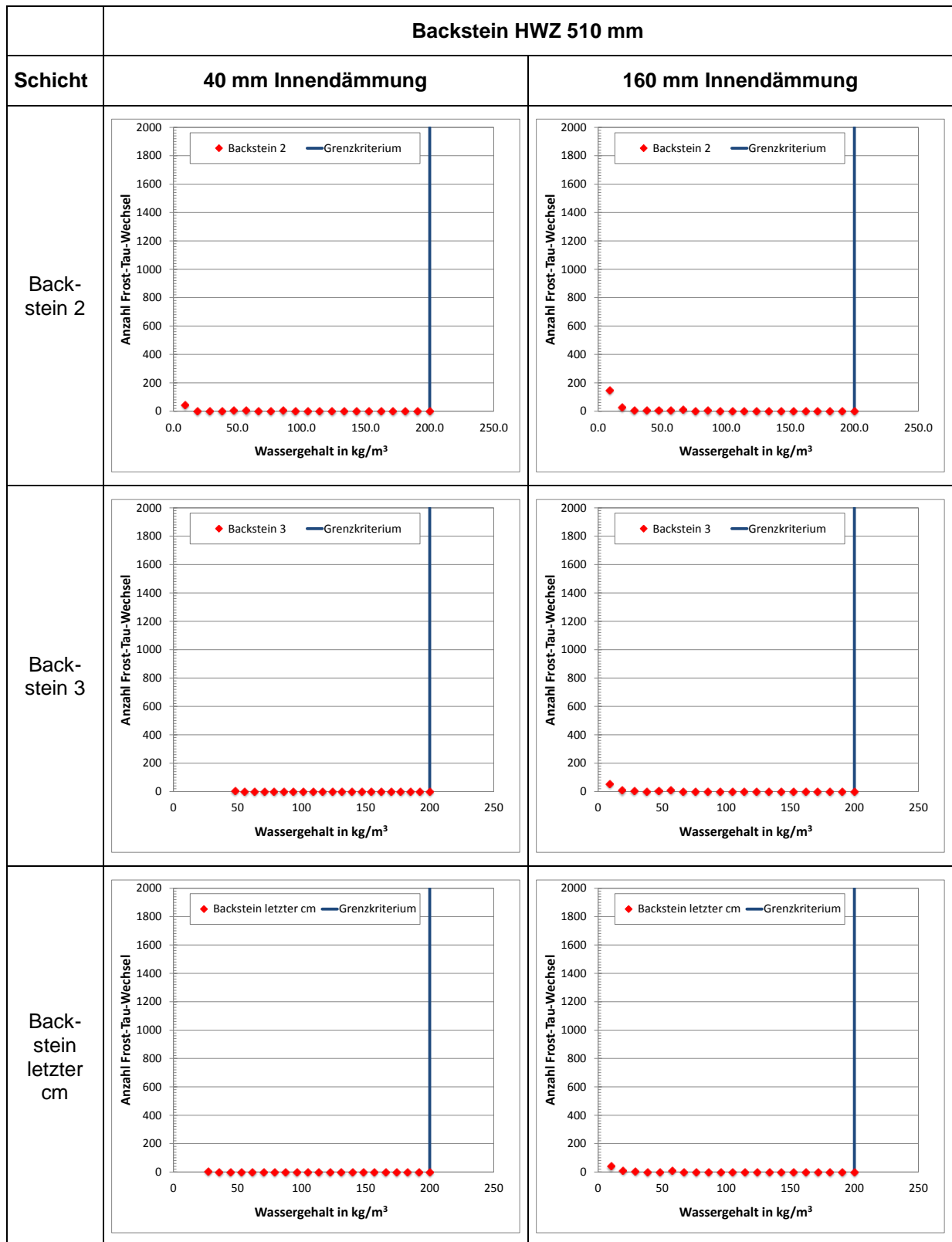
a) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

In der nachfolgenden Tabelle wird die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel bei einem bestimmten Wassergehalt (rote Punkte) mit dem kritischen Wassergehalt des Backsteintyps (blaue Linie) 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 14: Berechnete Anzahl der Frost-Tau-Wechsel als Funktion des Wassergehalts beim Backsteintyp HWZ mit 510 mm Backsteindicke (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$). Es werden jeweils die berechneten Werte für den äussersten Zentimeter, den innersten Zentimeter und den restlichen Teil des Backsteins dargestellt.

	Backstein HWZ 510 mm	
Schicht	40 mm Innendämmung	160 mm Innendämmung
Backstein 1. cm		
Backstein 1		

Fortsetzung Tabelle 14



b) 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 3.8.2 dargestellt.

c) Relative Feuchte an Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung ist die relative Feuchte erst nach 6 Jahren unter 80 %, bei 160 mm erst nach über 14 Jahren (siehe Abb. 26). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante HWZ 510 mm Backstein mit Glaswollendämmung 40 mm und feuchtevariabler Dampfbremse ergibt ein Schimmelmilieuwachstum von über 200 mm/Jahr, was einem Mould-Index von etwa 2 entspricht.

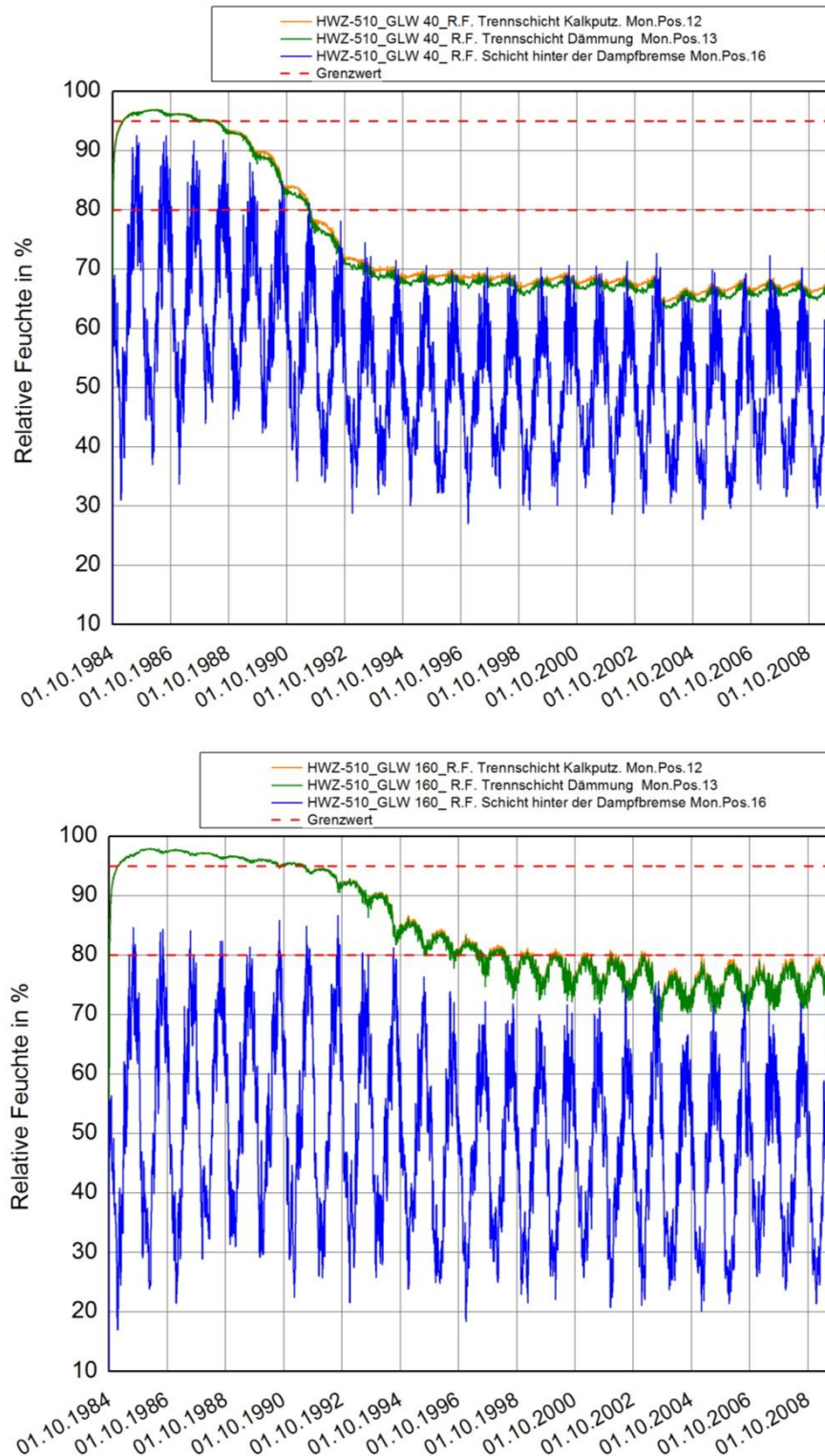


Abb. 26: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Glaswolle mit einer Dicke von 40 und 160 mm und feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)