



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

ANHANG A 6: ERGEBNISKATALOG HOLZFASERDÄMMUNG

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 Holzfaserdämmung mit historischem Backstein ZC - 250 mm	10
3.1.1	Zusammenfassung	11
3.1.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	13
3.1.3	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	18
3.2	IDS Holzfaserdämmung mit historischem Backstein ZC - 510 mm	22
3.2.1	Zusammenfassung	23
3.2.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	25
3.2.3	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	31
3.3	IDS Holzfaserdämmung mit historischem Backstein HWZ - 250 mm	35
3.3.1	Zusammenfassung	36
3.3.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	38
3.3.3	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	43
3.4	IDS Holzfaserdämmung mit historischem Backstein HWZ - 510 mm	47
3.4.1	Zusammenfassung	48
3.4.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	50
3.4.3	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	56

4	Ergebniskatalog (Anfangsfeuchte Profil 2)	60
4.1	IDS Holzfaserdämmung mit historischem Backstein ZC - 250 mm	60
4.1.1	Zusammenfassung	61
4.1.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	61
4.2	IDS Holzfaserdämmung mit historischem Backstein ZC - 510 mm	65
4.2.1	Zusammenfassung	66
4.2.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	66
4.3	IDS Holzfaserdämmung mit historischem Backstein HWZ - 250 mm	70
4.3.1	Zusammenfassung	71
4.3.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	71
4.4	IDS Holzfaserdämmung mit historischem Backstein HWZ - 510 mm	75
4.4.1	Zusammenfassung	76
4.4.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	76

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.

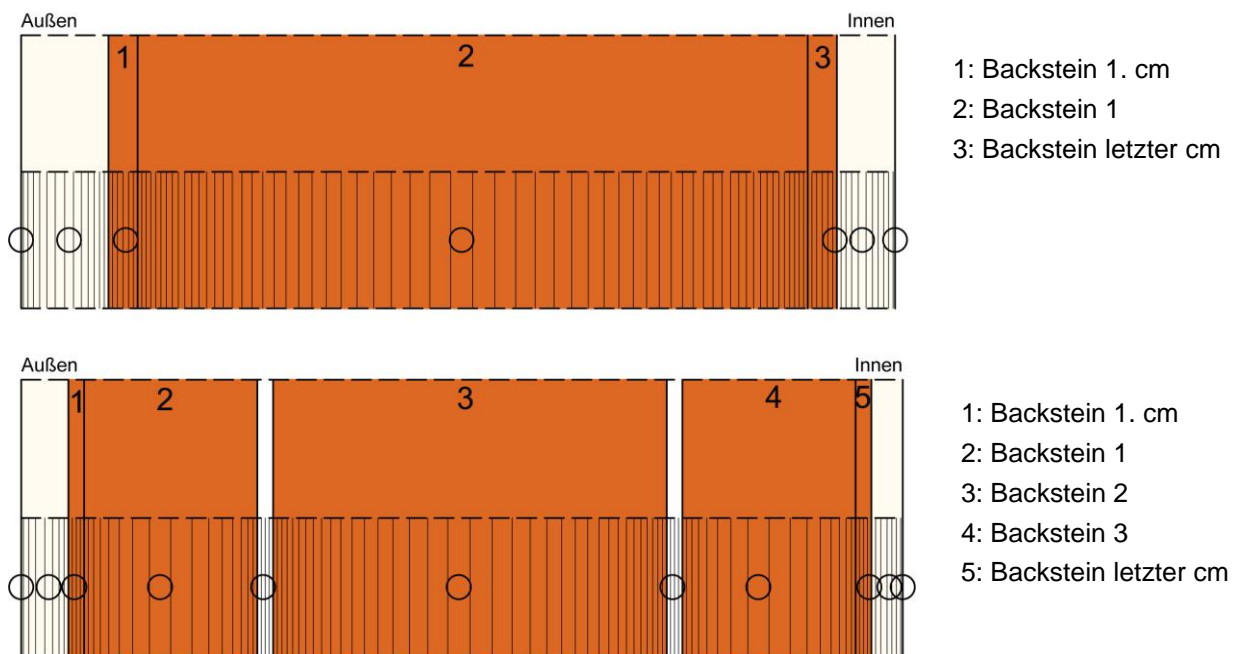


Abb. 1: Bezeichnung der Schichten zur Auswertung des Frostkriteriums für Mauerwerke der Dicke 300 mm (oben) und 560 mm (unten).

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.

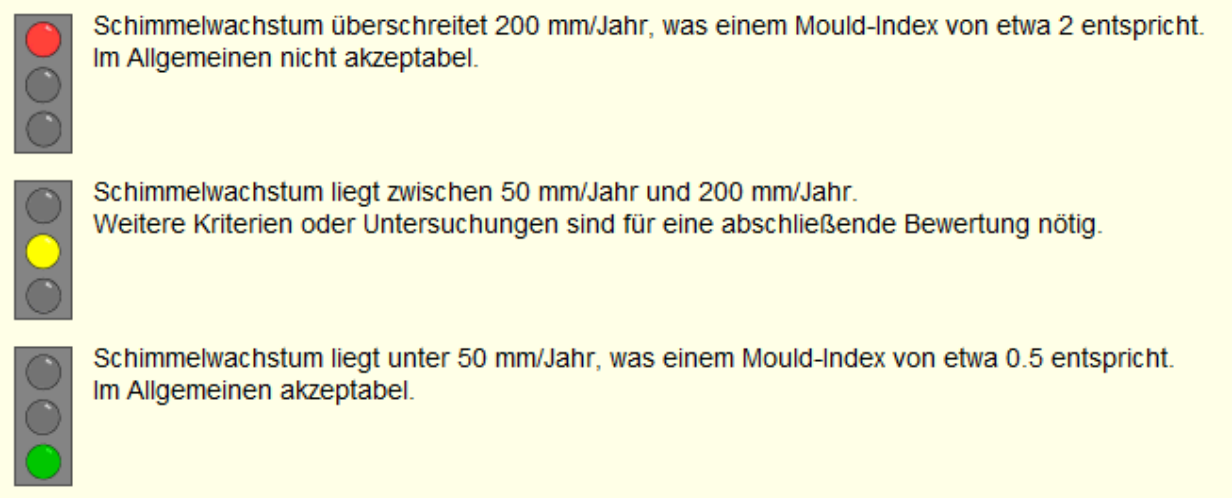


Abb. 2: „Ampel-System“ zu den Ergebnissen einer WUFI-BIO Simulation (Quelle: WUFI-Bio 3.0 Online-Hilfe)

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
Holzfaserdämmung (Pavadentro)	Seite 10	Seite 22	Seite 35	Seite 47
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 $w_{w, A} = 0.5 \text{ kg/m}^2 \text{ h}^{0.5}$ ist $\mu = 19.0$ beim Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w_{w, A} = 0.1 \text{ kg/m}^2 \text{ h}^{0.5}$ 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. Holztafelung der Unterkonstruktion in der Wärmedämmebene berechnet							

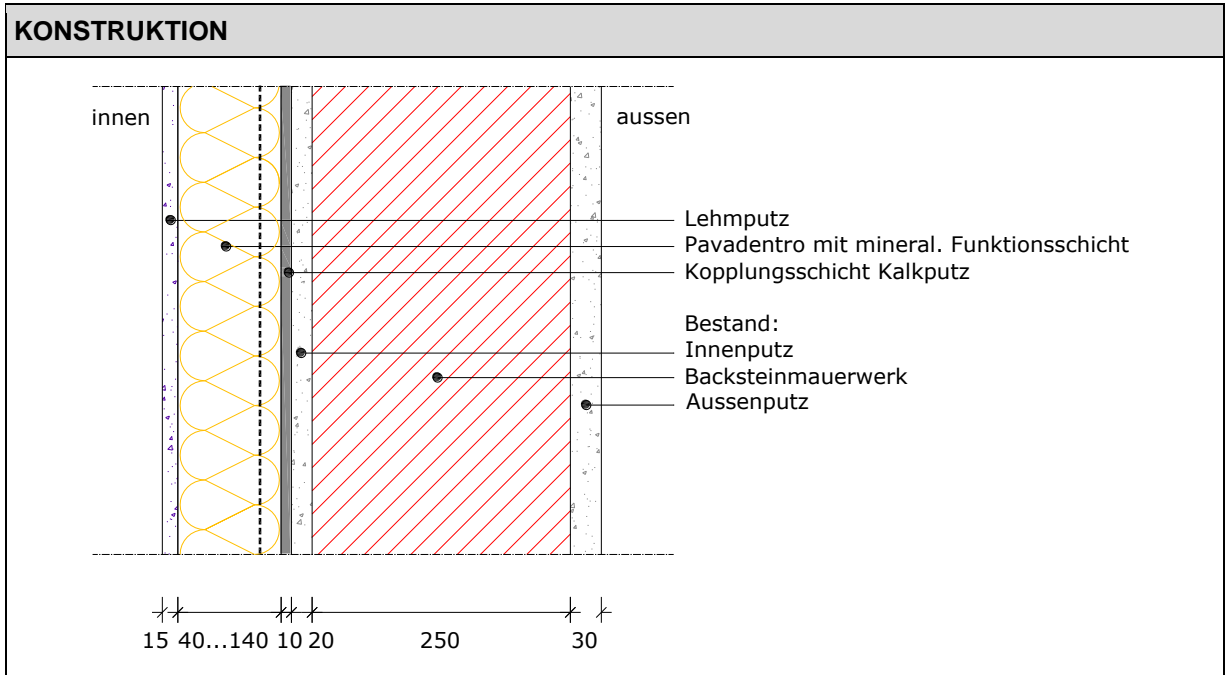
③ Danach werden die Versagenskriterien in einer Übersichtstabelle zusammengestellt und das Innendämmsystem für die verschiedenen Dicken der Wärmedämmung analysiert. ✓ bedeutet, das Kriterium wird eingehalten, ✗ bedeutet, das Kriterium wird nicht erfüllt.

VERSAGENSKRITERIEN						
(Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0.5})$)						
Kenngrösse	Bedingung	Dicke Innendämmung				
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100\text{-}120 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Wassergehalt in Dämmschicht	Wassergehalt < 20 M.-%	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte in Dämmschicht	Relative Feuchte < 95 %	✓	✓	✓	✓	✓
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 Holzfaserdämmung mit historischem Backstein ZC - 250 mm



MATERIALKENNDATEN					
Baustoff	ρ in kg/m ³	c_p J/kgK	λ in W/mK	μ [-]	Porosität in %
Lehmputz	1514	1000	0.59	11	42
Pavadentro	175	1600	0.042	5	93.1
Kalkputz (Bestand + Kopplungsschicht)	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				
			Bestand	40 mm	80 mm	100 mm	120 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.33	1.26	2.16	2.61	3.05	3.50
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	2.01	0.70	0.43	0.36	0.31	0.27

3.1.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein, die relative Feuchte an der inneren Oberfläche, die relative Feuchte sowie der Wassergehalt in der Dämmschicht 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 ein Schimmelpilzwachstum. Demnach sind nur 40 mm Holzfaserdämmung bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ eine mögliche Variante. 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				
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100\text{-}120 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Wassergehalt in Dämmschicht	Wassergehalt < 20 M.-%	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte in Dämmschicht	Relative Feuchte < 95 %	✓	✓	✓	✓	✓
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				
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100\text{-}120 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Wassergehalt in Dämmschicht	Wassergehalt < 20 M.-%	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte in Dämmschicht	Relative Feuchte < 95 %	✓	✓	✓	✓	✓
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)	✗	✗	✗	✗	✗

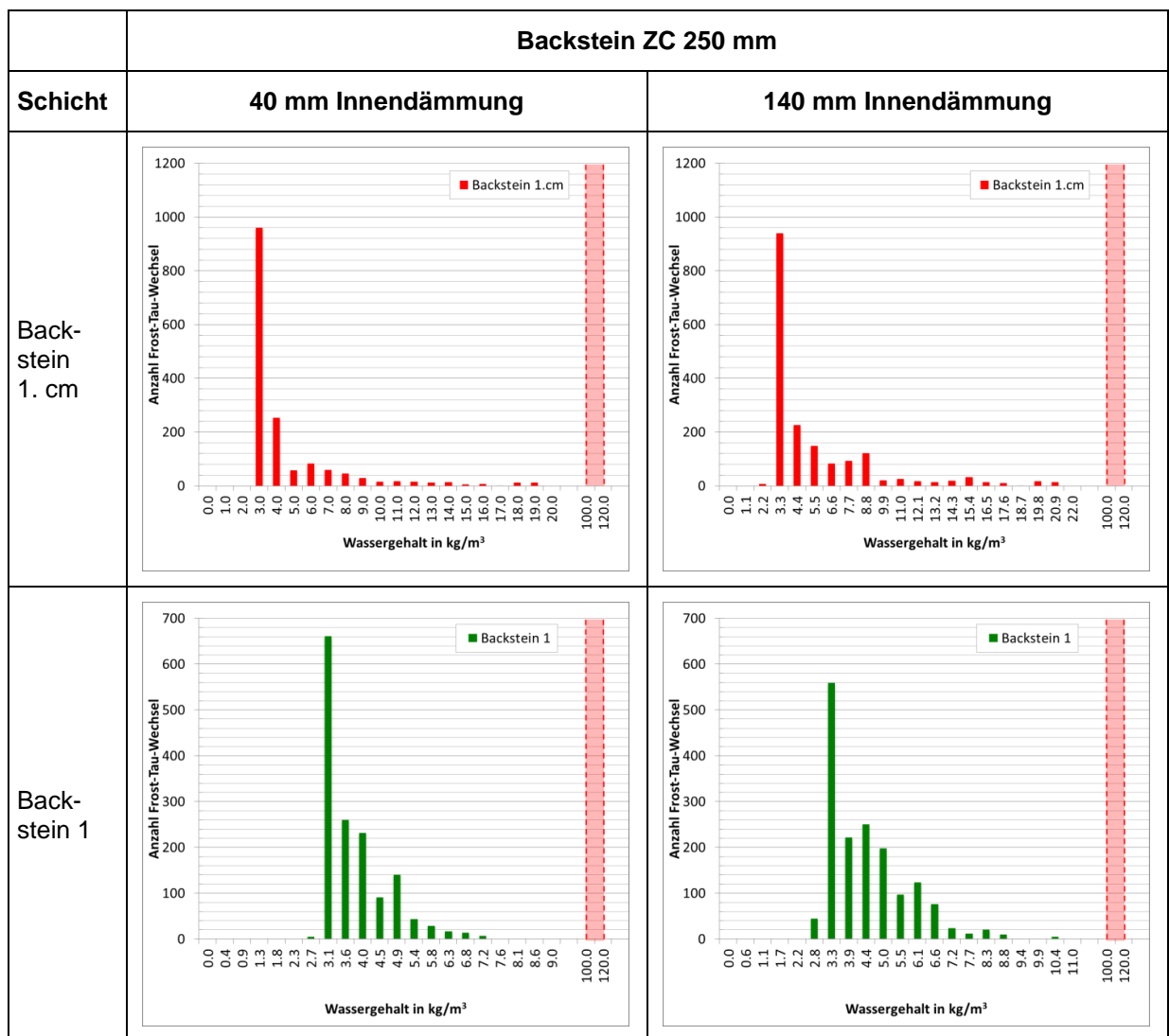
3.1.2 Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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.

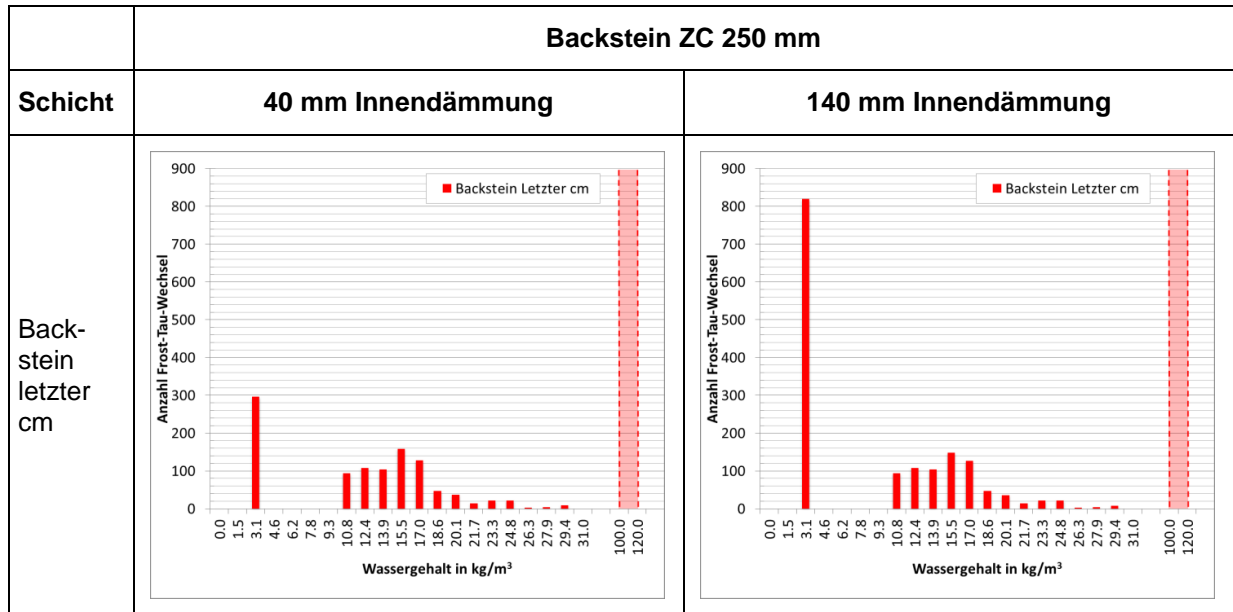
a) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

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.



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 Holzfaserdämmung mit einer Dicke von 40 mm.

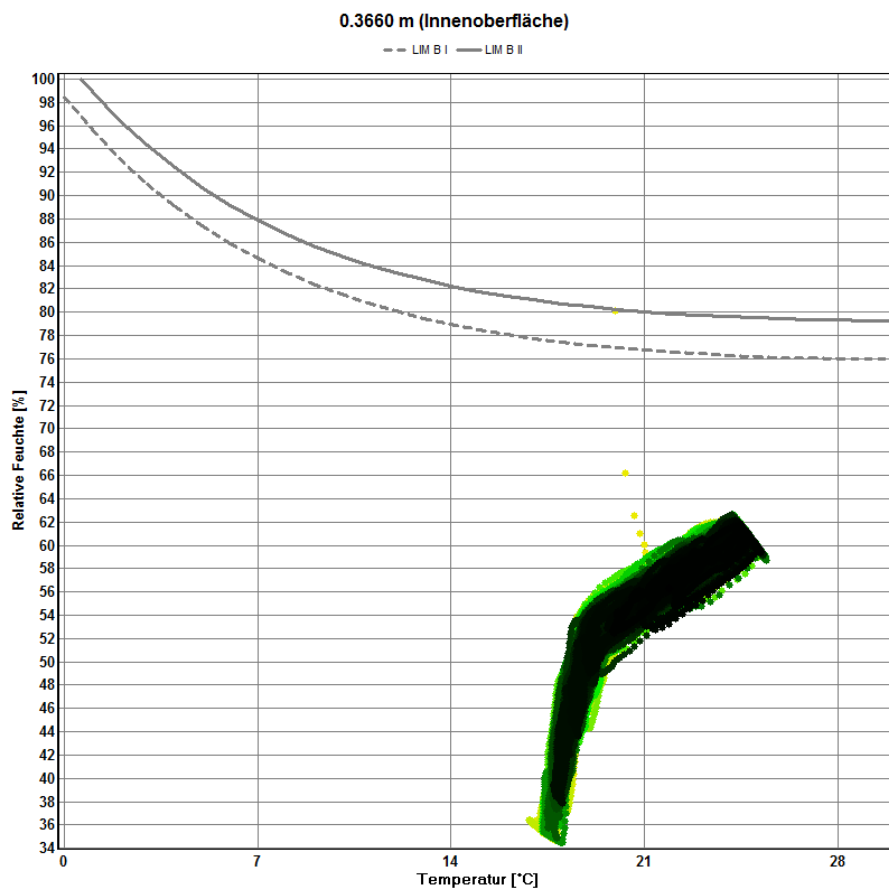


Abb. 3: Isoplethenmodell der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

c) Wassergehalt in Dämmschicht

Der Wassergehalt in der Dämmschicht überschreitet bei allen Dicken nicht den Grenzwert von 20 M.-% (siehe Abb. 4).

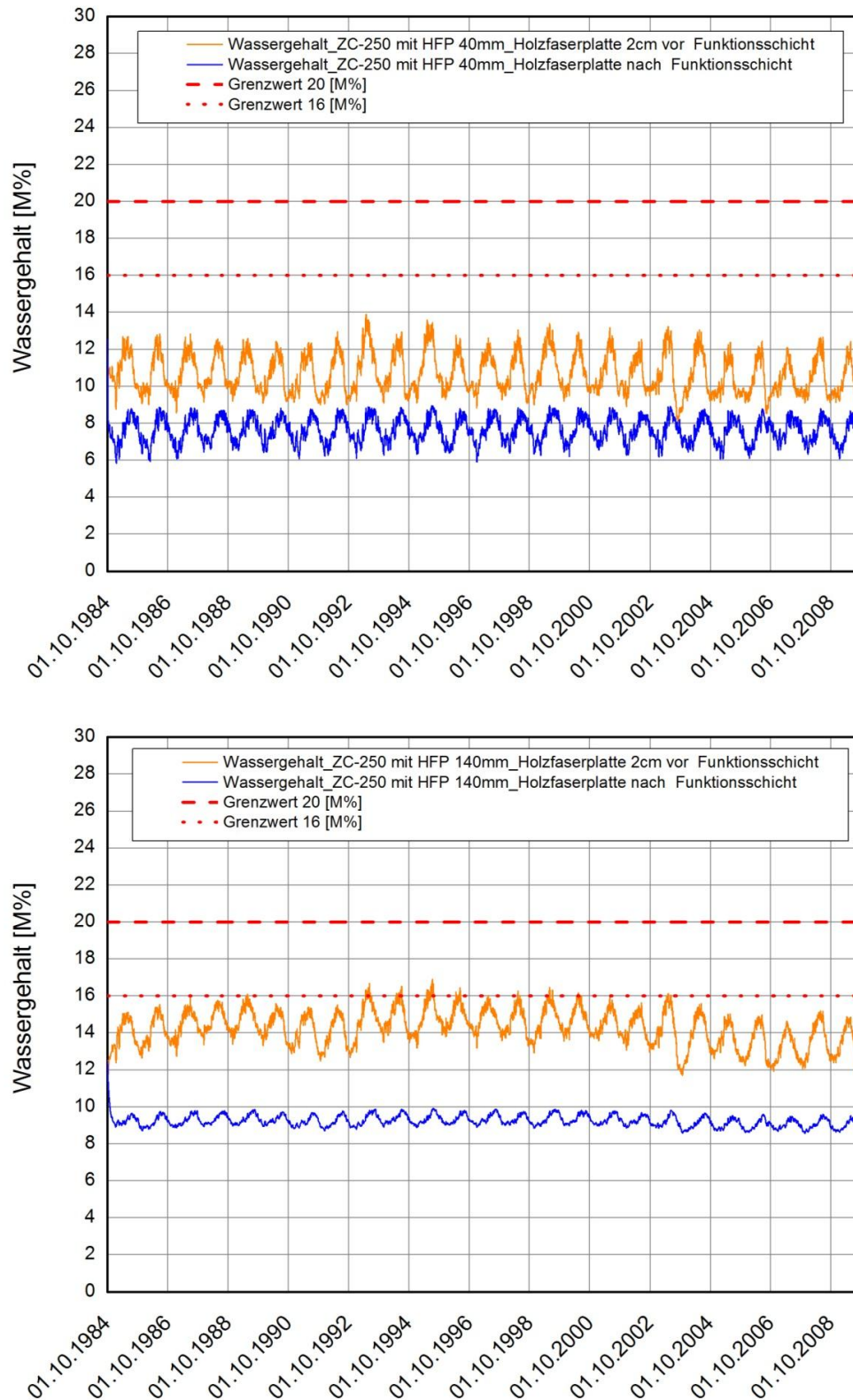


Abb. 4: Wassergehalt der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei allen Dicken nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 5).

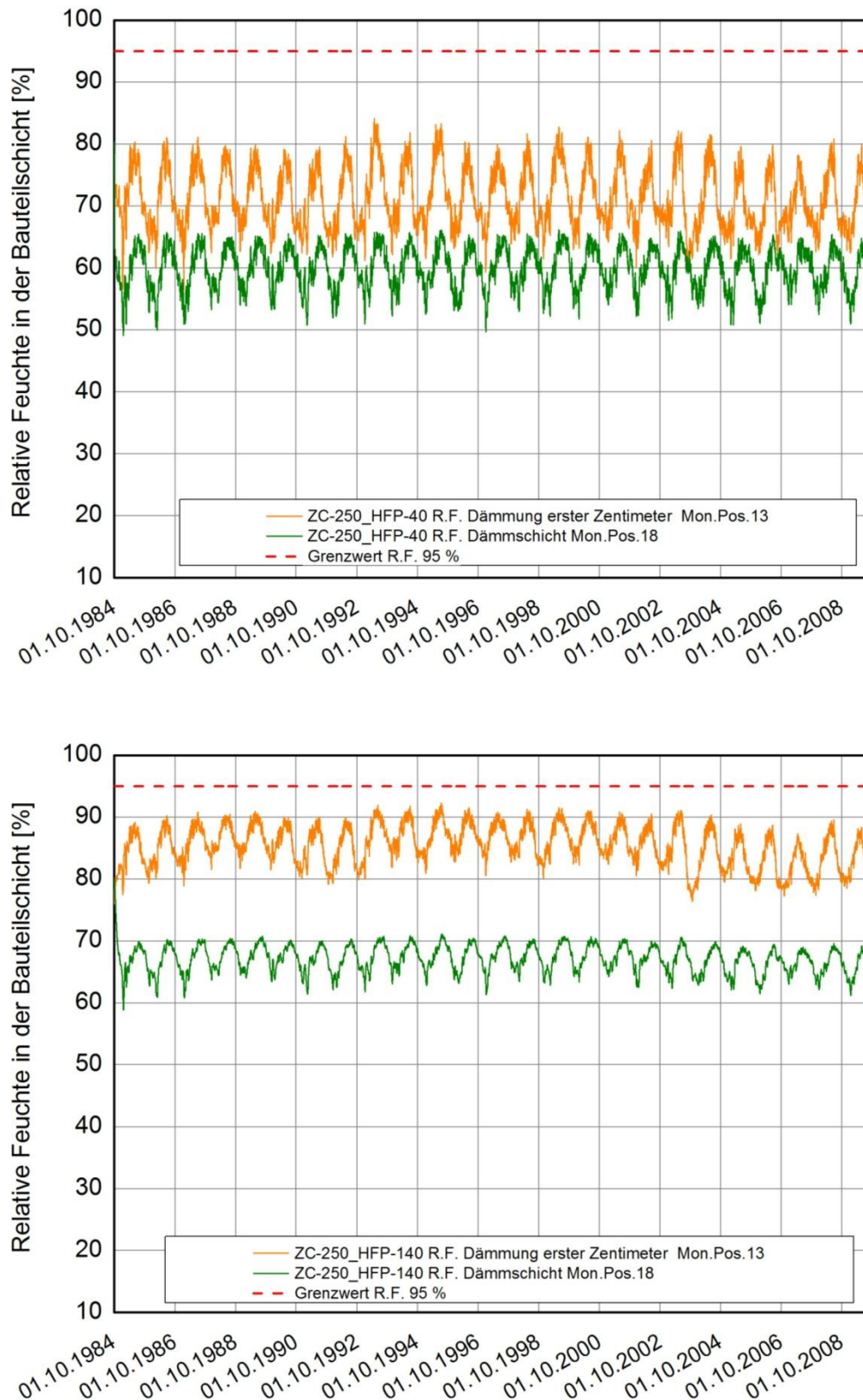


Abb. 5: Relative Feuchte in der Dämmschicht der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Außenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 und 140 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte über 25 Jahre um 80% bzw. 85% (siehe Abb. 6). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante ZC 250 mm Backstein mit Holzfaserdämmung 40 mm ergibt ein Schimmelwachstum von 50-200 mm/Jahr über 25 Jahren.

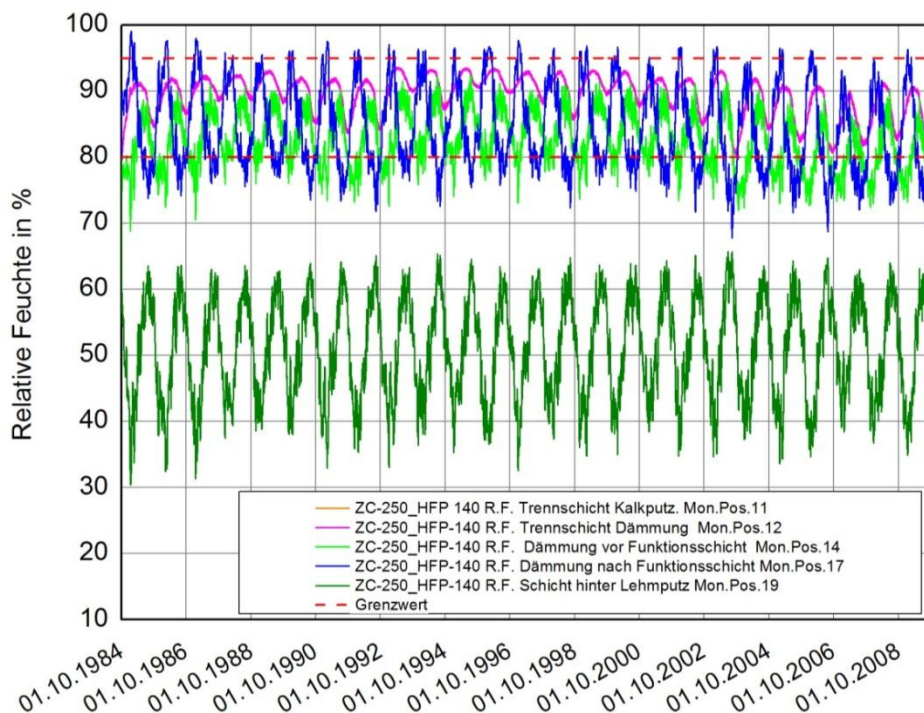
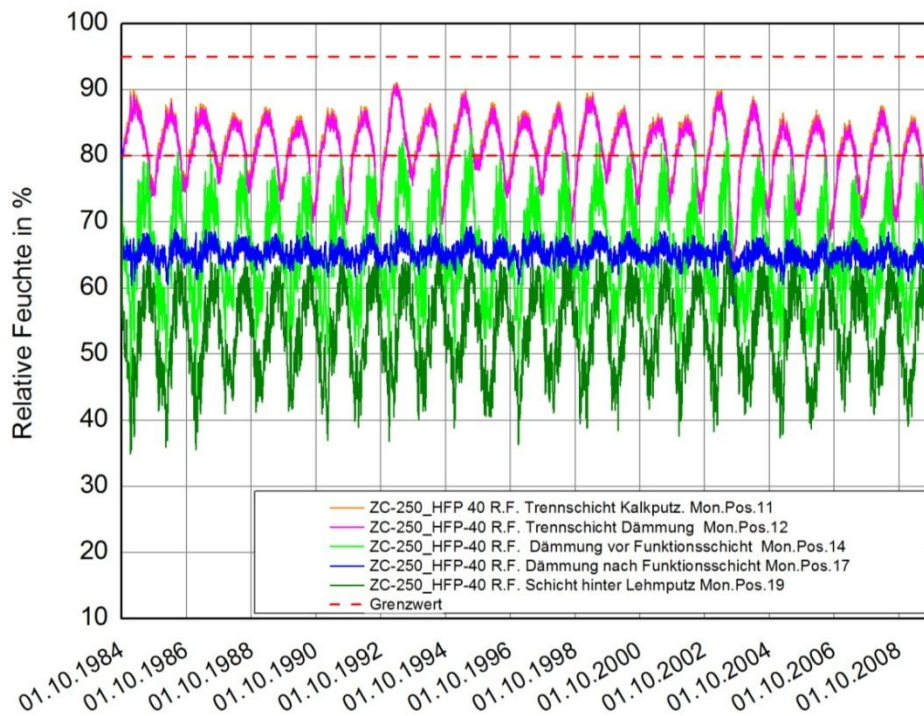


Abb. 6: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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) 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) Wassergehalt in Dämmschicht

Der Wassergehalt in der Dämmschicht überschreitet bei Dicken bis 80 mm nicht den Grenzwert von 20 M.-%. (siehe Abb. 7).

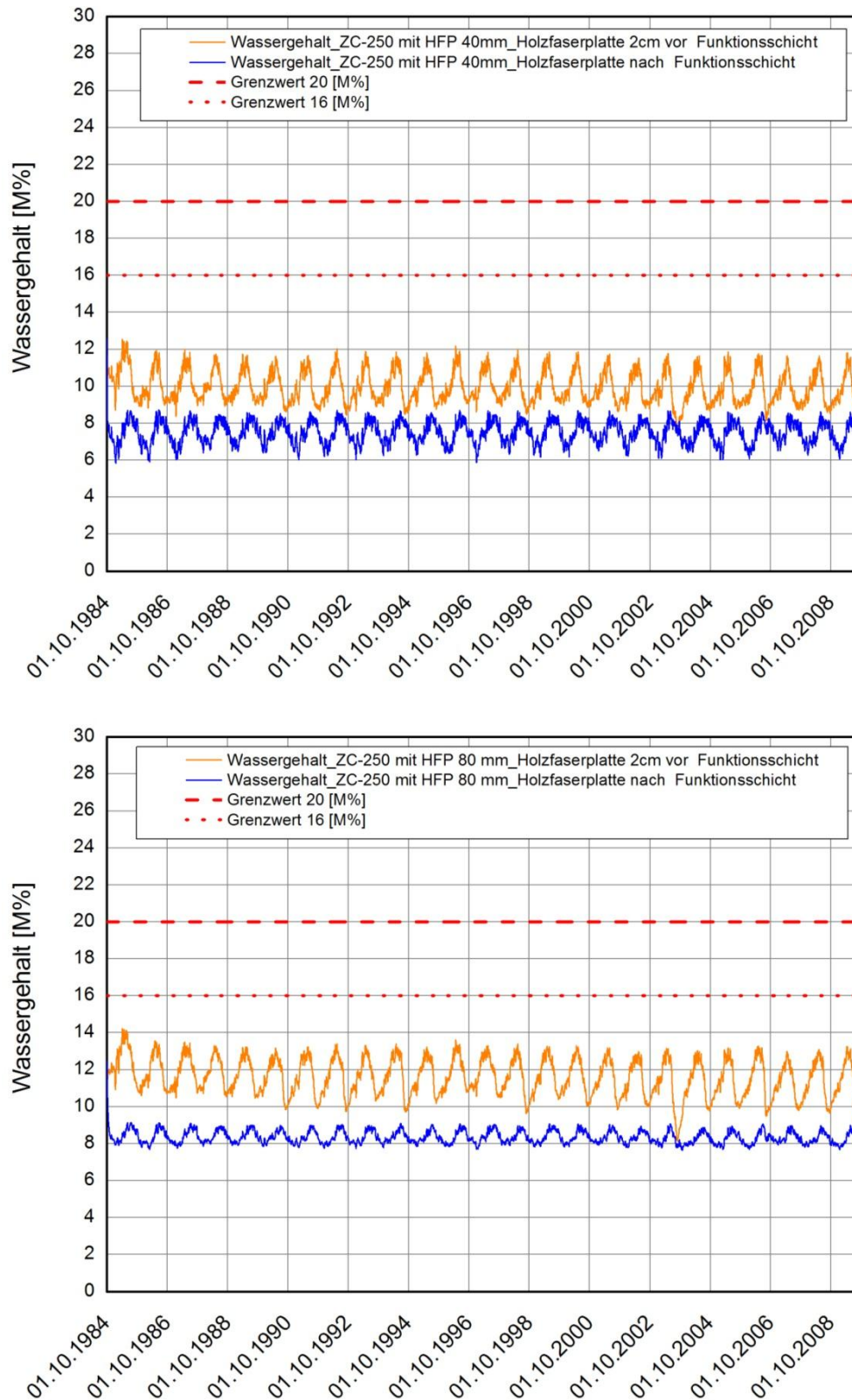


Abb. 7: Wassergehalt der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 80 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei Dicken bis 80 mm nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 8).

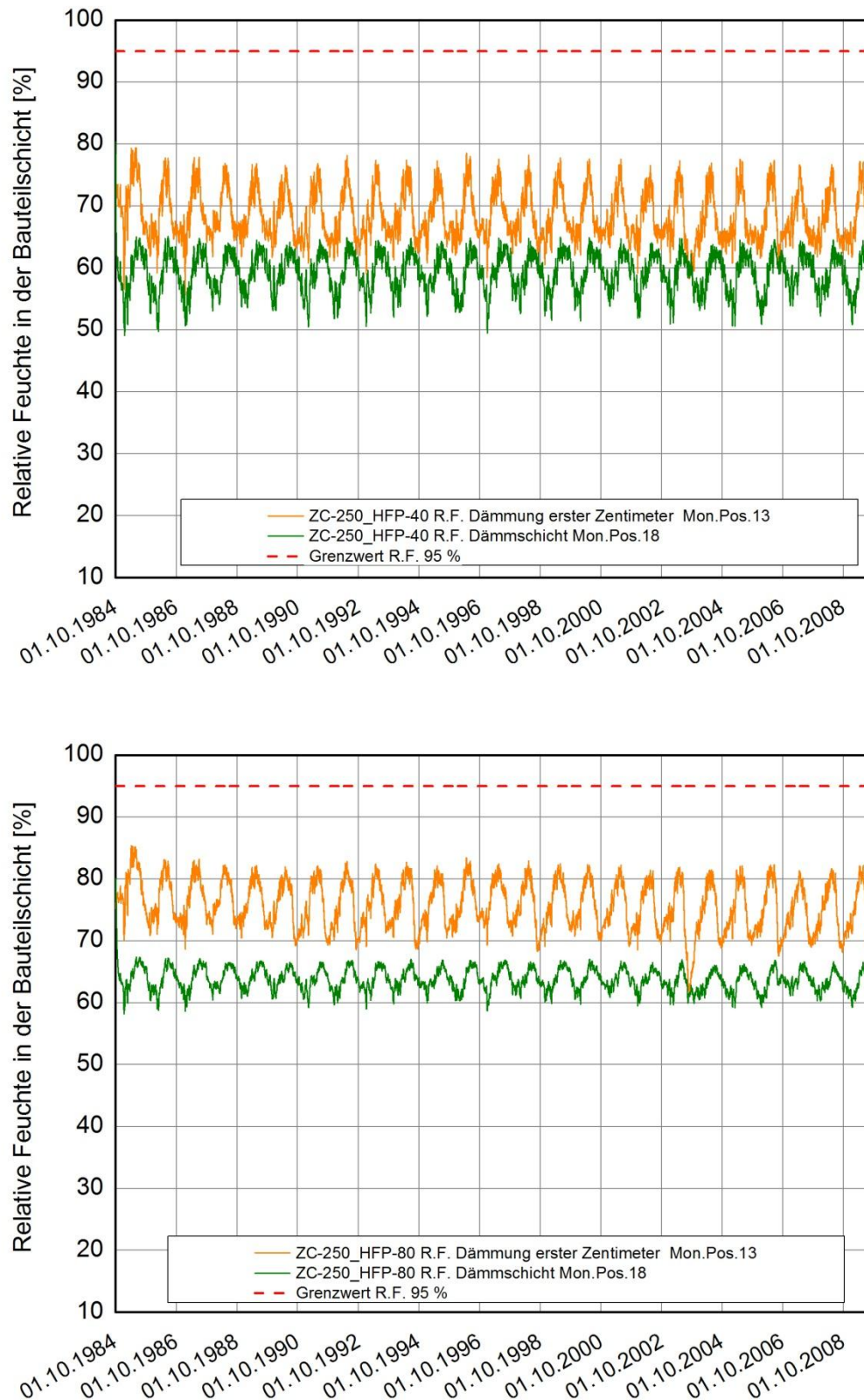


Abb. 8: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 80 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 und 80 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte über 25 Jahre um 80 % bzw. 85 % (siehe Abb. 9). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante ZC 250 mm Backstein mit Holzfaserdämmung 80 mm ergibt ein Schimmelwachstum von 50-200 mm/Jahr über 20 Jahren.

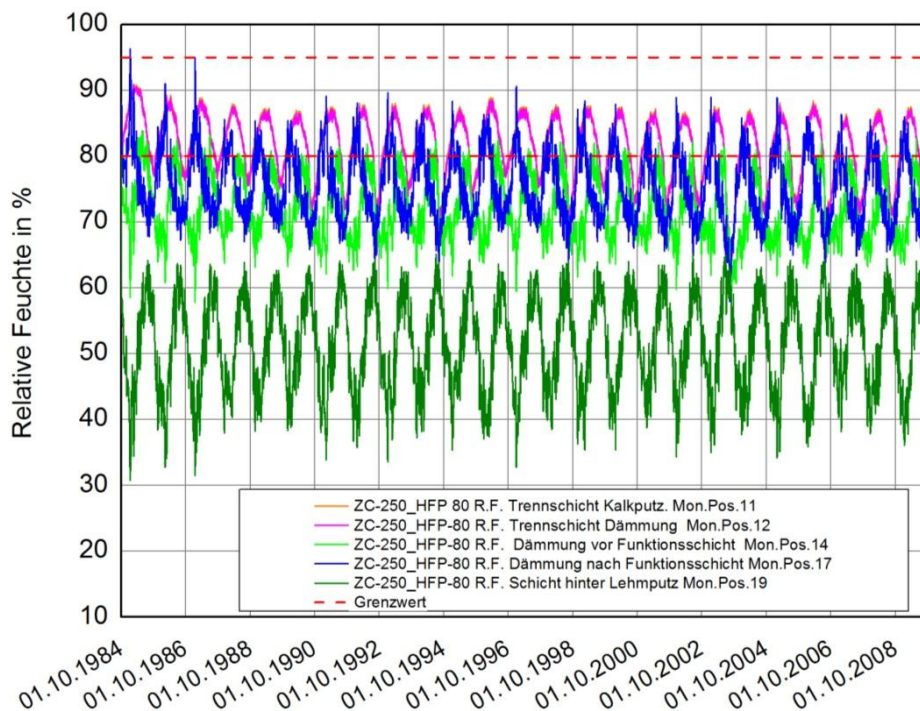
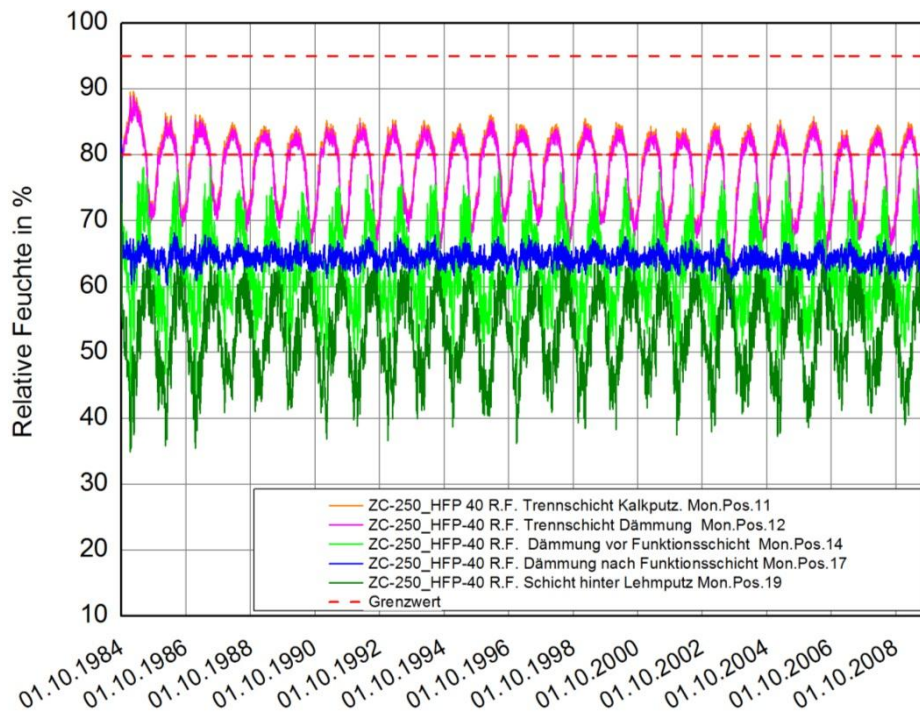
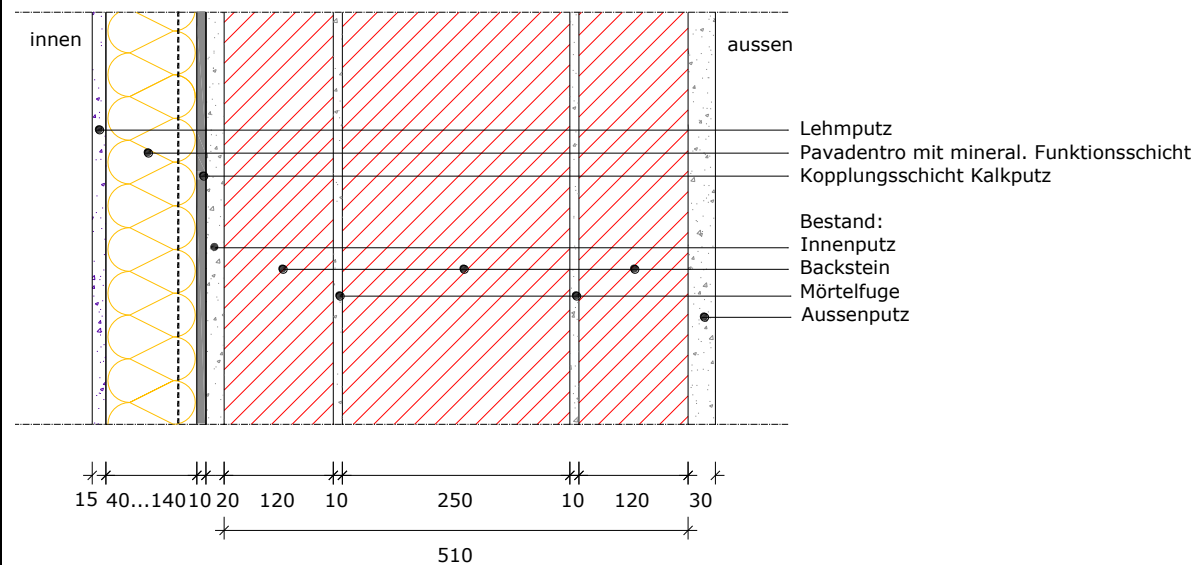


Abb. 9: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.2 IDS Holzfaserdämmung 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 %
Lehmputz	1514	1000	0.59	11	42
Pavadentro	175	1600	0.042	5	93.1
Kalkputz (Bestand + Kopplungsschicht)	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 $w = 0.5 \text{ kg/(m}^2\text{h}^{0.5})$ ist $\mu = 19.0$
beim Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg/(m}^2\text{h}^{0.5})$ ist $\mu = 12.0$

WÄRMESCHUTZ

Kenngrösse	Einheit		Dicke Innendämmung				
		Bestand	40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.61	1.55	2.44	2.89	3.34	3.79
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	1.28	0.58	0.38	0.33	0.29	0.25

3.2.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein, die relative Feuchte an der inneren Oberfläche, die relative Feuchte sowie der Wassergehalt in der Dämmschicht 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 ein Schimmelpilzwachstum. Demnach sind nur 40 mm Holzfaserdämmung eine mögliche Variante. 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				
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100\text{-}120 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Wassergehalt in Dämmschicht	Wassergehalt < 20 M.-%	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte in Dämmschicht	Relative Feuchte < 95 %	✓	✓	✓	✓	✓
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				
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 100\text{-}120 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Wassergehalt in Dämmschicht	Wassergehalt < 20 M.-%	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte in Dämmschicht	Relative Feuchte < 95 %	✓	✓	✓	✓	✓
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)	✗	✗	✗	✗	✓

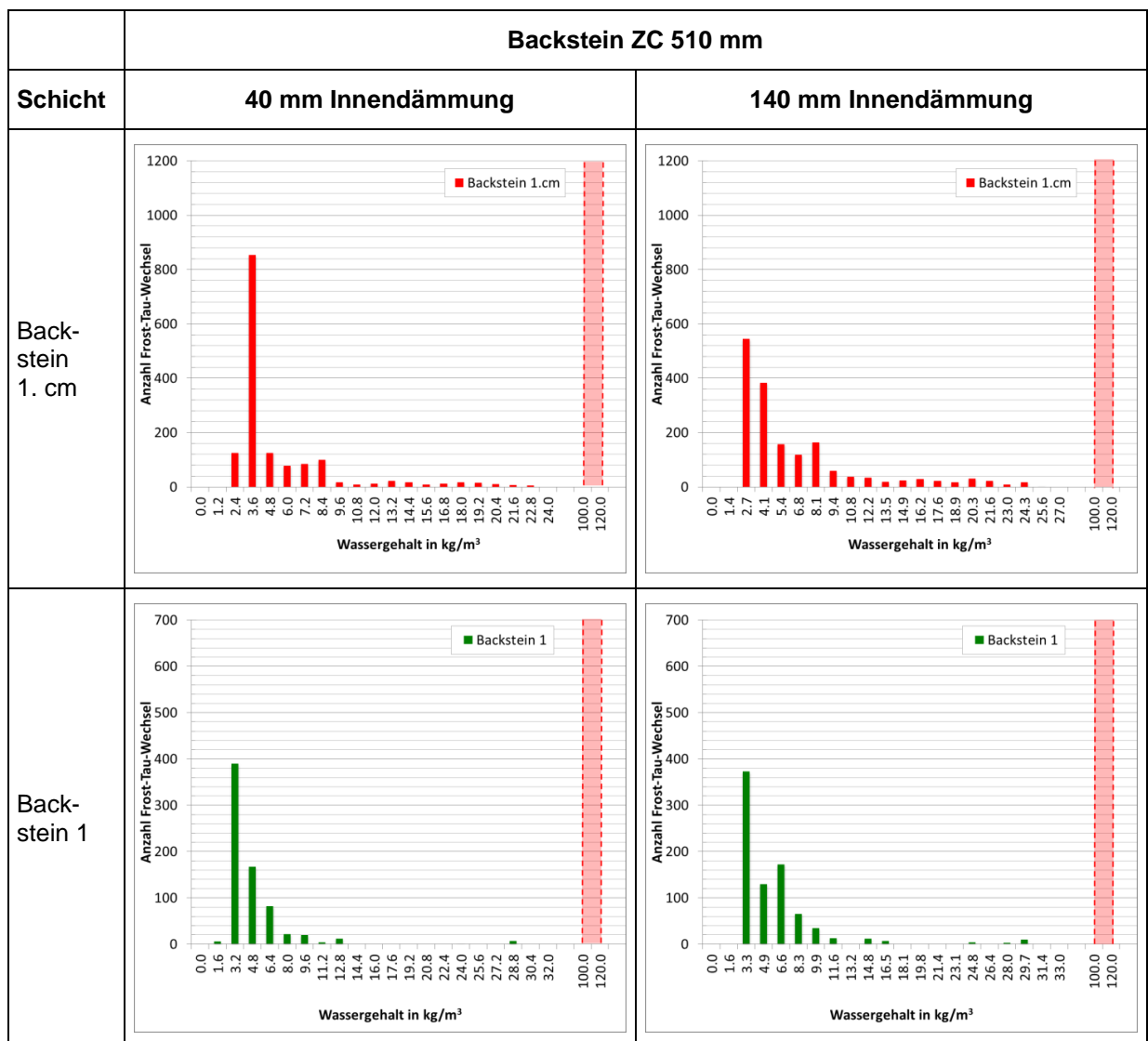
3.2.2 Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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.

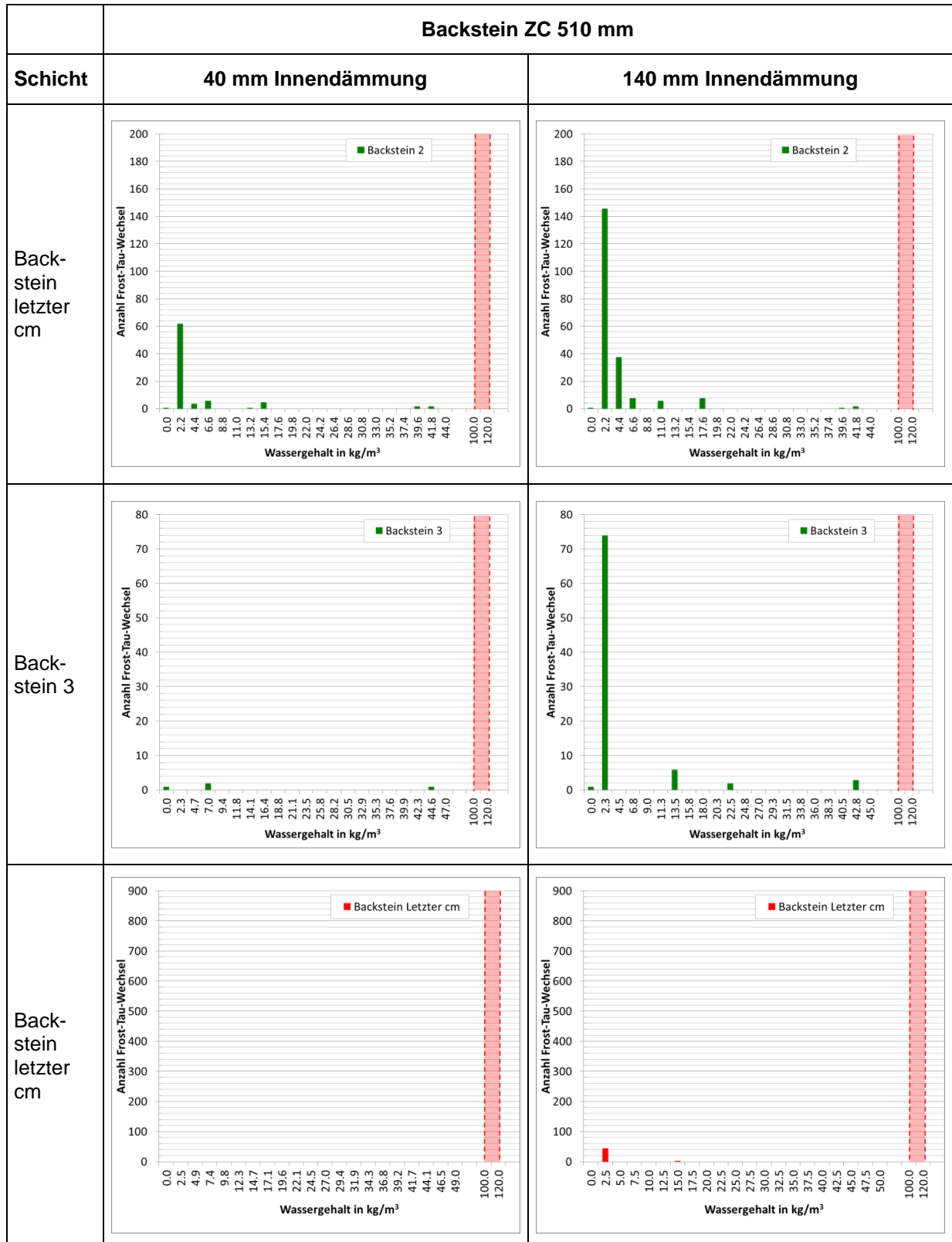
a) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

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) Wassergehalt in Dämmschicht

Der Wassergehalt in der Dämmschicht überschreitet bei allen Dicken nicht den Grenzwert von 20 M.-% (siehe Abb. 10).

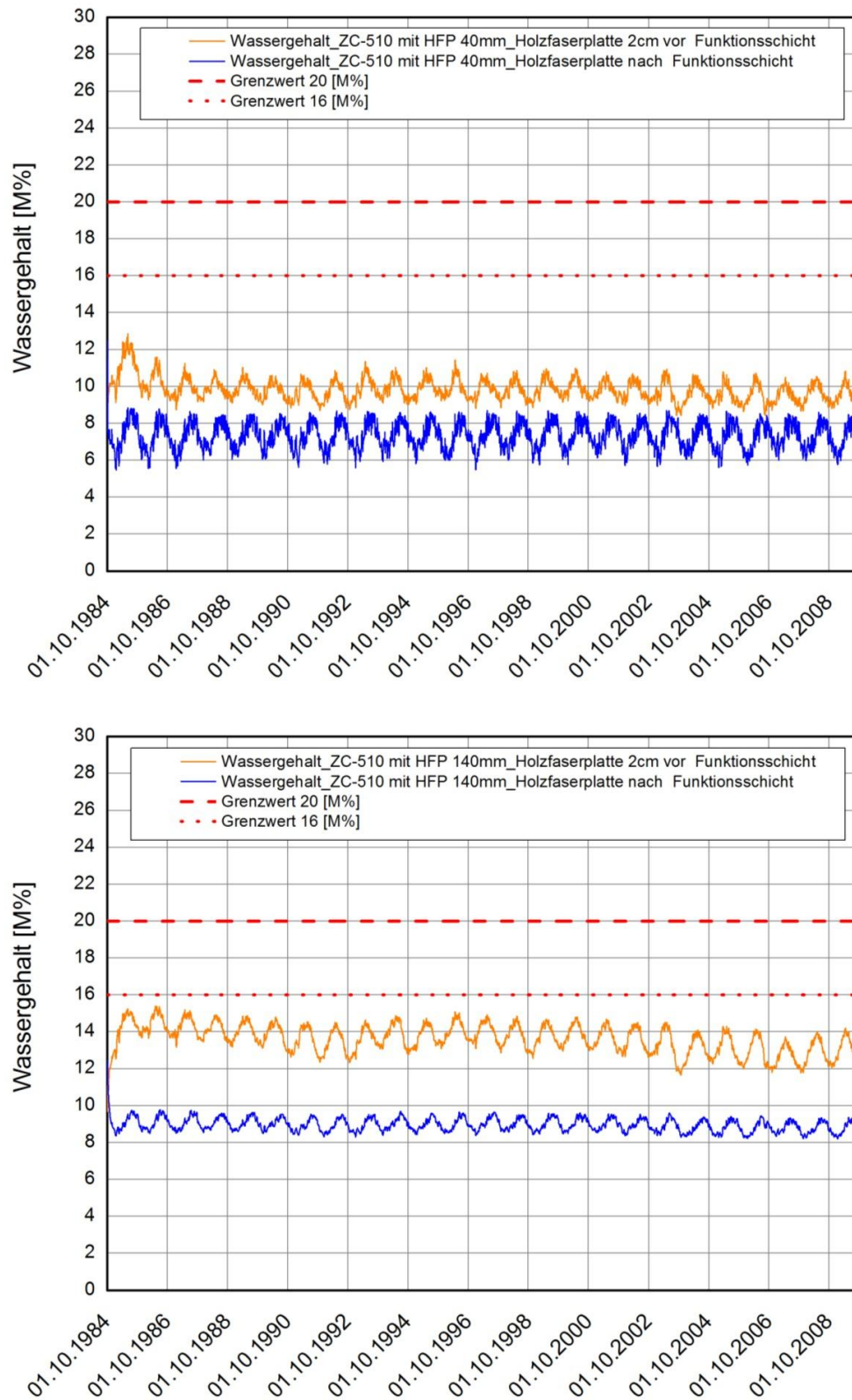


Abb. 10: Wassergehalt der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

c) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei allen Dicken nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 11).

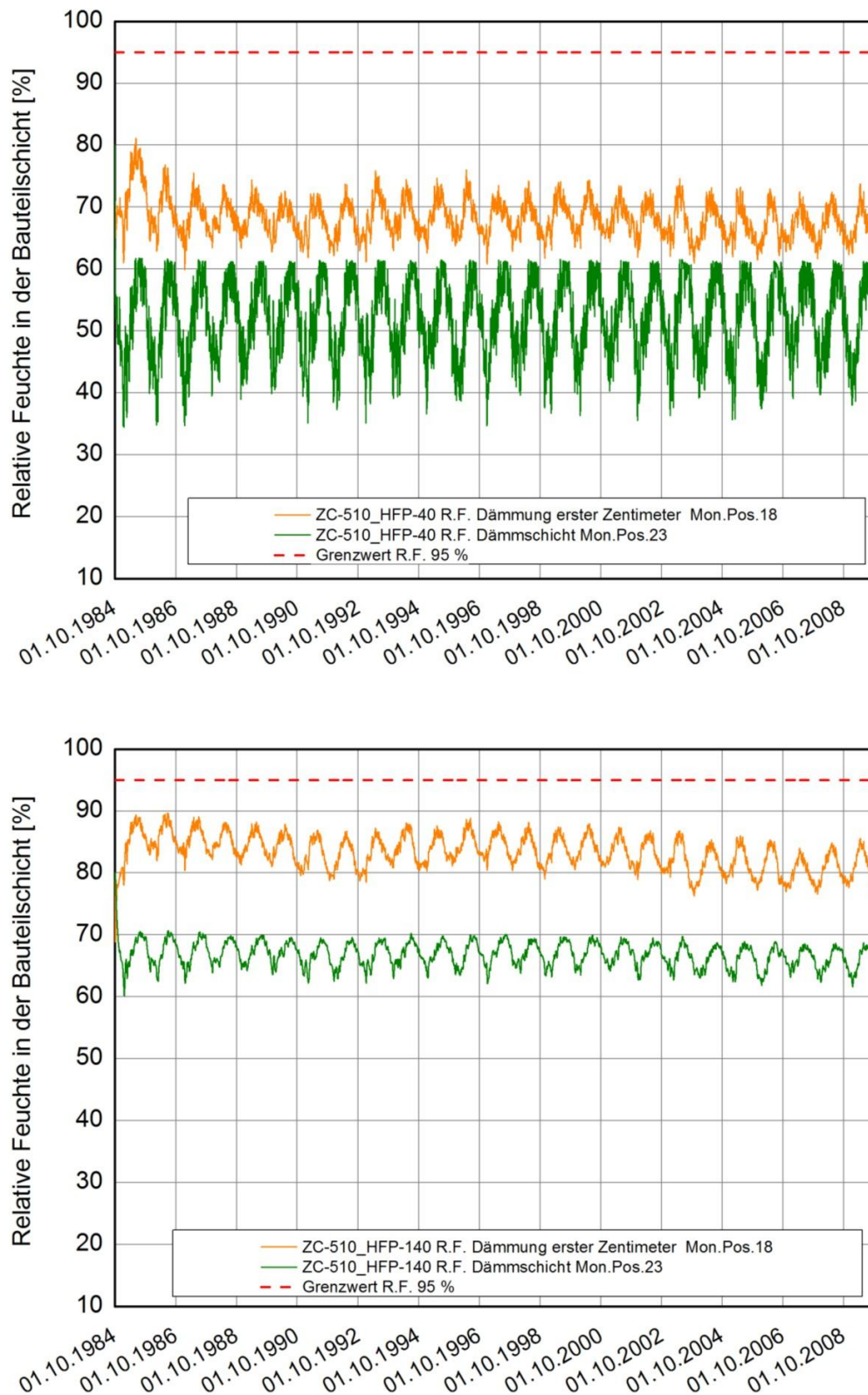


Abb. 11: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) 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 Holzfaserdämmung mit einer Dicke von 40 mm.

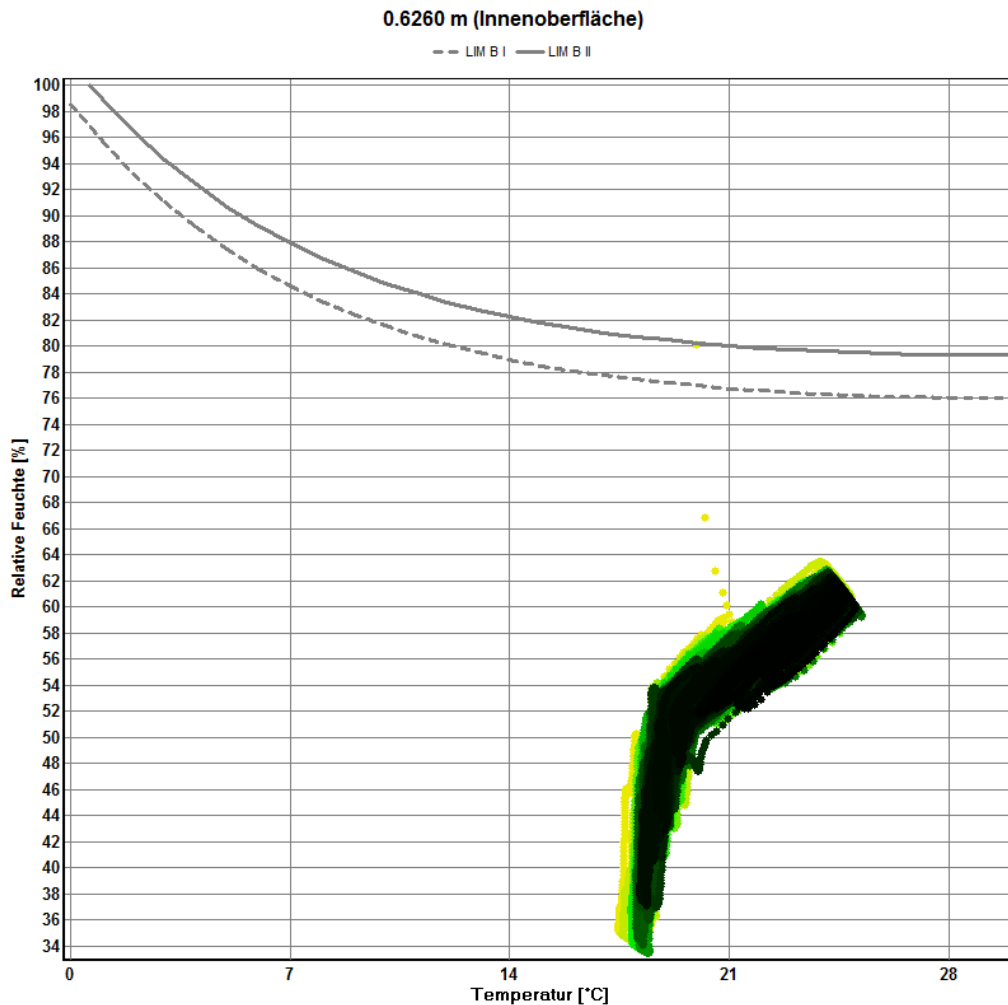


Abb. 12: Isoplethenmodell der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung schwankt die relative um 75 %, bei 140 mm Innendämmung über 80 % (siehe Abb. 13). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante ZC 510 mm Backstein mit Holzfaserdämmung 40 mm ergibt ein Schimmelpilzwachstum von 50-200 mm/Jahr in den ersten 5 Jahren bei Substratklasse 1. Bei Substratklasse 2 bleibt das Schimmelpilzwachstum über 25 Jahre unter 50mm/Jahr. Bei 80 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte um 80 %. Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante ZC 510 mm Backstein mit Holzfaserdämmung 80 mm ergibt ein Schimmelpilzwachstum von über 200 mm/Jahr in den ersten 18 Jahren bei Substratklasse 1. Danach reduziert sich das Wachstum auf 50-200 mm/Jahr.

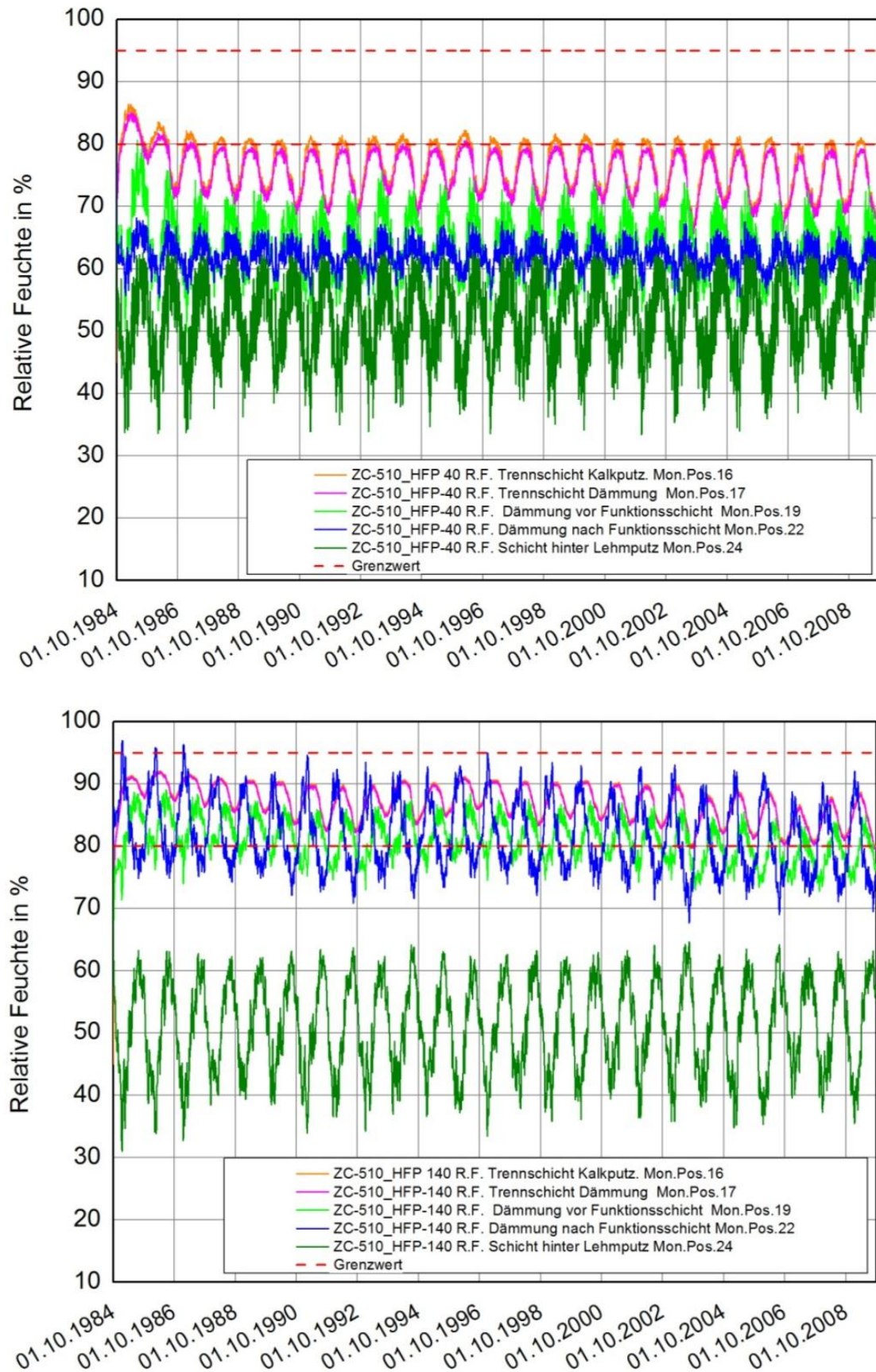


Abb. 13: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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) 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 3.2.2). 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) Wassergehalt in Dämmschicht

Der Wassergehalt in der Dämmschicht überschreitet bei Dicken bis 80 mm nicht den Grenzwert von 20 M.-% (siehe Abb. 14).

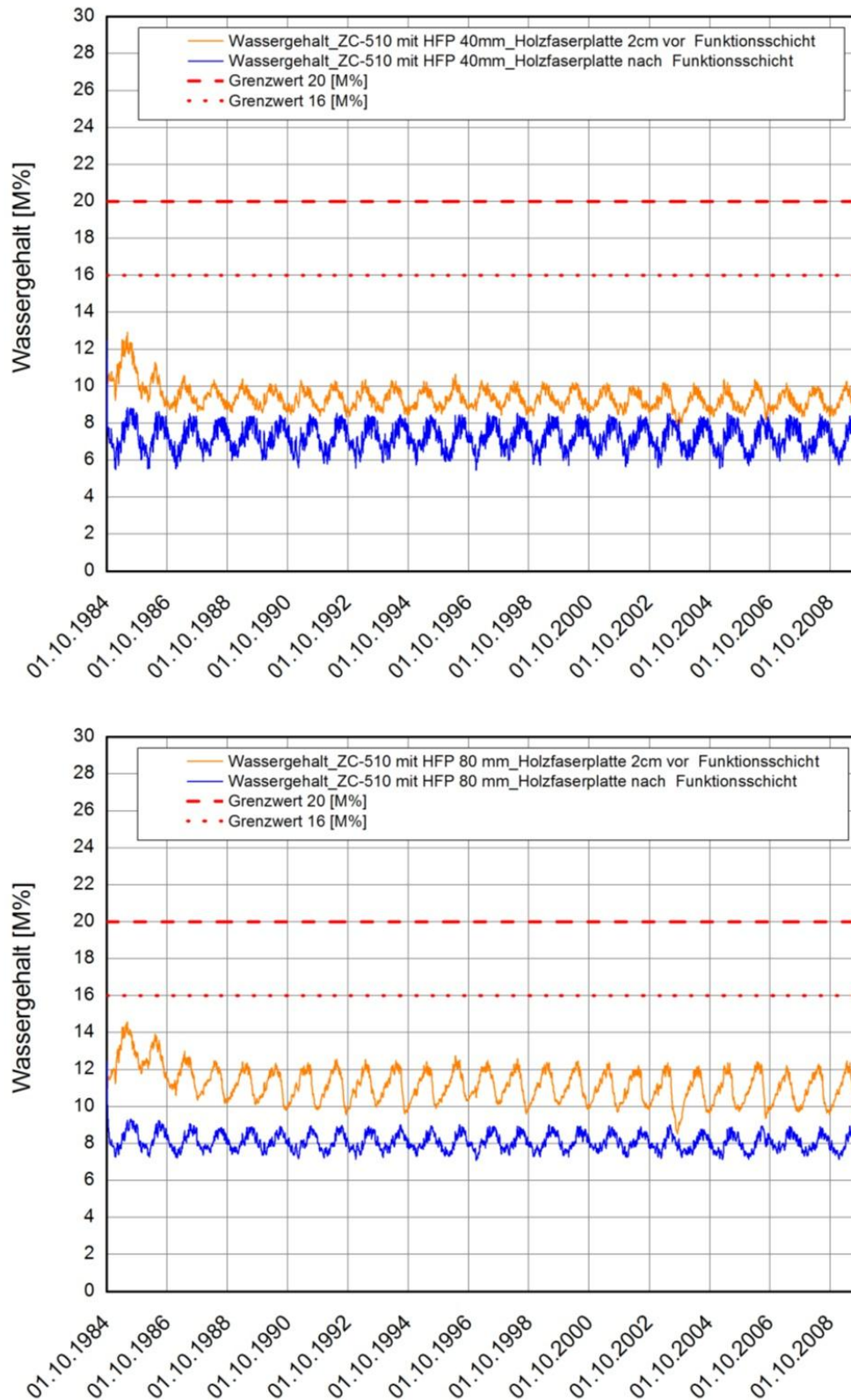


Abb. 14: Wassergehalt der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei Dicken bis 80 mm nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 15).

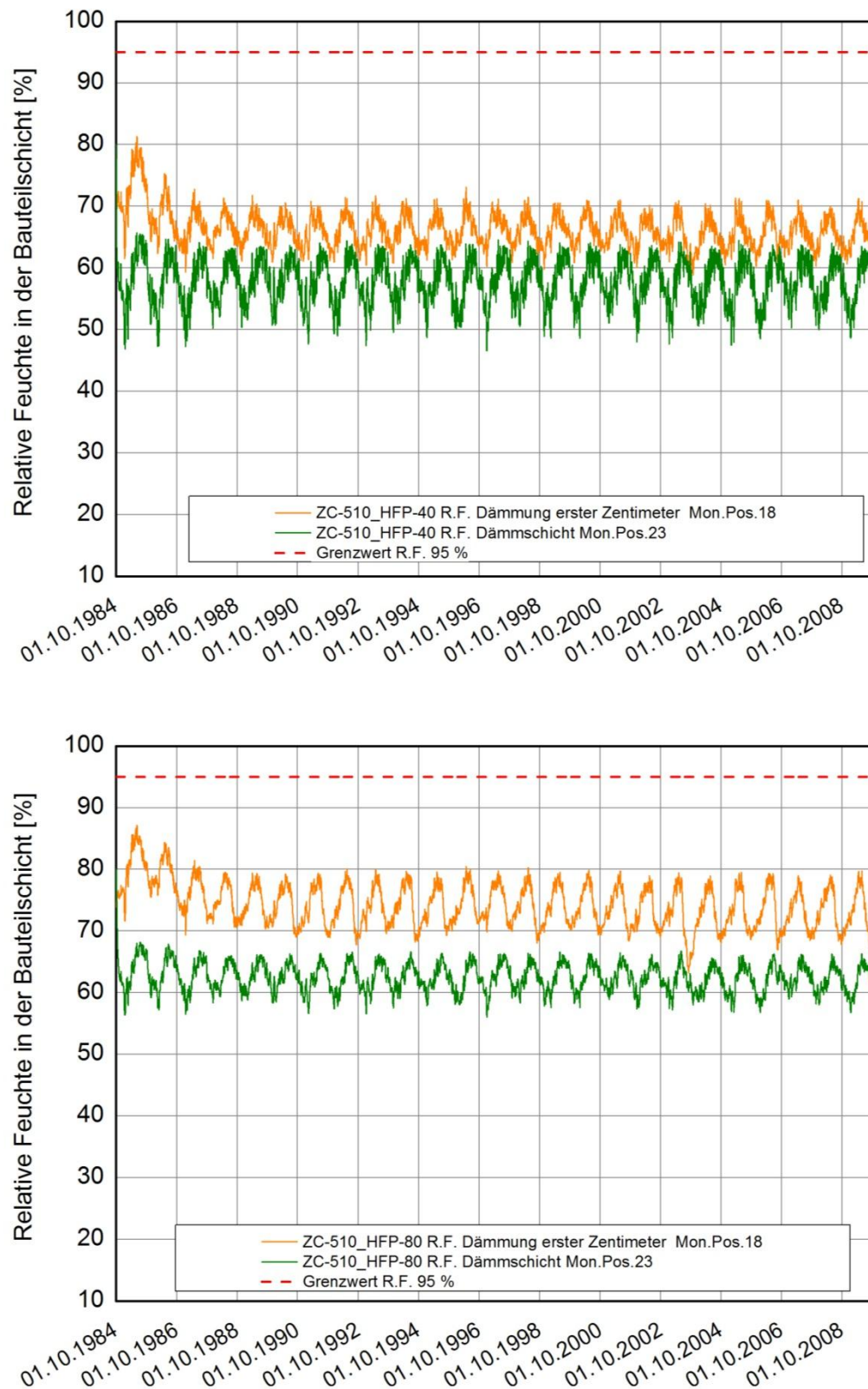


Abb. 15: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 80 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung reduziert sich die relative Feuchte innerhalb von 2 Jahren auf unter 80 % (siehe Abb. 16 oben). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante ZC 510 mm Backstein mit Holzfaserdämmung 40 mm ergibt ein Schimmelpilzwachstum von 50-200 mm/Jahr in den ersten 4 Jahren bei Substratklasse 1. Bei Substratklasse 2 bleibt das Schimmelpilzwachstum über 25 Jahre unter 50mm/Jahr. Bei 80 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte um 80 % (siehe Abb. 16 unten). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante ZC 510 mm Backstein mit Holzfaserdämmung 80 mm ergibt ein Schimmelpilzwachstum von über 200 mm/Jahr in den ersten 4 Jahren bei Substratklasse 1. Danach reduziert sich das Wachstum auf 50-200 mm/Jahr.

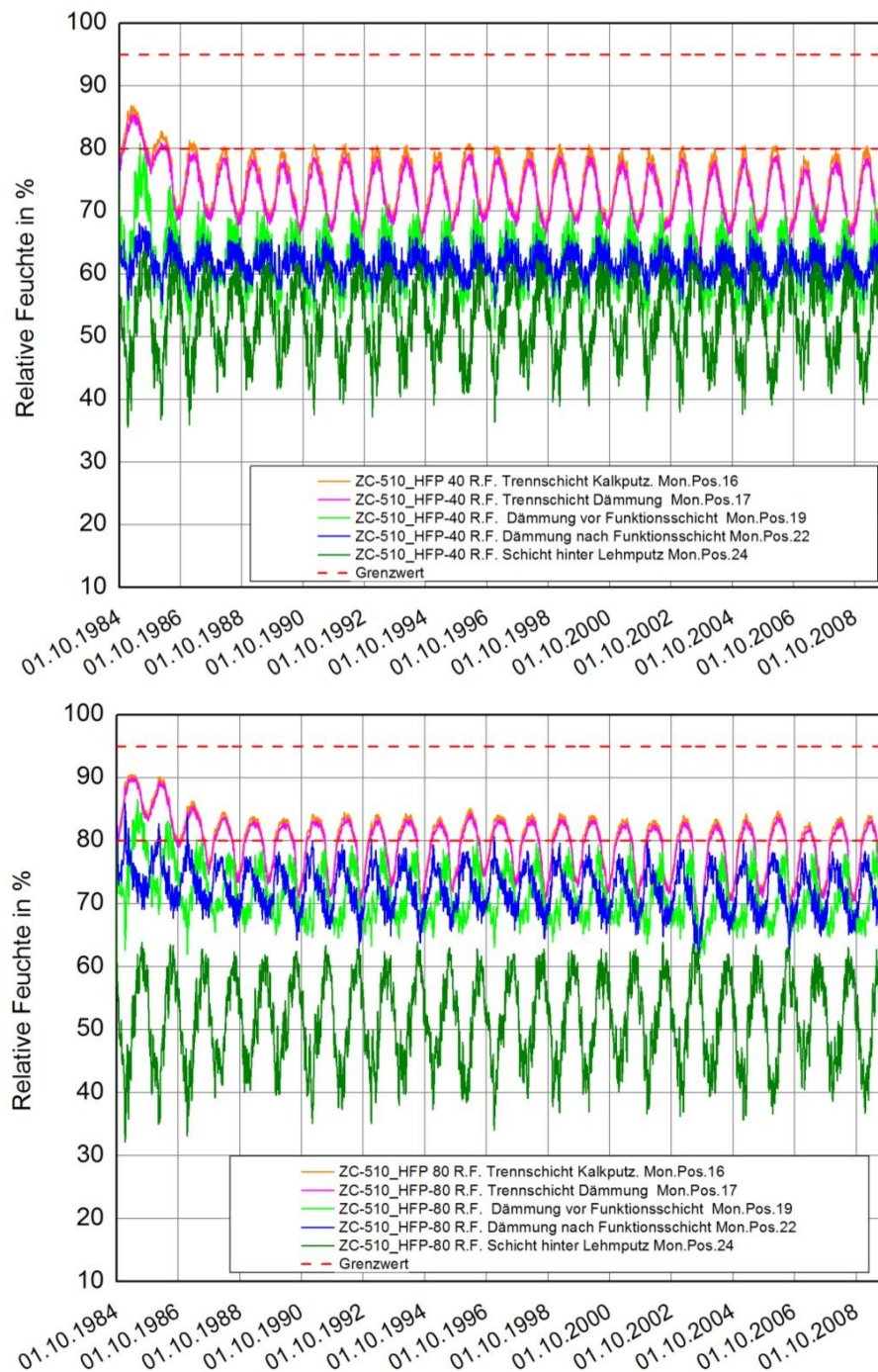
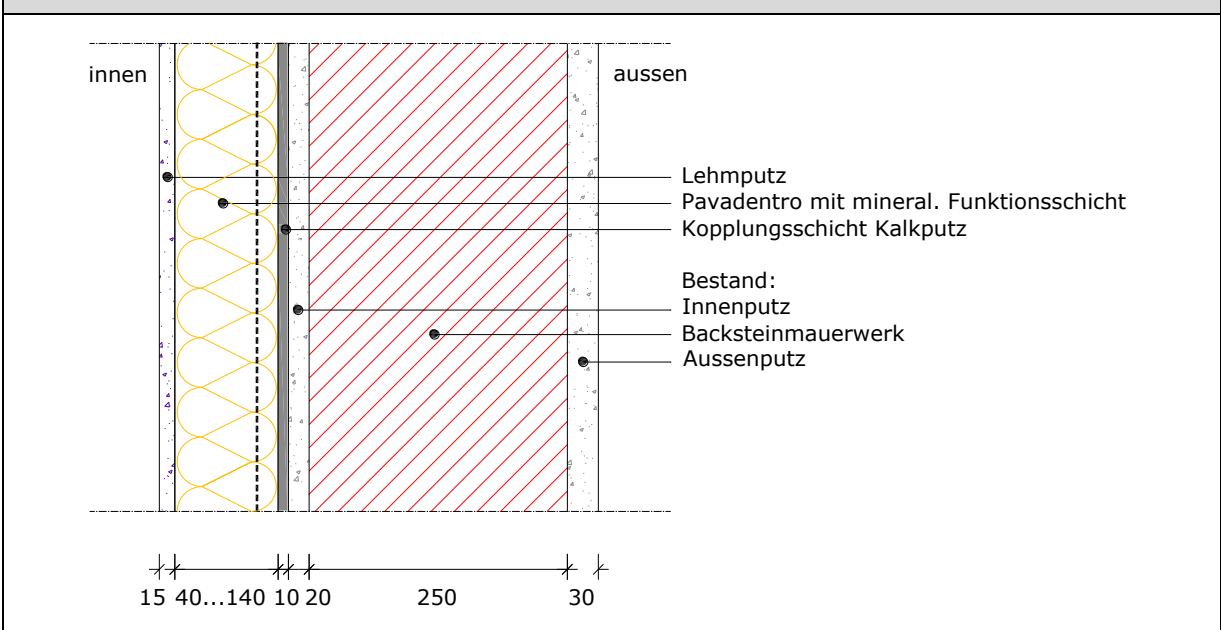


Abb. 16: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.3 IDS Holzfaserdämmung 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 %
Lehmputz	1514	1000	0.59	11	42
Pavadentro	175	1600	0.042	5	93.1
Kalkputz (Bestand + Kopplungsschicht)	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				
			40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.45	1.38	2.28	2.73	3.17	3.62
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	1.62	0.65	0.41	0.35	0.30	0.26

3.3.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein, die relative Feuchte an der inneren Oberfläche, die relative Feuchte sowie der Wassergehalt in der Dämmschicht 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 ein Schimmelpilzwachstum. 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				
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 200\text{-}230 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Wassergehalt in Dämmschicht	Wassergehalt < 20 M.-%	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte in Dämmschicht	Relative Feuchte < 95 %	✓	✓	✓	✓	✓
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				
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 200\text{-}230 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Wassergehalt in Dämmschicht	Wassergehalt < 20 M.-%	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte in Dämmschicht	Relative Feuchte < 95 %	✓	✓	✓	✓	✓
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)	✗	✗	✗	✗	✗

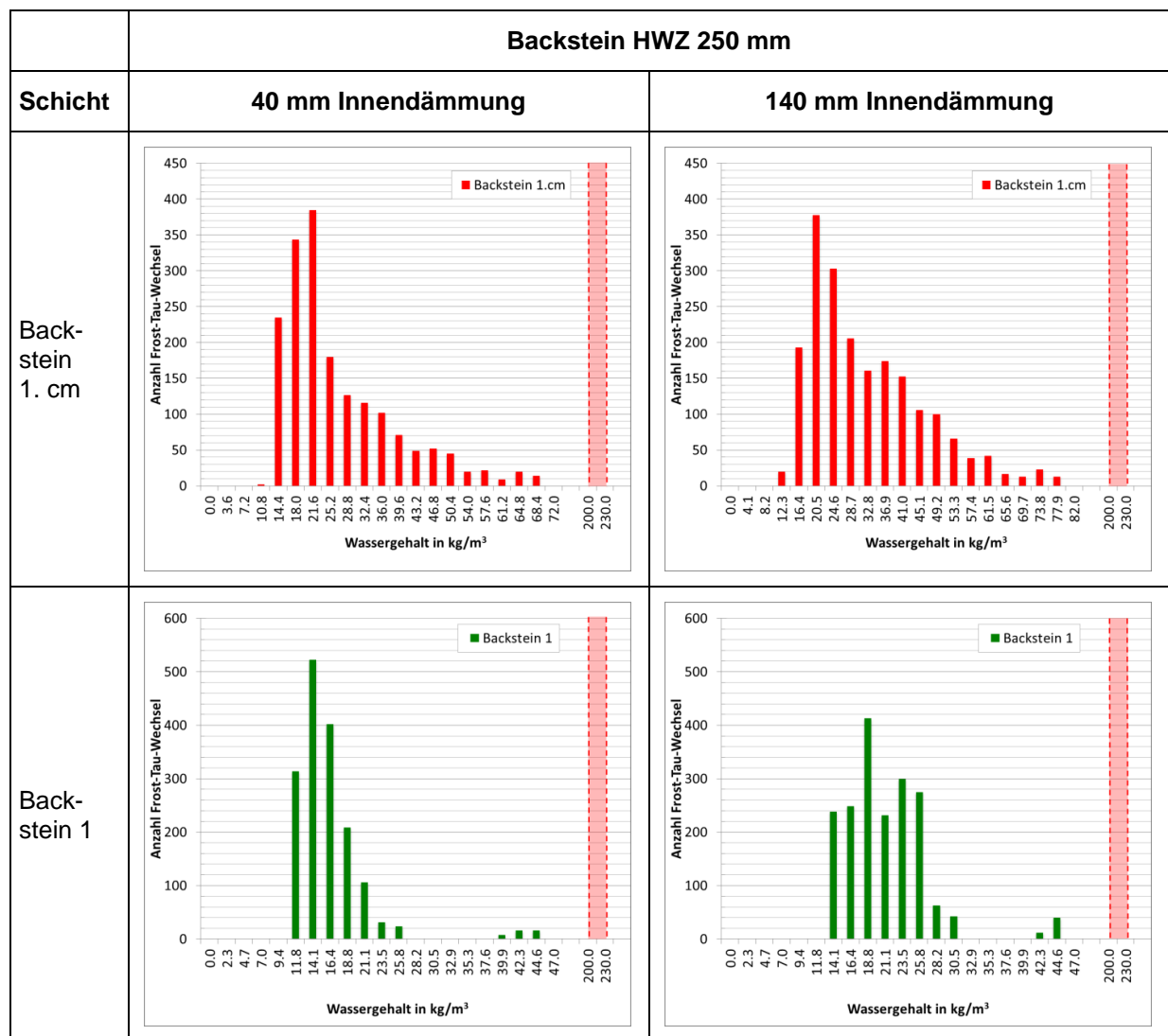
3.3.2 Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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.

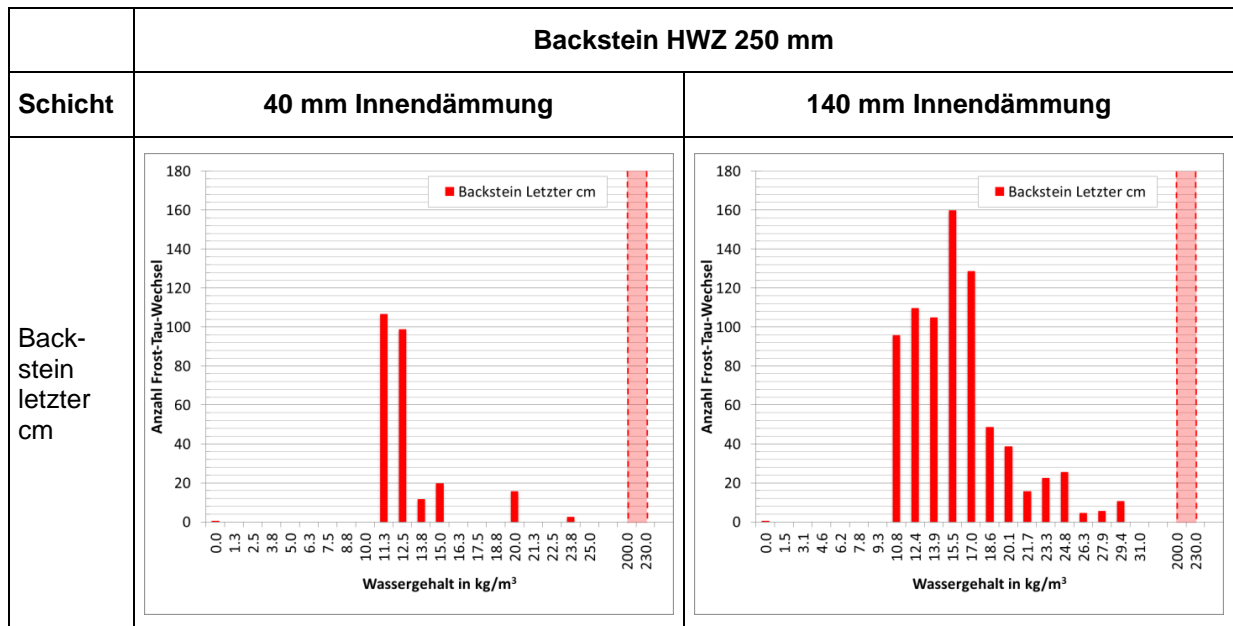
a) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

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.



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 Holzfaserdämmung mit einer Dicke von 40 mm.

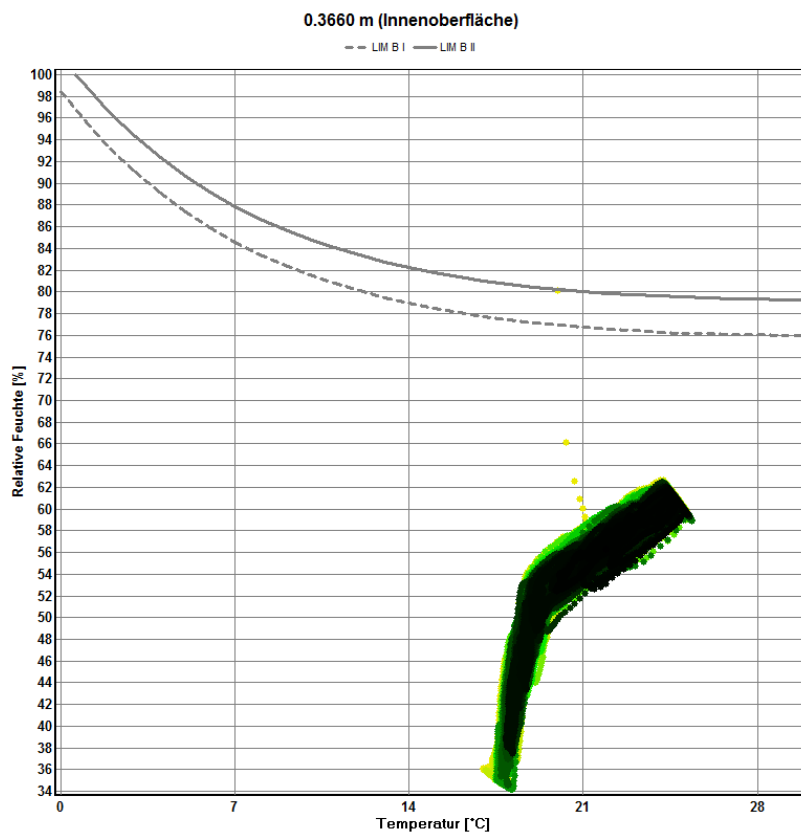


Abb. 17: Isoplethenmodell der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

c) Wassergehalt in Dämmschicht

Der Wassergehalt in der Dämmschicht überschreitet bei allen Dicken nicht den Grenzwert von 20 M.-% (siehe Abb. 18).

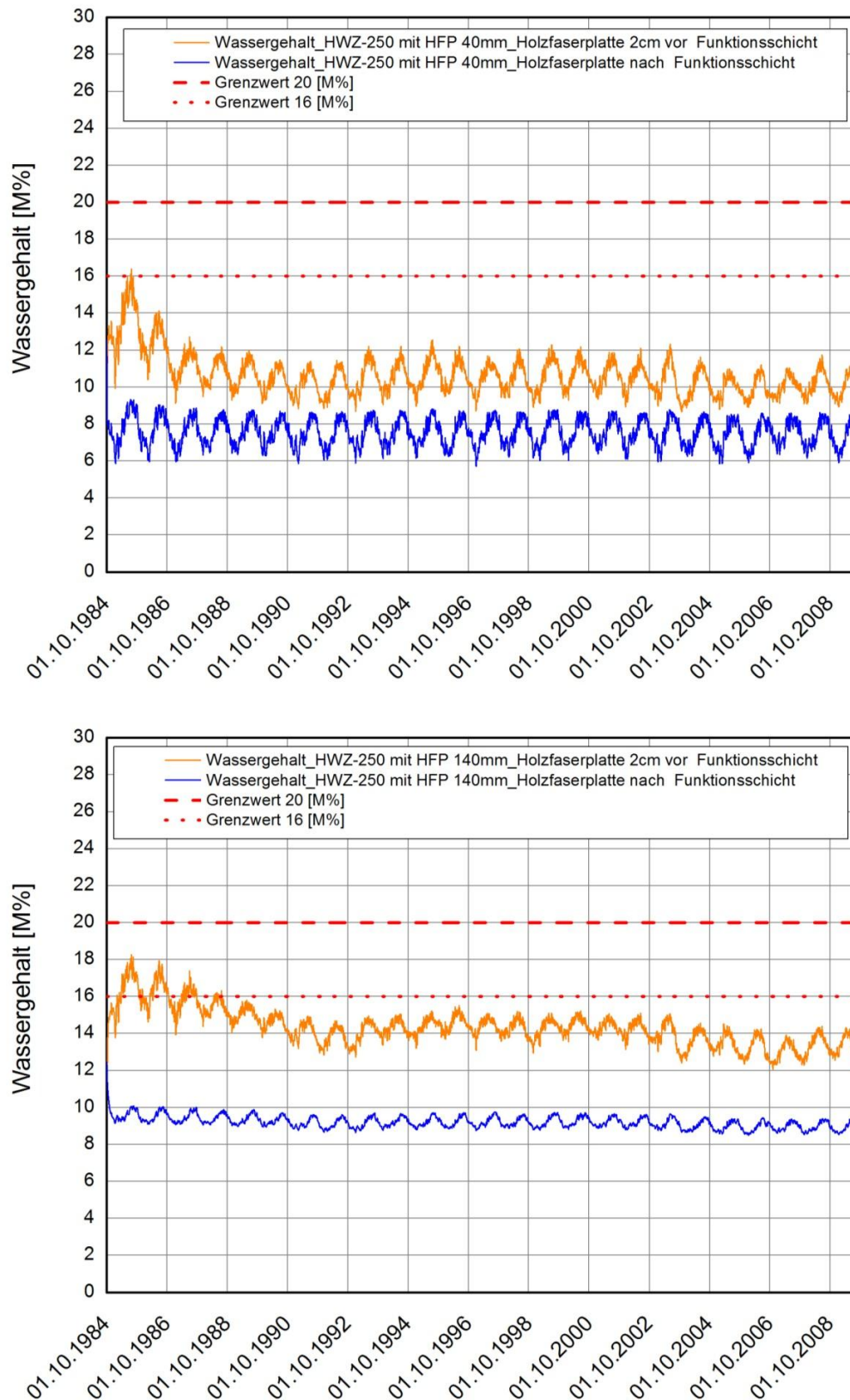


Abb. 18: Wassergehalt der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei allen Dicken nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 19).

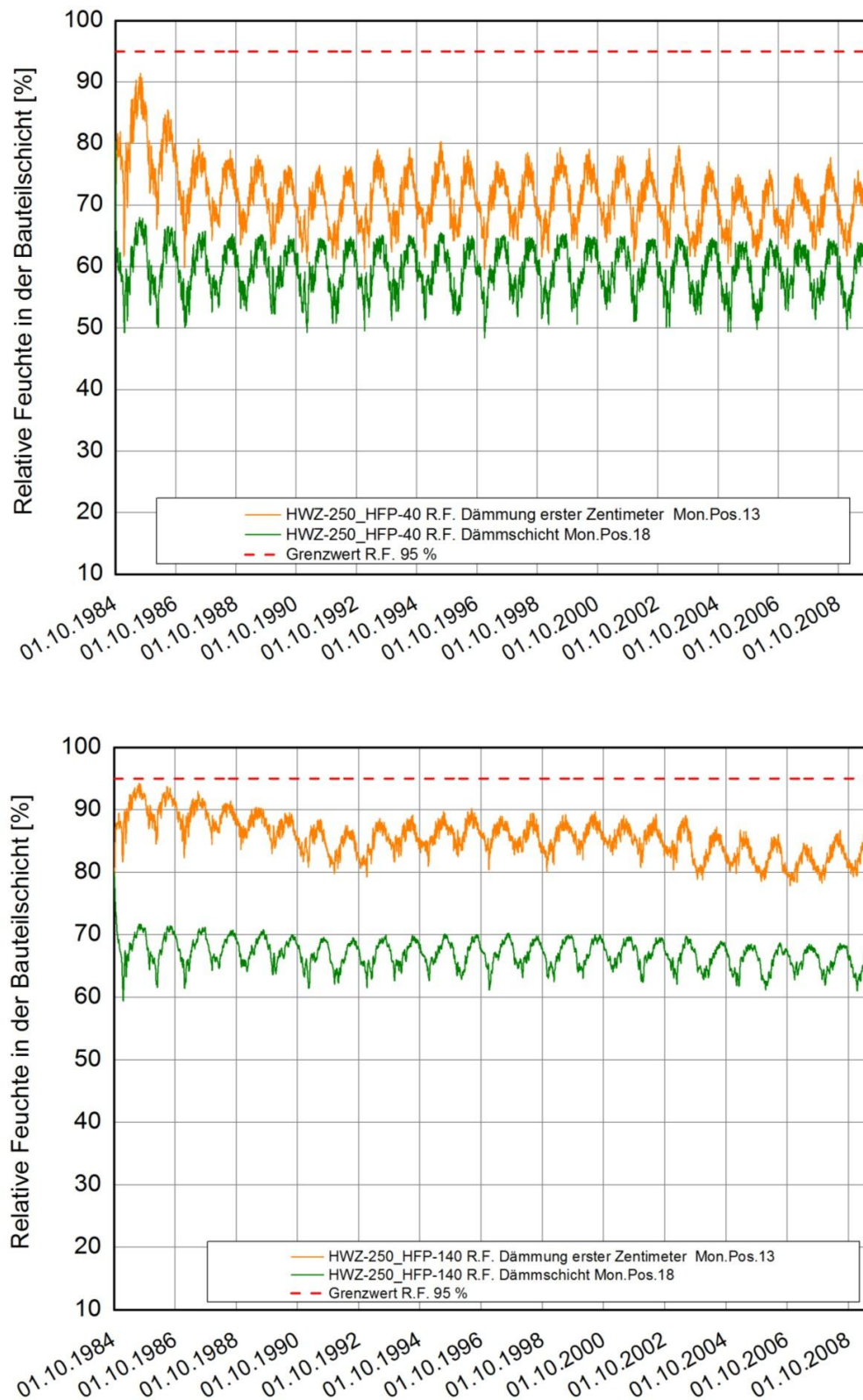


Abb. 19: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 und 140 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte um 80 % bzw. 85 % (siehe Abb. 20). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante HWZ 250 mm Backstein mit Holzfaserdämmung 40 mm ergibt ein Schimmelwachstum von über 200 mm/Jahr in den ersten 5 Jahren. Nach über 20 Jahren reduziert sich das Wachstum auf unter 50 mm/Jahr.

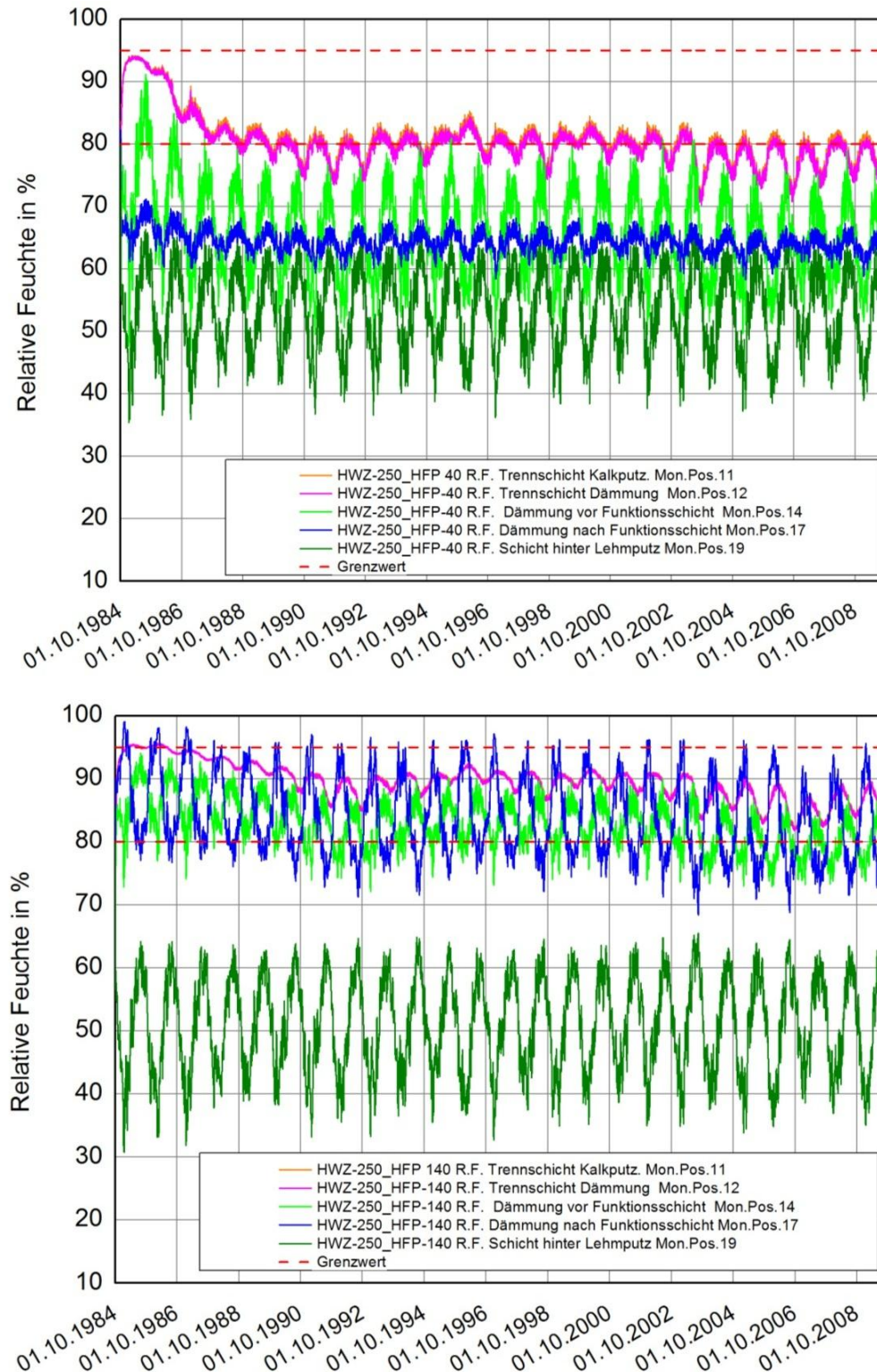


Abb. 20: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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) Wassergehalt in Dämmschicht

Der Wassergehalt in der Dämmschicht überschreitet bei allen Dicken nicht den Grenzwert von 20 M.-% (siehe Abb. 21).

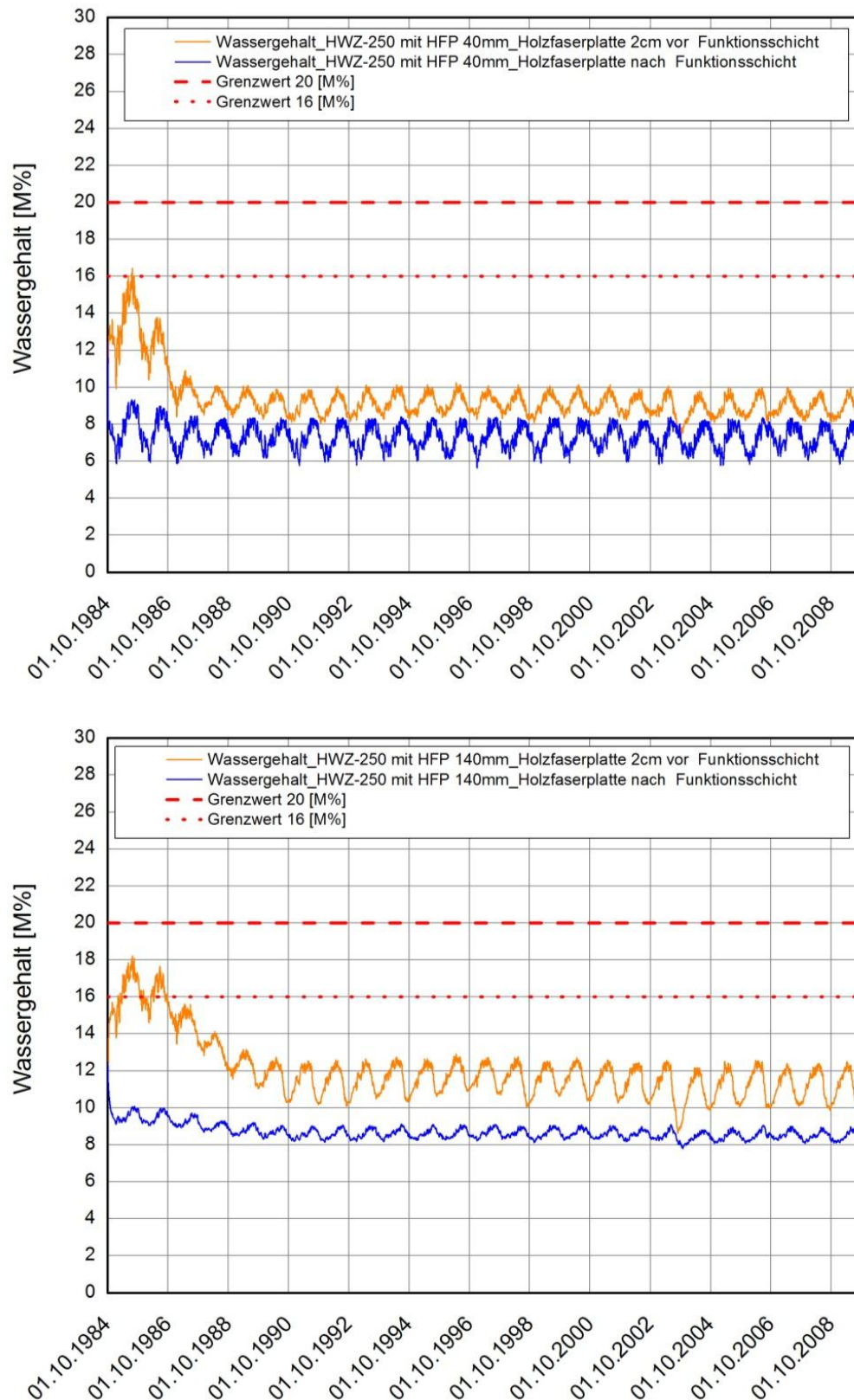


Abb. 21: Wassergehalt der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei allen Dicken nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 22).

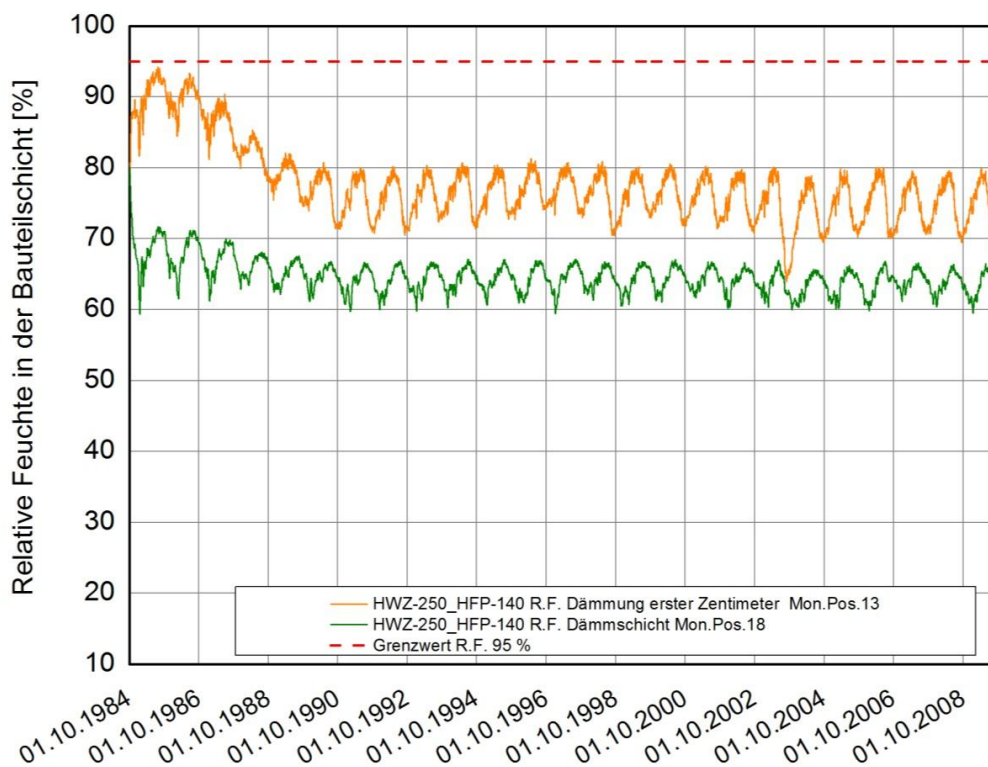
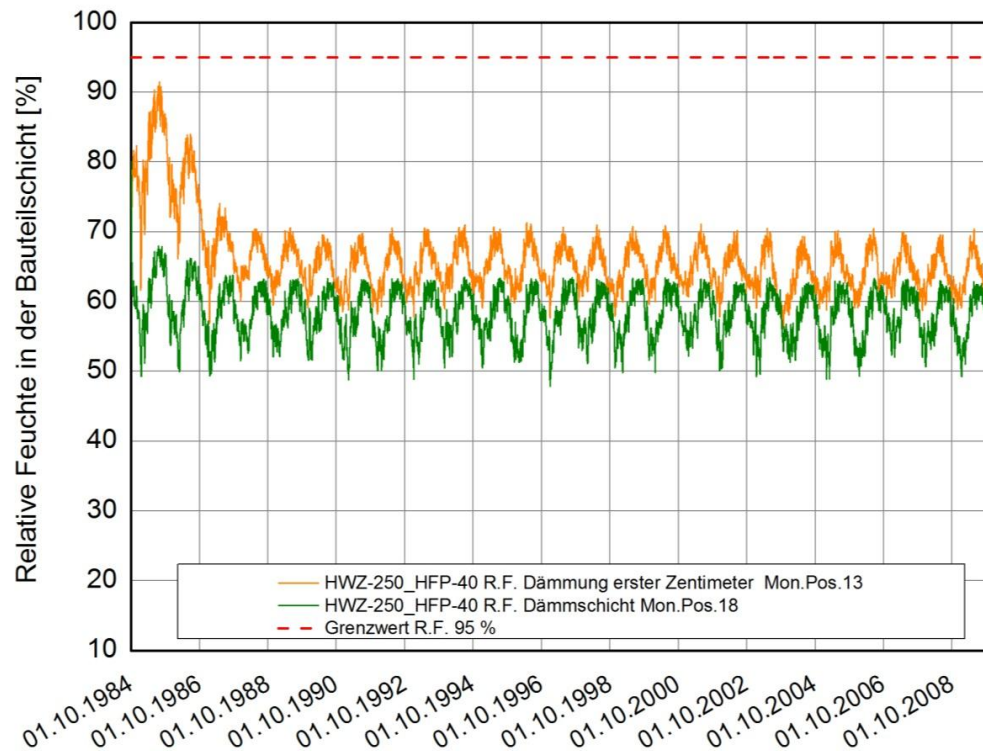


Abb. 22: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung sinkt die relative Feuchte innerhalb von 3 Jahren unter 80 %, bei 140 mm schwankt die relative Feuchte über 25 Jahre um 80 % (siehe Abb. 23). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante HWZ 250 mm Backstein mit Holzfaserdämmung 40 mm ergibt ein Schimmelmilwachstum von über 200 mm/Jahr in den ersten 4 Jahren. Nach über 20 Jahren reduziert sich das Wachstum auf unter 50 mm/Jahr.

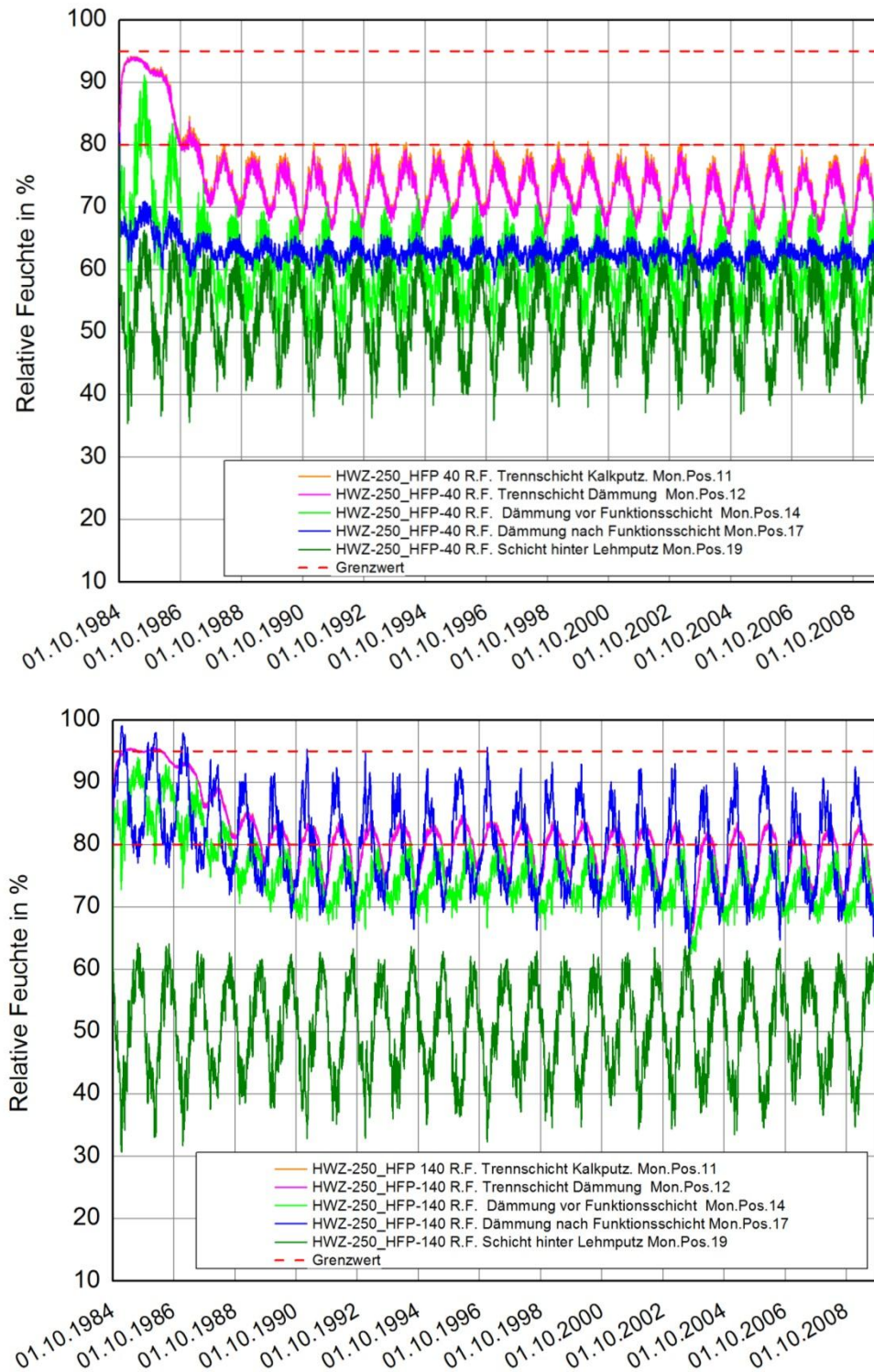
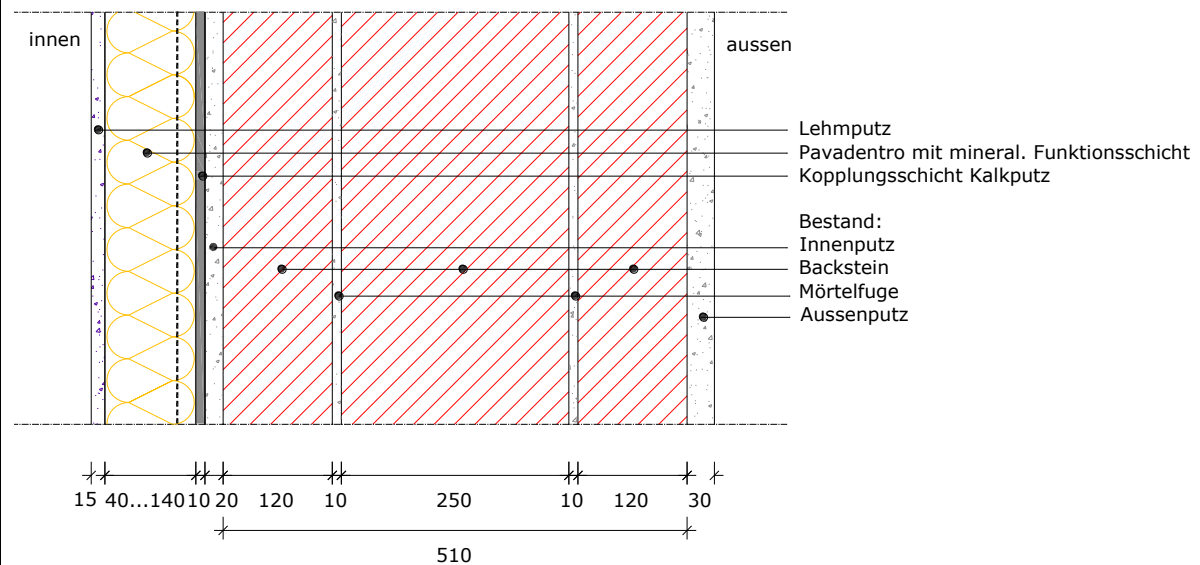


Abb. 23: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.4 IDS Holzfaserdämmung 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 %
Lehmputz	1514	1000	0.59	11	42
Pavadentro	175	1600	0.042	5	93.1
Kalkputz (Bestand + Kopplungsschicht)	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 $w = 0.5 \text{ kg/(m}^2\text{h}^{0.5})$ ist $\mu = 19.0$
beim Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg/(m}^2\text{h}^{0.5})$ ist $\mu = 12.0$

WÄRMESCHUTZ

Kenngrösse	Einheit		Dicke Innendämmung				
		Bestand	40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m²K/W	0.85	1.78	2.68	3.12	3.57	4.02
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m²K	0.98	0.51	0.35	0.30	0.27	0.24

3.4.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein, die relative Feuchte an der inneren Oberfläche, die relative Feuchte sowie der Wassergehalt in der Dämmschicht 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 ein Schimmelpilzwachstum. 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				
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 200\text{-}230 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Wassergehalt in Dämmschicht	Wassergehalt < 20 M.-%	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte in Dämmschicht	Relative Feuchte < 95 %	✓	✓	✓	✓	✓
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				
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Frostkriterium Backstein	< 50 Frost-Tau-Wechsel bei einem Wassergehalt von $\geq 200\text{-}230 \text{ kg}/\text{m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓
Vermeidung Kondensat und Schimmelpilz an Innenoberfläche	LIM B I – Kurve darf nicht überschritten werden	✓	✓	✓	✓	✓
Wassergehalt in Dämmschicht	Wassergehalt < 20 M.-%	✓	✓	✓	✓	✓
Relative Feuchte in Dämmschicht	Relative Feuchte < 95 %	✓	✓	✓	✓	✓
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)	✗	✗	✗	✗	✓

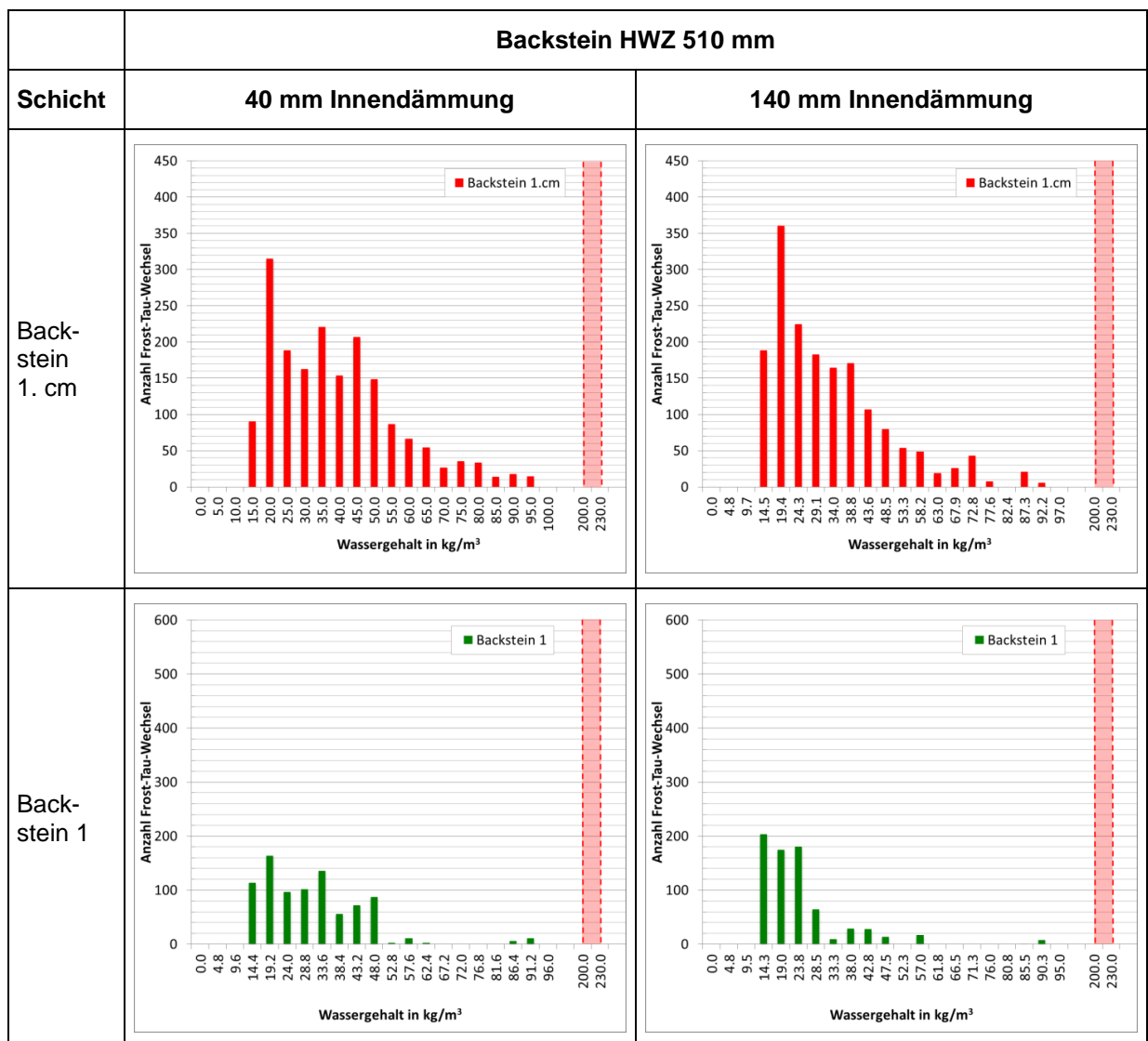
3.4.2 Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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.

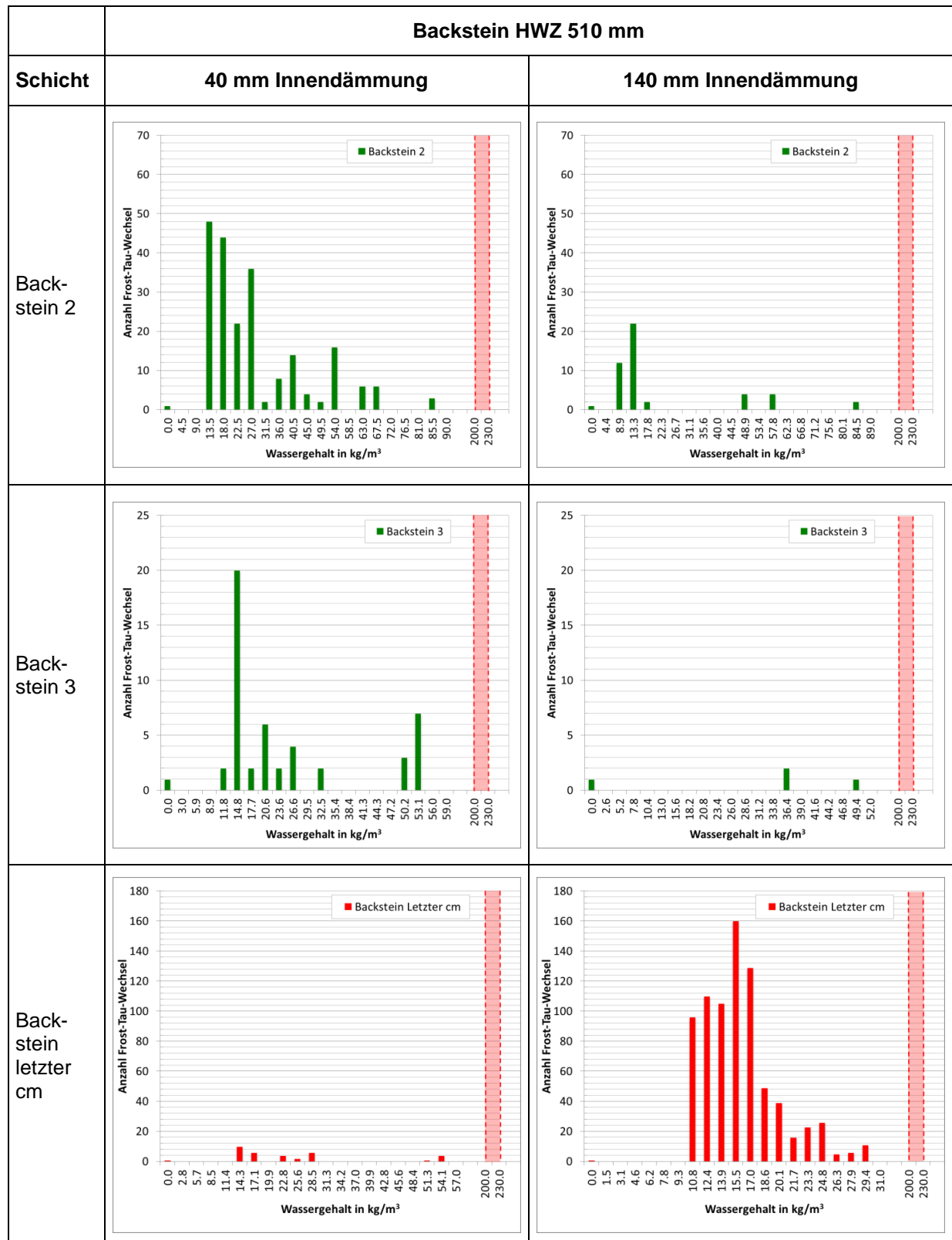
a) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

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



b) Wassergehalt in Dämmschicht

Der Wassergehalt in der Dämmschicht überschreitet nur bei 140 mm Innendämmung den Grenzwert von 20 M.-% in den ersten 2 Jahren (siehe Abb. 24).

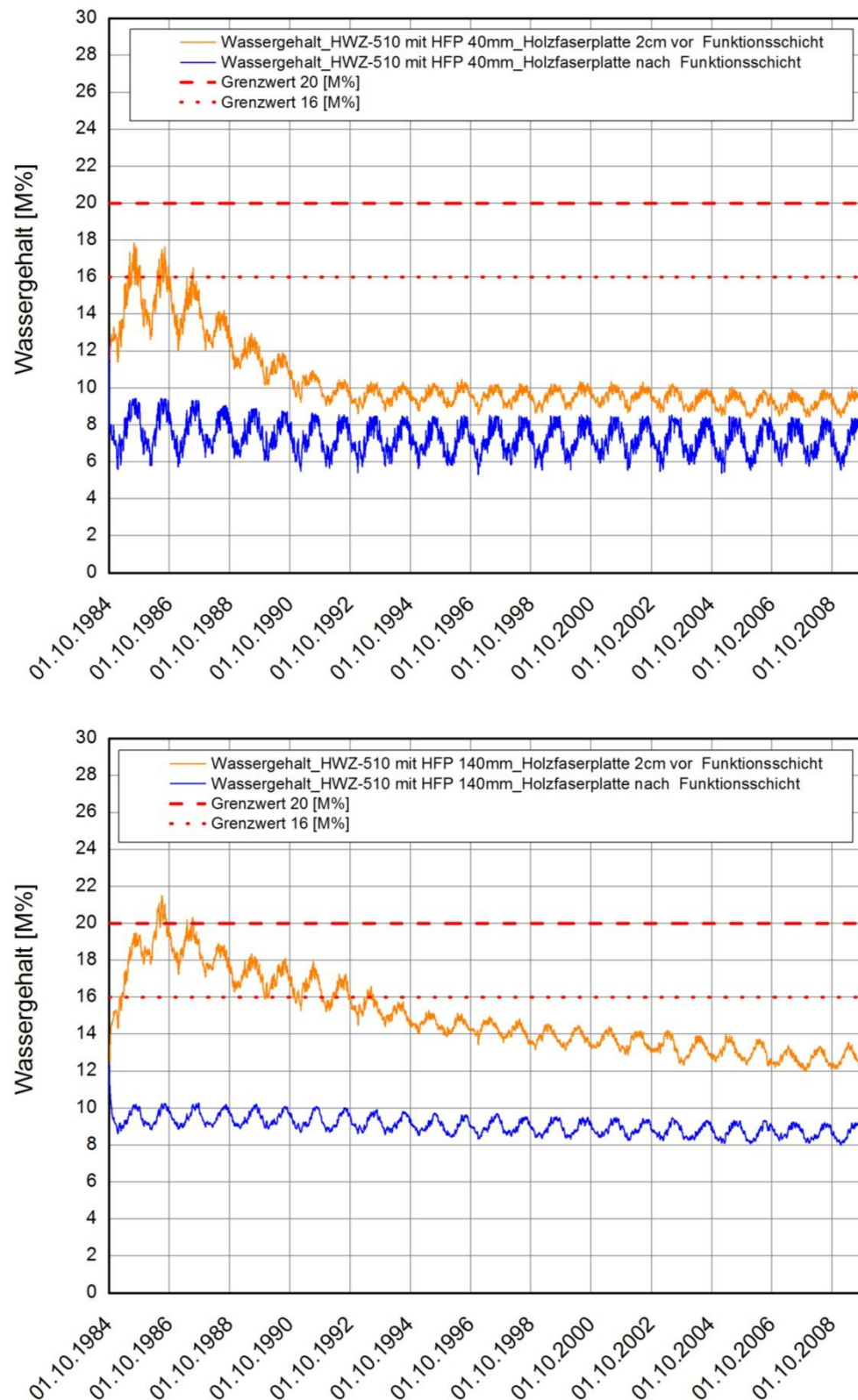


Abb. 24: Wassergehalt der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

c) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei allen Dicken nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 25).

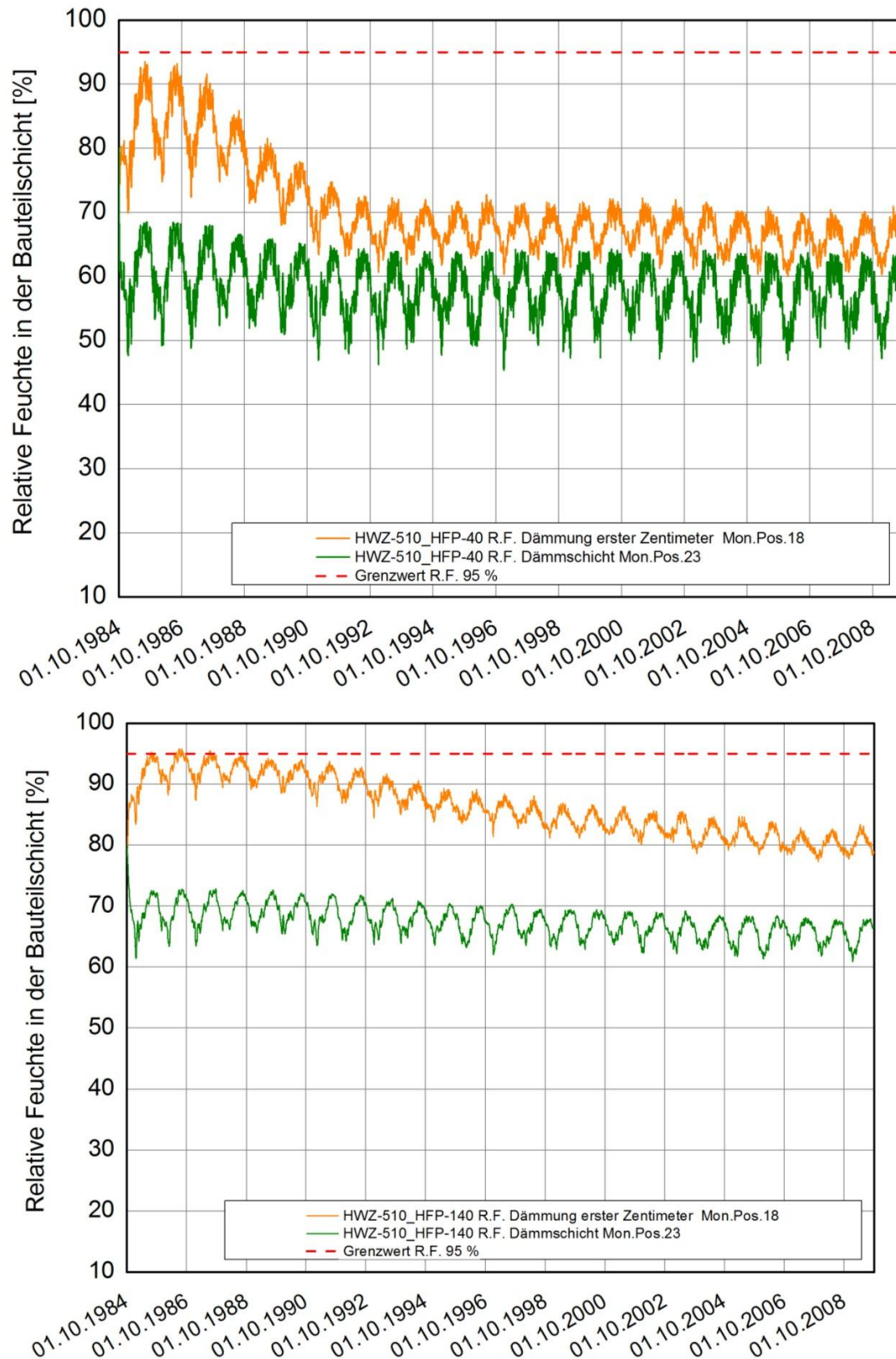


Abb. 25: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung sinkt die relative Feuchte innerhalb von 6 Jahren unter 80%, bei 140 mm schwankt die relative Feuchte über 25 Jahre über 80 % (siehe Abb. 26). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante HWZ 510 mm Backstein mit Holzfaserdämmung 40 mm ergibt ein Schimmelmilieuwachstum von über 200 mm/Jahr in den ersten 17 Jahren. Danach reduziert sich das Wachstum auf unter 50-200 mm/Jahr.

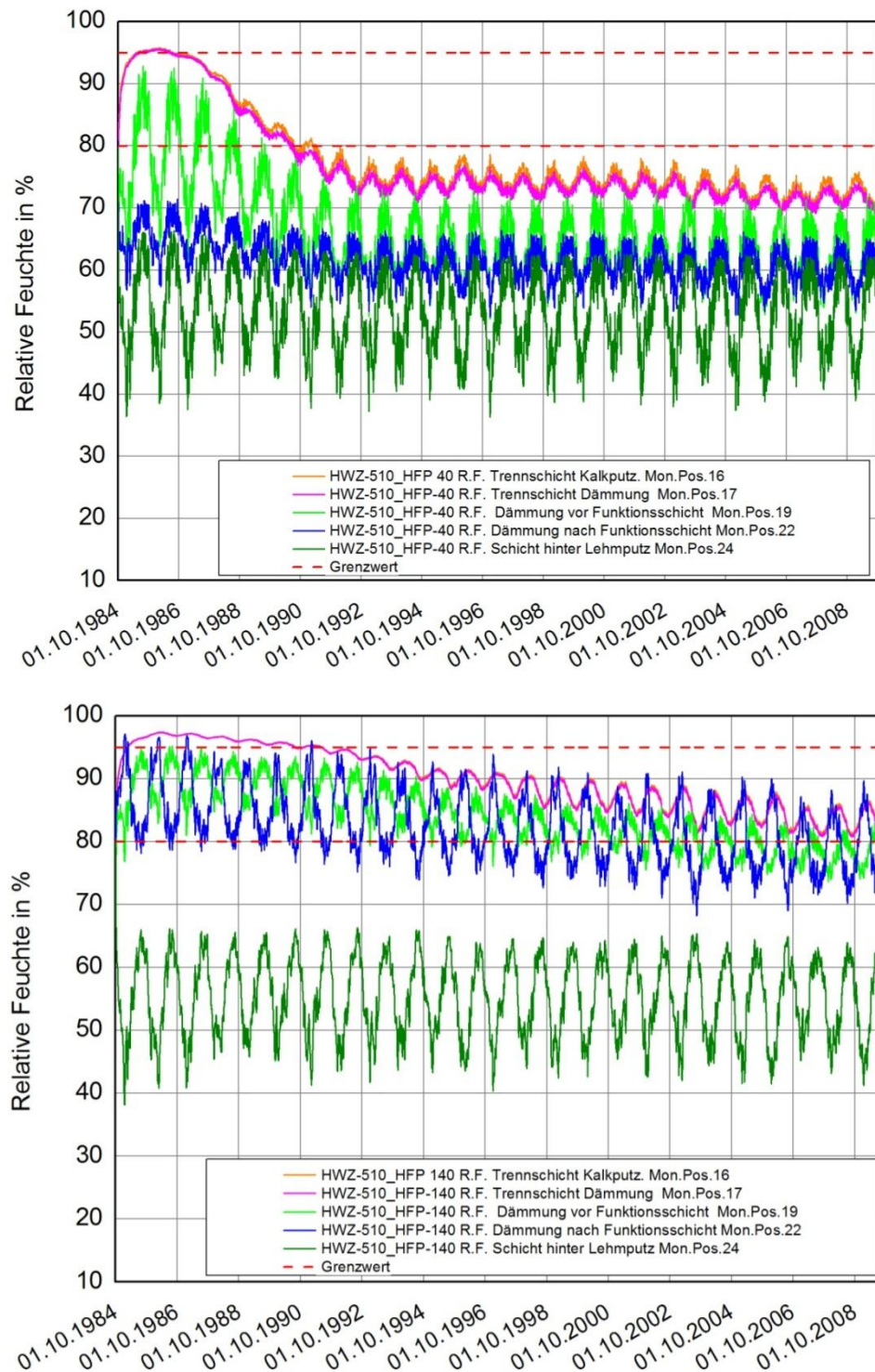


Abb. 26: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) 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 Holzfaserdämmung mit einer Dicke von 40 mm.

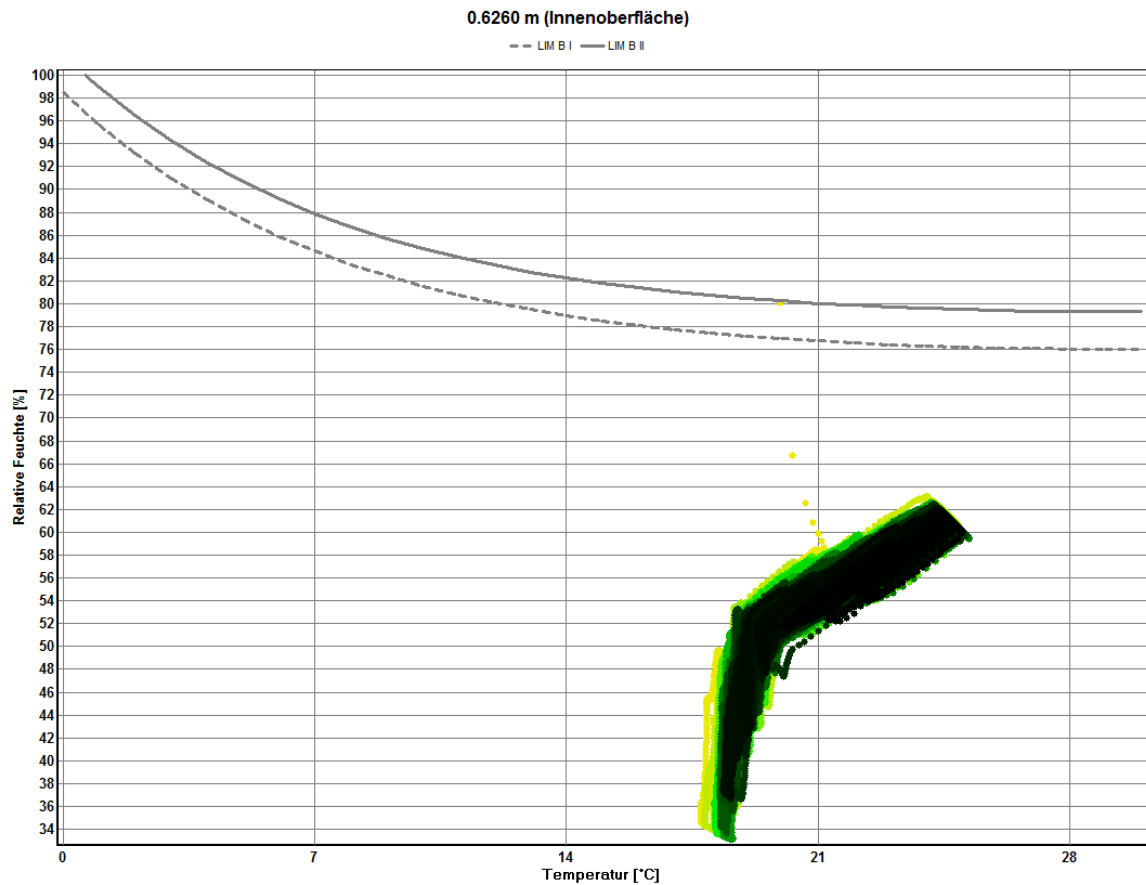


Abb. 27: Isoplethenmodell der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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. Abschnitt 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) Wassergehalt in Dämmschicht

Der Wassergehalt in der Dämmschicht überschreitet nur bei 140 mm Innendämmung den Grenzwert von 20 M.-% in den ersten 2 Jahren (siehe Abb. 28).

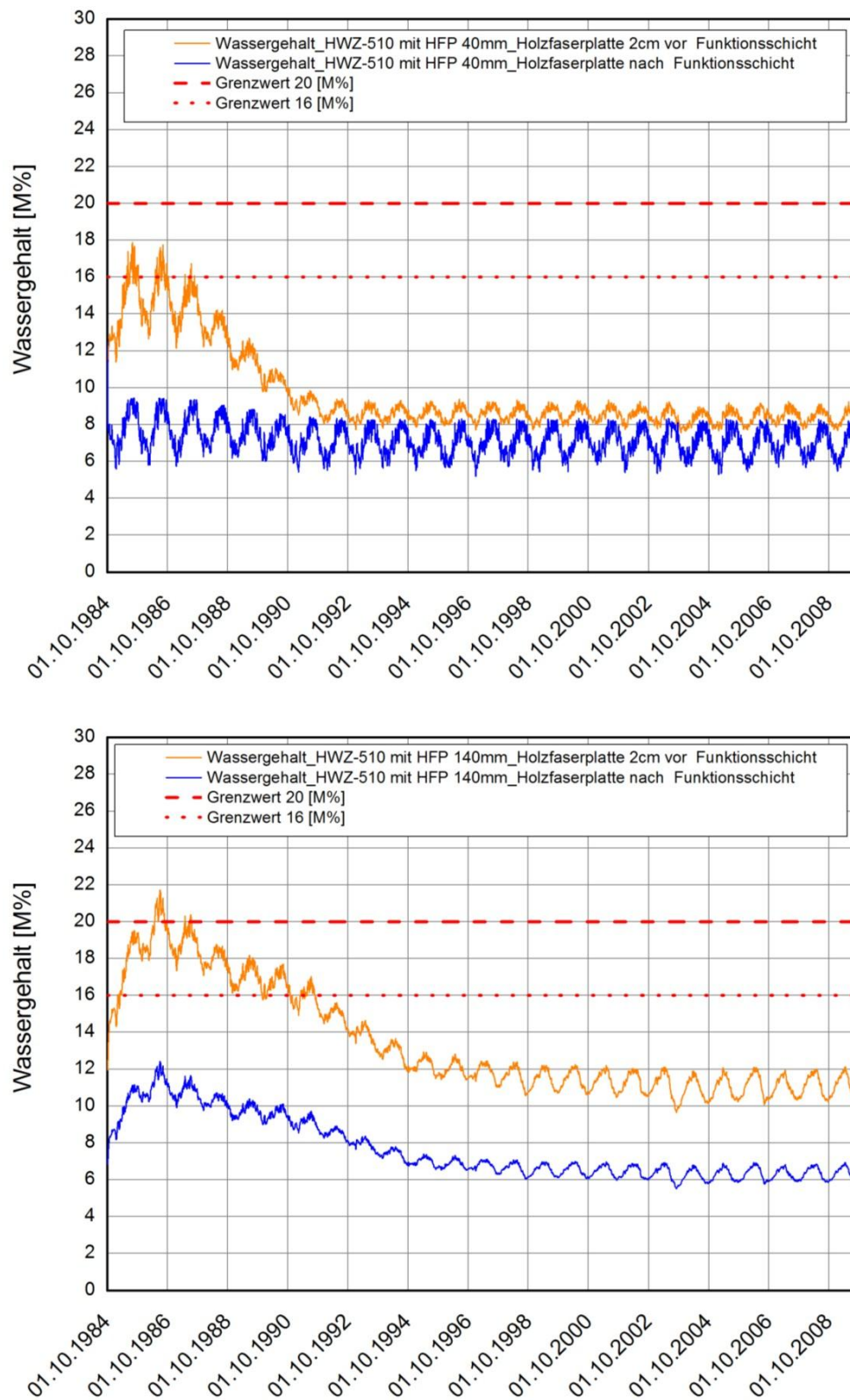


Abb. 28: Wassergehalt der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei allen Dicken nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 29).

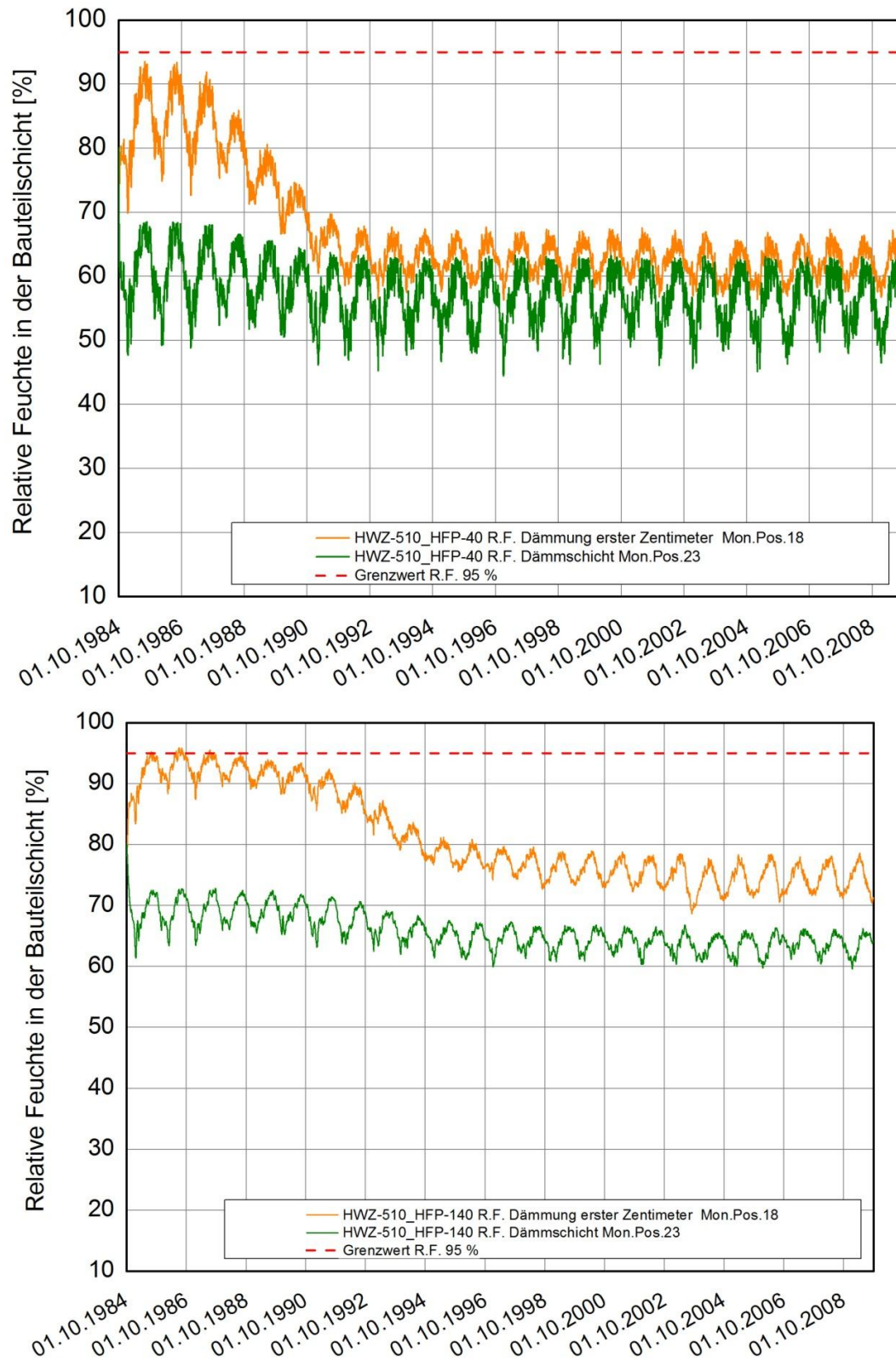


Abb. 29: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung sinkt die relative Feuchte innerhalb von 5 Jahren unter 80 %, bei 140 mm schwankt die relative Feuchte über 25 Jahre um 80 % (siehe Abb. 30). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante HWZ 510 mm Backstein mit Holzfaserdämmung 40 mm ergibt ein Schimmelpilzwachstum von über 200 mm/Jahr in den ersten 17 Jahren. Danach reduziert sich das Wachstum auf unter 50-200 mm/Jahr.

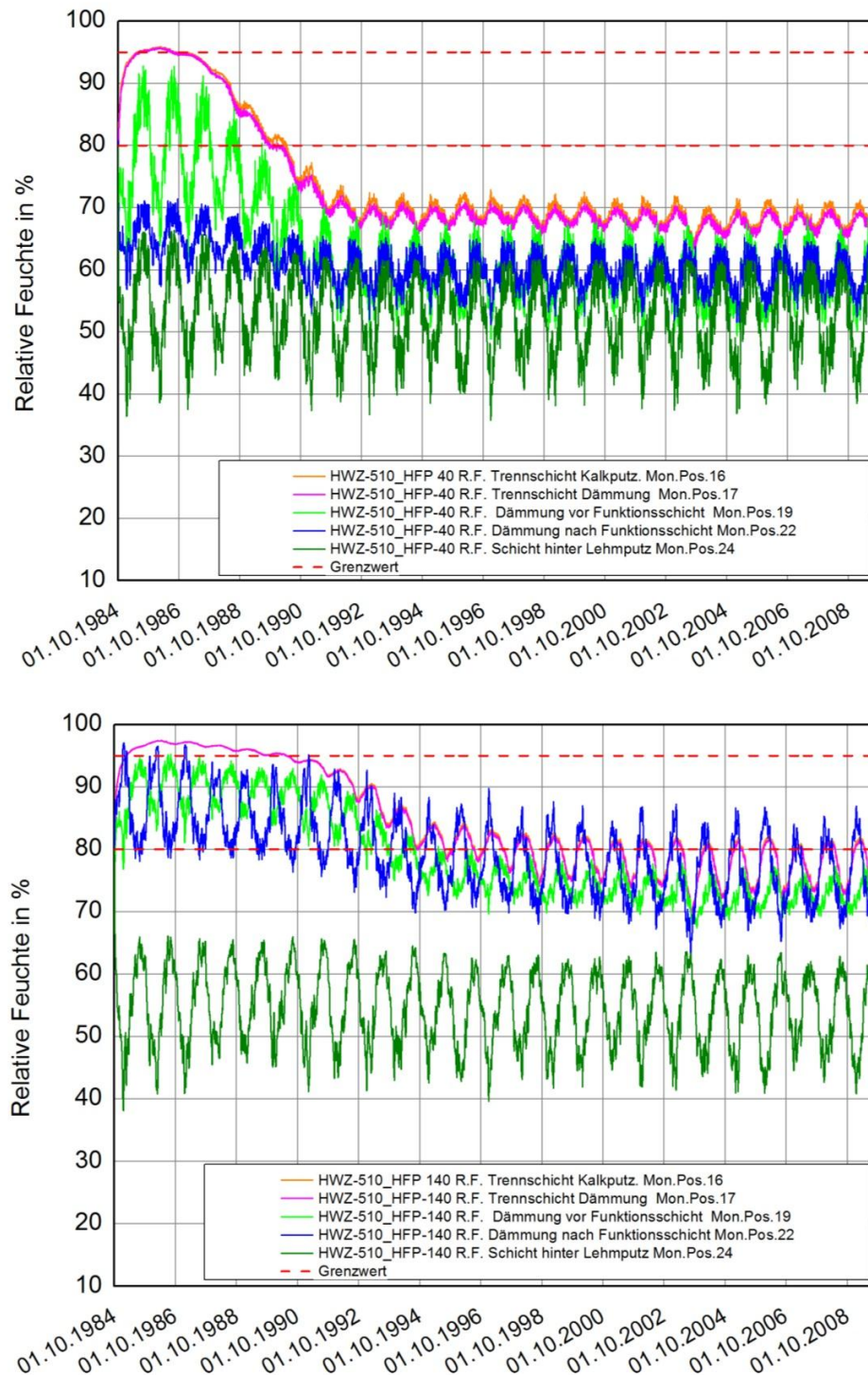
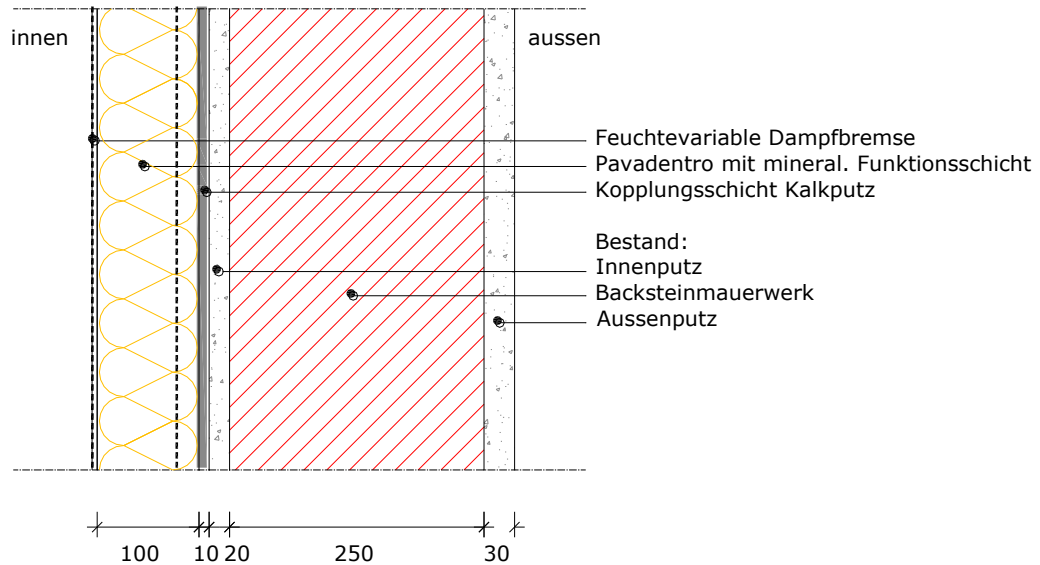


Abb. 30: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

4 ERGEBNISKATALOG (ANFANGSFEUCHTE PROFIL 2)

4.1 IDS Holzfaserdämmung 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 %
Feuchtevariable Dampfbremse (Intello)	115	2500	2.4	-	-
Pavadentro	175	1600	0.042	5	93.1
Kalkputz (Bestand + Kopplungsschicht)	1600	850	0.70	7.0	30
Backstein ZC	1985	836	0.908	23.0	28.5
Kalkzementputz (Bestand)	1900	850	0.80	12	24

WÄRMESCHUTZ

Kenngrösse	Einheit	Bestand	Dicke Innendämmung				
			40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.33	-	-	2.58	-	-
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	2.01	-	-	0.36	-	-

4.1.1 Zusammenfassung

Bei 100 mm Holzfaserdämmung mit raumseitiger, feuchtevariabler Dampfbremse stellen die relative Feuchte sowie der Wassergehalt in der Dämmschicht und die relative Feuchte zwischen Bestand und Innendämmung bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ kein Problem dar. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Beurteilung der Versagenskriterien für die Konstruktion.

VERSAGENSKRITERIEN						
(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
Wassergehalt in Dämmschicht	Wassergehalt < 20 M.-%	✓ *	✓ *	✓	-	-
Relative Feuchte in Dämmschicht	Relative Feuchte < 95 %	✓ *	✓ *	✓	-	-
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)	-	-	✗	-	-
*extrapoliert aus den Berechnungen mit 100 mm Innendämmung						

4.1.2 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

Der Frost-Tau-Wechsel im Backstein wird bei dieser Variante nicht betrachtet, da bei einer Anfangsfeuchte im Bauteil von 80 % der Wassergehalt im Backstein niedriger ist, als bei der Anfangsfeuchte im eingeschwungenen Zustand (Anfangsfeuchte Profil 1).

b) Isoplethenmodell für Keimung von Schimmelpilzen

Die Schimmelpilzbildung an der inneren Oberfläche wird bei dieser Variante nicht betrachtet, da die gleichen Raumklimabedingungen wie bei Anfangsfeuchte Profil 1 angenommen werden.

c) Wassergehalt in Dämmschicht

Der Wassergehalt in der Dämmschicht überschreitet bei 100 mm Innendämmung nicht den Grenzwert von 20 M.-% (siehe Abb. 31).

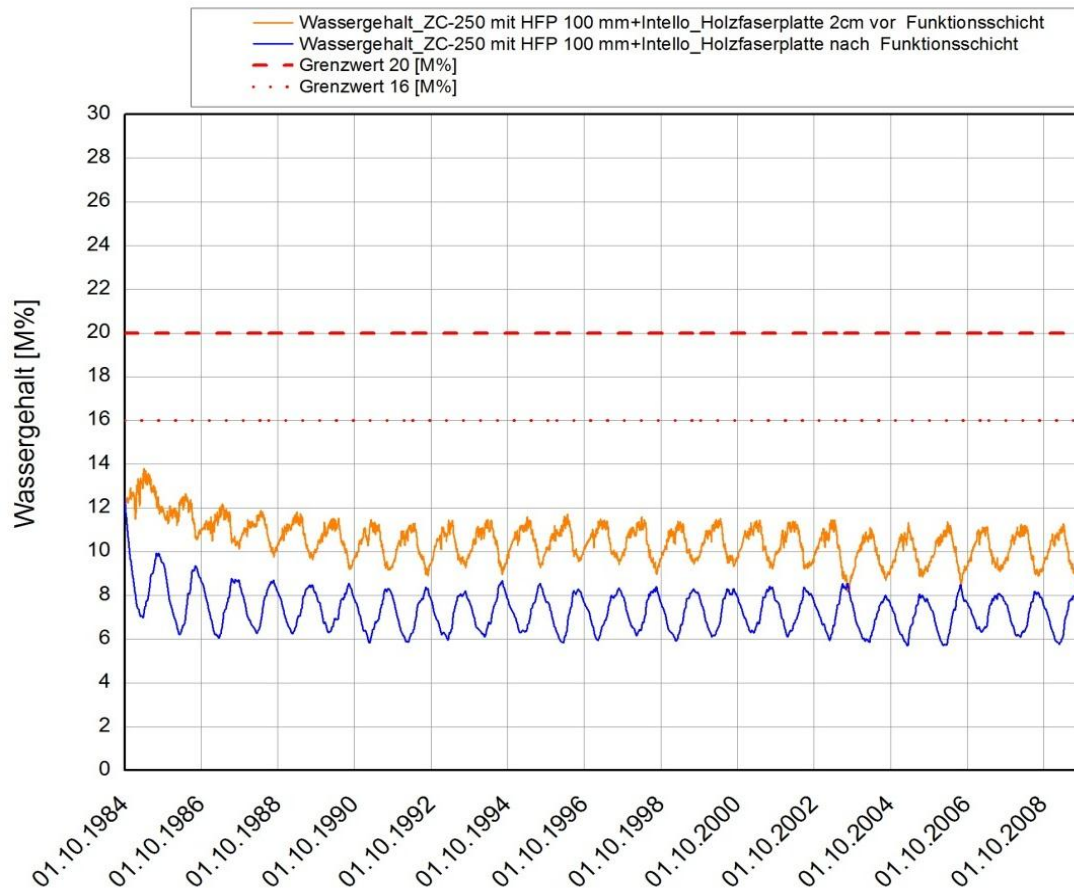


Abb. 31: Wassergehalt der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 100 mm mit feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei 100 mm Innendämmung nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 32).

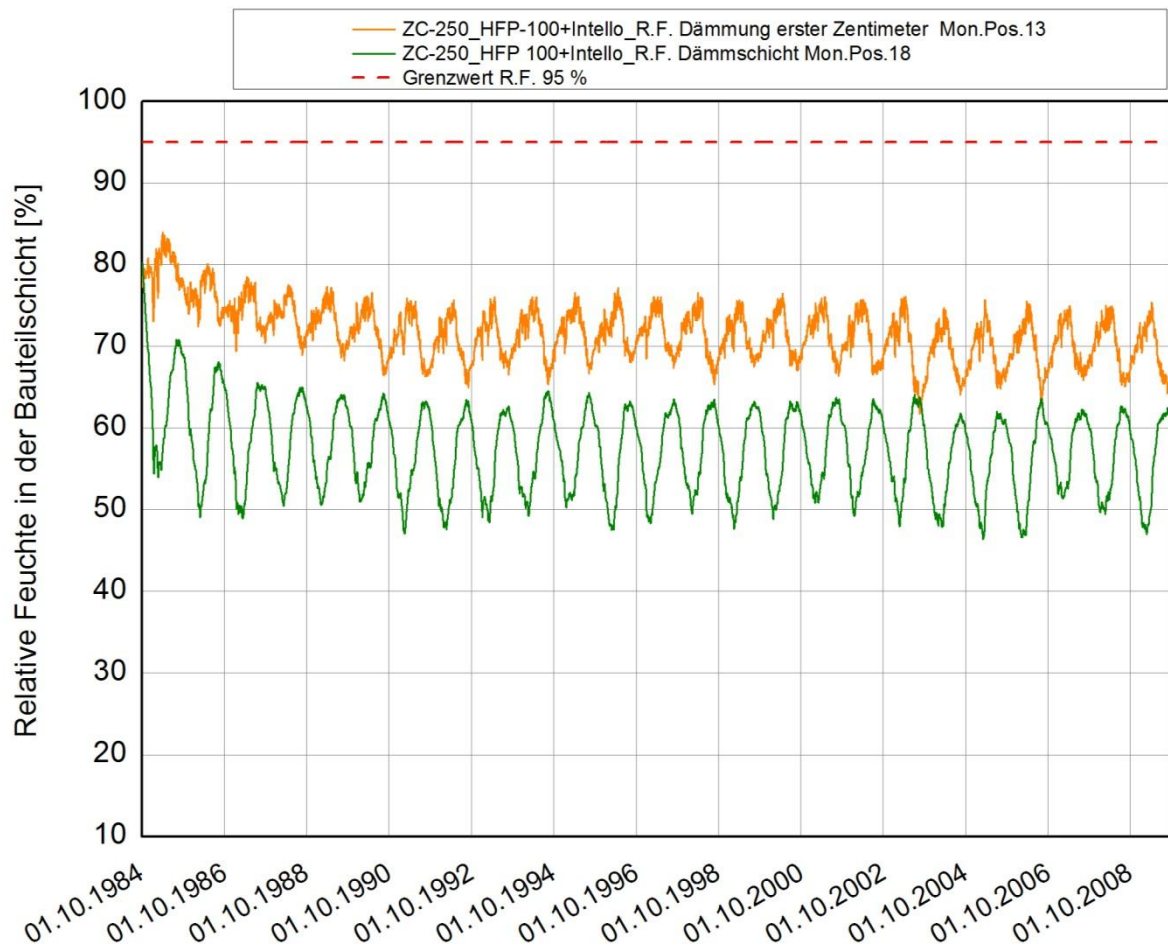


Abb. 32: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 100 mm mit feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 100 mm Holzfaserdämmung mit feuchtevariabler Dampfbremse schwankt die relative Feuchte knapp unter 80 % (siehe Abb. 33). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante ZC 250 mm Backstein mit Holzfaserdämmung 100 mm und feuchtevariabler Dampfbremse ergibt ein Schimmelwachstum 50-200 mm/Jahr in den ersten 9 Jahren bei Substratklasse 1. Danach reduziert sich das Wachstum.

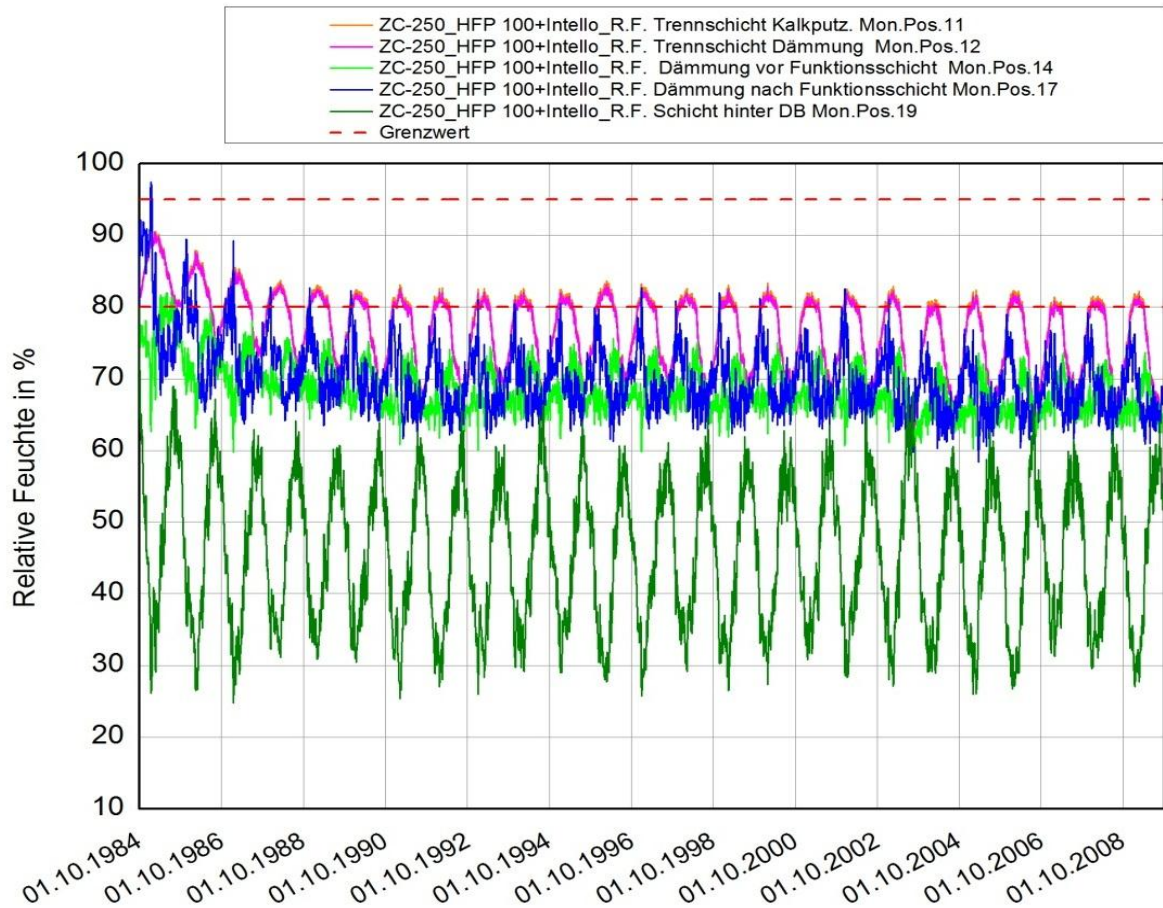
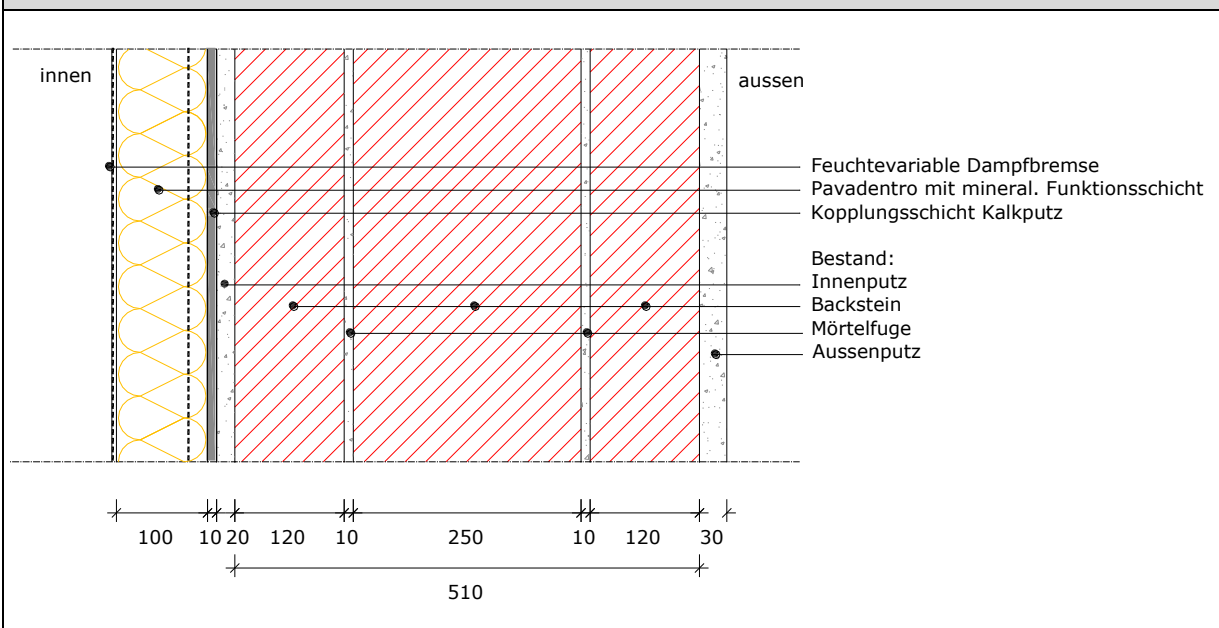


Abb. 33: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 100 mm mit feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

4.2 IDS Holzfaserdämmung 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 %
Feuchtevariable Dampfbremse (Intello)	115	2500	2.4	-	-
Pavadentro	175	1600	0.042	5	93.1
Kalkputz (Bestand + Kopplungsschicht)	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	12	24

WÄRMESCHUTZ

Kenngrösse	Einheit		Dicke Innendämmung				
		Bestand	40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.61	-	-	2.87	-	-
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	1.28	-	-	0.33	-	-

4.2.1 Zusammenfassung

Bei 100 mm Holzfaserdämmung mit raumseitiger, feuchtevariabler Dampfbremse stellen die relative Feuchte sowie der Wassergehalt in der Dämmschicht und die relative Feuchte zwischen Bestand und Innendämmung bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ kein Problem dar. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Beurteilung der Versagenskriterien für die Konstruktion.

VERSAGENSKRITERIEN						
(Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)						
Kenngrosse	Bedingung	Dicke Innendämmung				
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Wassergehalt in Dämmschicht	Wassergehalt < 20 M.-%	✓ *	✓ *	✓	-	-
Relative Feuchte in Dämmschicht	Relative Feuchte < 95 %	✓ *	✓ *	✓	-	-
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)	-	-	✗	-	-
*extrapoliert aus den Berechnungen mit 100 mm Innendämmung						

4.2.2 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

Der Frost-Tau-Wechsel im Backstein wird bei dieser Variante nicht betrachtet, da bei einer Anfangsfeuchte im Bauteil von 80 % der Wassergehalt im Backstein niedriger ist, als bei der Anfangsfeuchte im eingeschwungenen Zustand (Anfangsfeuchte Profil 1).

b) Isoplethenmodell für Keimung von Schimmelpilzen

Die Schimmelpilzbildung an der inneren Oberfläche wird bei dieser Variante nicht betrachtet, da die gleichen Raumklimabedingungen wie bei Anfangsfeuchte Profil 1 angenommen werden.

c) Wassergehalt in Dämmschicht

Der Wassergehalt in der Dämmschicht überschreitet bei 100 mm Innendämmung nicht den Grenzwert von 20 M.-% (siehe Abb. 34).

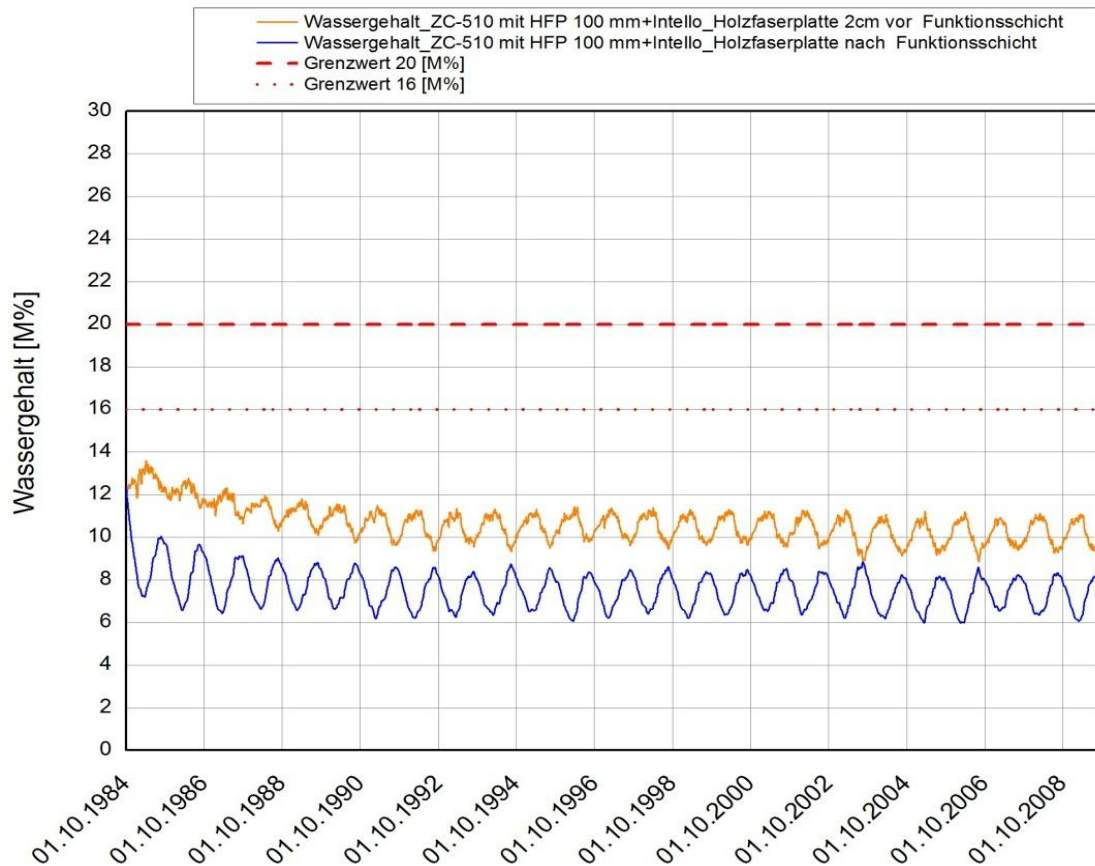


Abb. 34: Wassergehalt der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 100 mm mit feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei 100 mm Innendämmung nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 35).

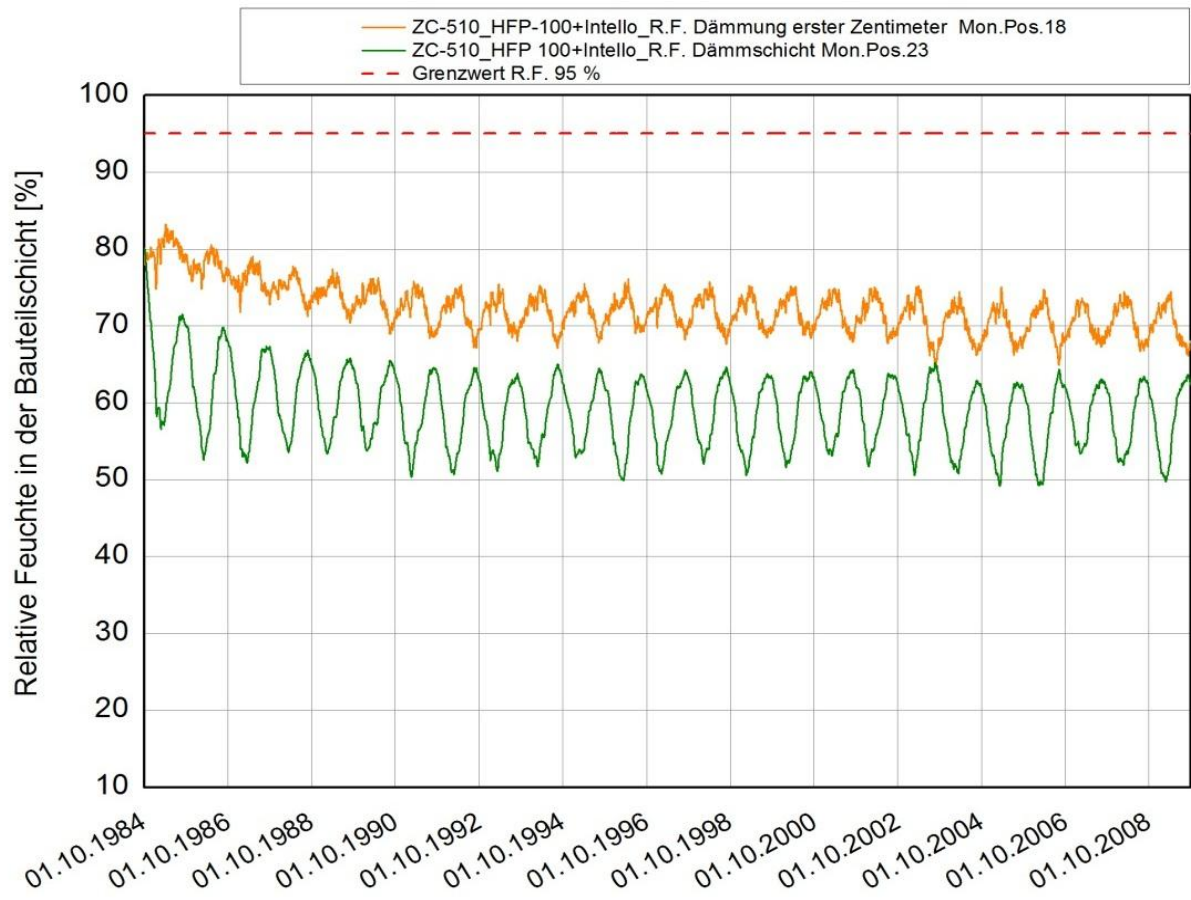


Abb. 35: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 100 mm mit feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 100 mm Holzfaserdämmung mit feuchtevariabler Dampfbremse schwankt die relative Feuchte knapp unter 80 % (siehe Abb. 36). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante ZC 510 mm Backstein mit Holzfaserdämmung 100 mm und feuchtevariabler Dampfbremse ergibt ein Schimmelwachstum 50-200 mm/Jahr in den ersten 9 Jahren bei Substratklasse 1. Danach reduziert sich das Wachstum.

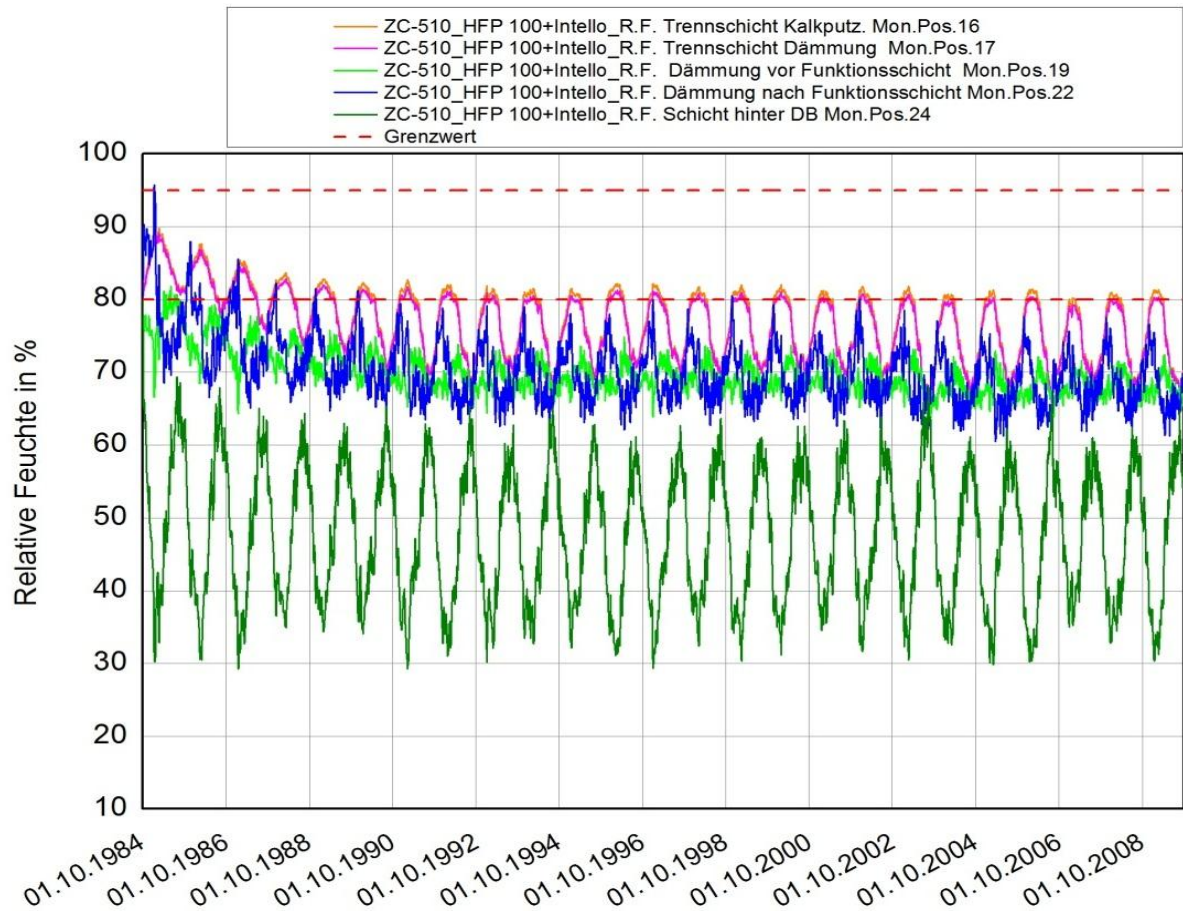
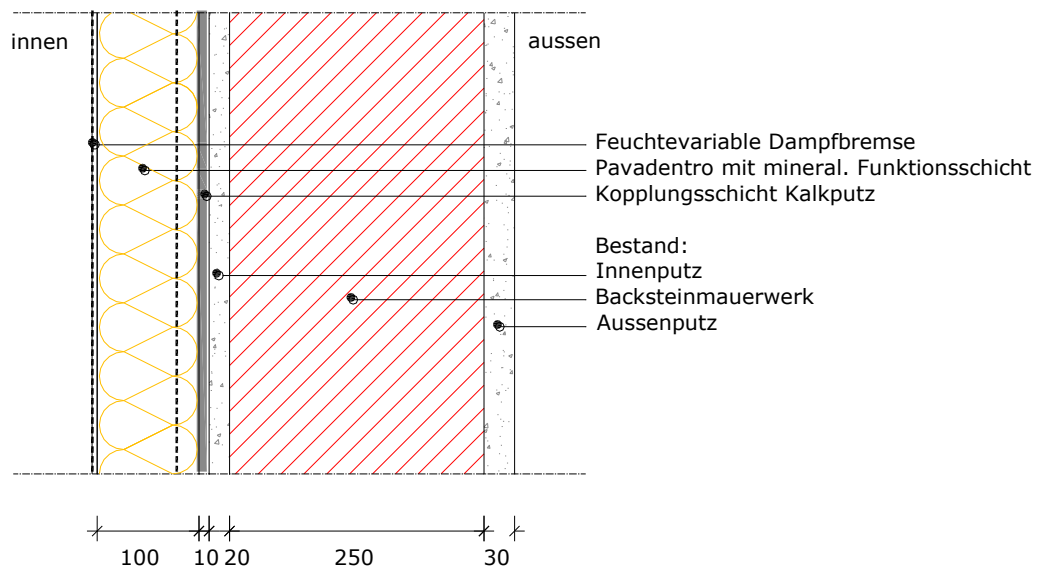


Abb. 36: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 100 mm mit feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

4.3 IDS Holzfaserdämmung 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 %
Feuchtevariable Dampfbremse (Intello)	115	2500	2.4	-	-
Pavadentro	175	1600	0.042	5	93.1
Kalkputz (Bestand + Kopplungsschicht)	1600	850	0.70	7.0	30
Backstein HWZ	1560	850	0.60	14.93	38
Kalkzementputz (Bestand)	1900	850	0.80	12	24

WÄRMESCHUTZ

Kenngrösse	Einheit		Dicke Innendämmung				
		Bestand	40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m²K/W	0.45	-	-	2.7	-	-
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m²K	1.62	-	-	0.35	-	-

4.3.1 Zusammenfassung

Bei 100 mm Holzfaserdämmung mit raumseitiger, feuchtevariabler Dampfbremse stellen die relative Feuchte sowie der Wassergehalt in der Dämmschicht und die relative Feuchte zwischen Bestand und Innendämmung bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ kein Problem dar. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Beurteilung der Versagenskriterien für die Konstruktion.

VERSAGENSKRITERIEN						
(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
Wassergehalt in Dämmschicht	Wassergehalt < 20 M.-%	✓ *	✓ *	✓	-	-
Relative Feuchte in Dämmschicht	Relative Feuchte < 95 %	✓ *	✓ *	✓	-	-
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)	-	-	✗	-	-
*extrapoliert aus den Berechnungen mit 100 mm Innendämmung						

4.3.2 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

Der Frost-Tau-Wechsel im Backstein wird bei dieser Variante nicht betrachtet, da bei einer Anfangsfeuchte im Bauteil von 80 % der Wassergehalt im Backstein niedriger ist, als bei der Anfangsfeuchte im eingeschwungenen Zustand (Anfangsfeuchte Profil 1).

b) Isoplethenmodell für Keimung von Schimmelpilzen

Die Schimmelpilzbildung an der inneren Oberfläche wird bei dieser Variante nicht betrachtet, da die gleichen Raumklimabedingungen wie bei Anfangsfeuchte Profil 1 angenommen werden.

c) Wassergehalt in Dämmschicht

Der Wassergehalt in der Dämmschicht überschreitet bei 100 mm Innendämmung nicht den Grenzwert von 20 M.-% (siehe Abb. 37).

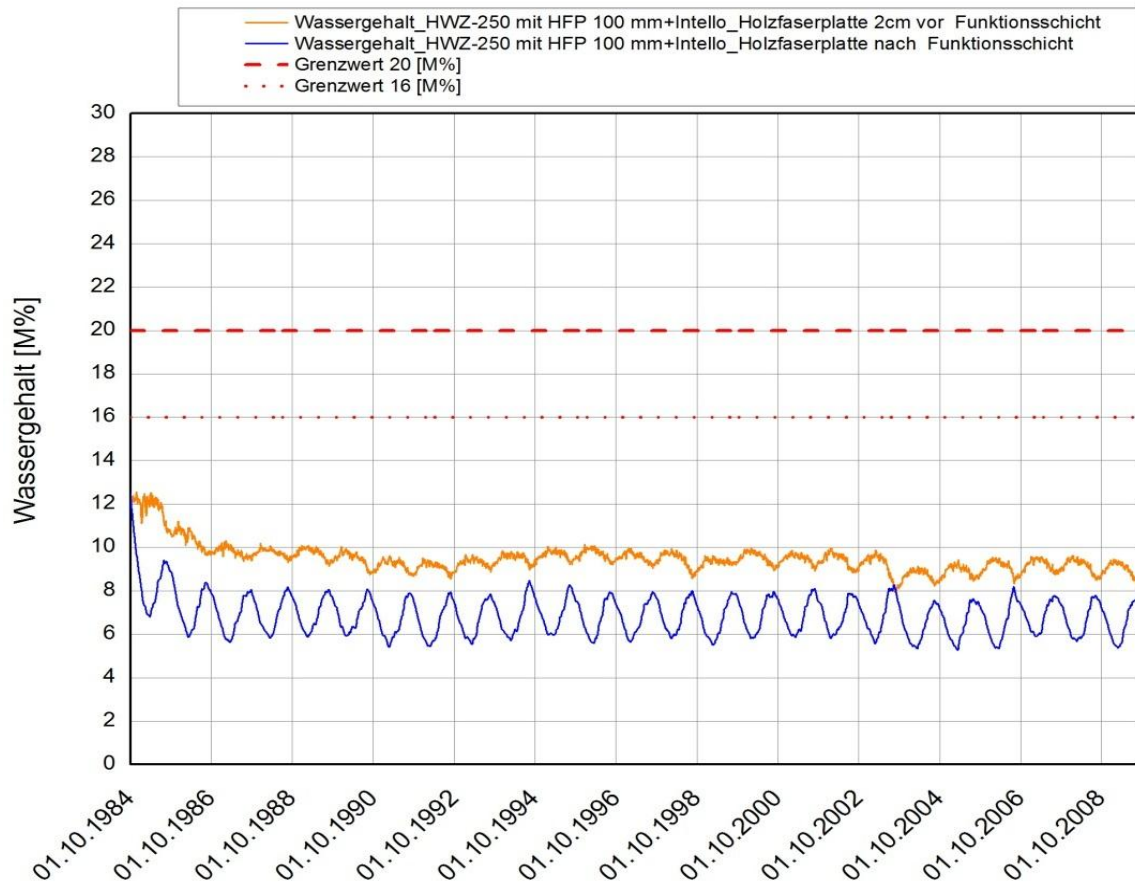


Abb. 37: Wassergehalt der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 100 mm mit feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei 100 mm Innendämmung nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 38).

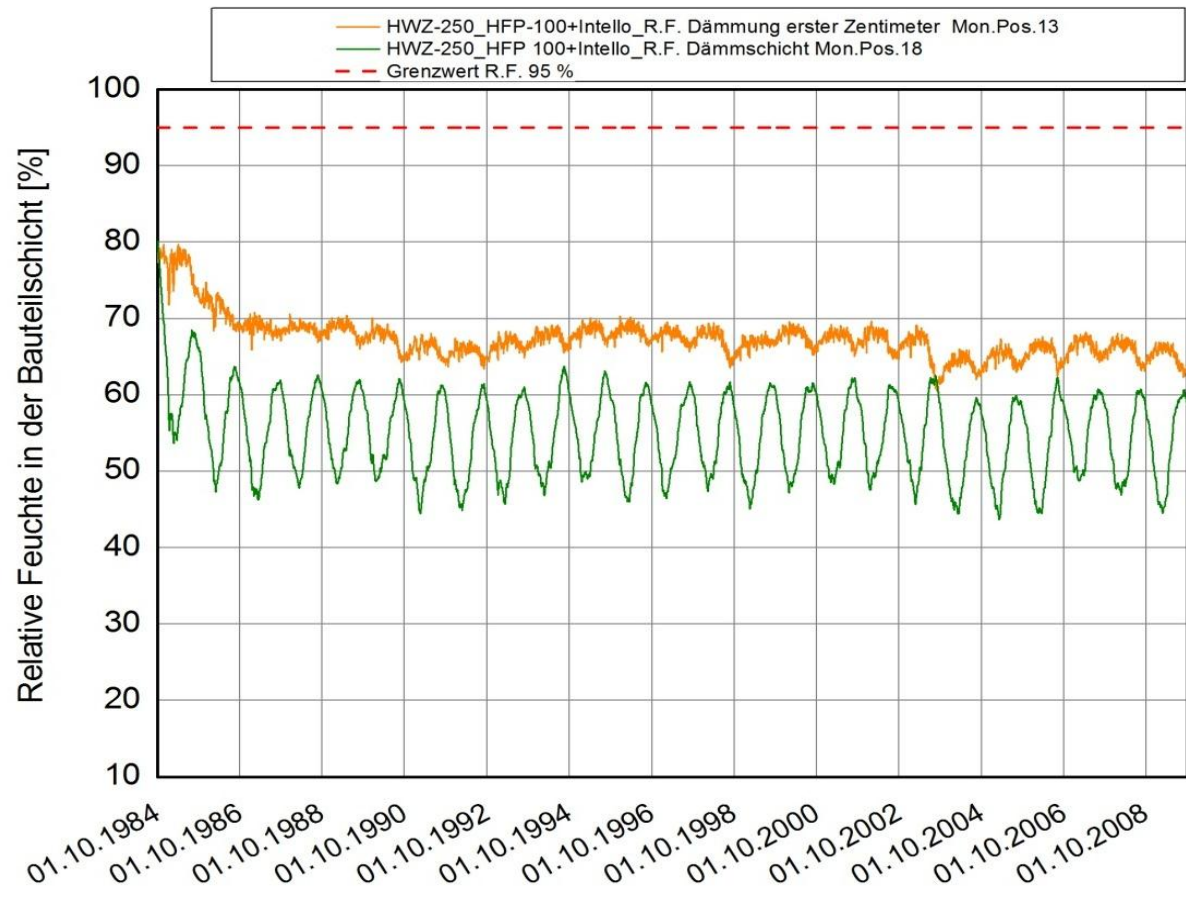


Abb. 38: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 100 mm mit feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 100 mm Holzfaserdämmung mit feuchtevariabler Dampfbremse schwankt die relative Feuchte unter 80 % (siehe Abb. 39). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante HWZ 250 mm Backstein mit Holzfaserdämmung 100 mm und feuchtevariabler Dampfbremse ergibt ein Schimmelwachstum von unter 50 mm/Jahr in der Substratklasse 1.

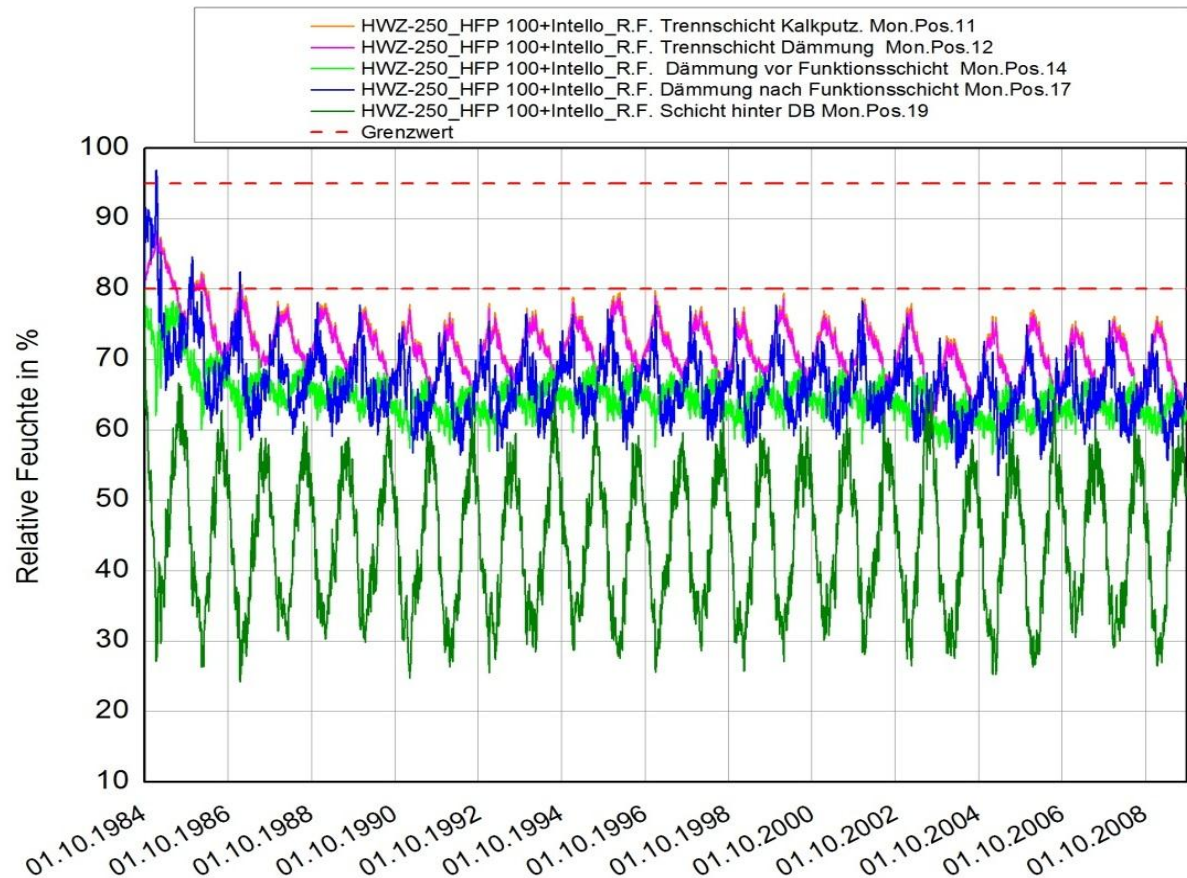
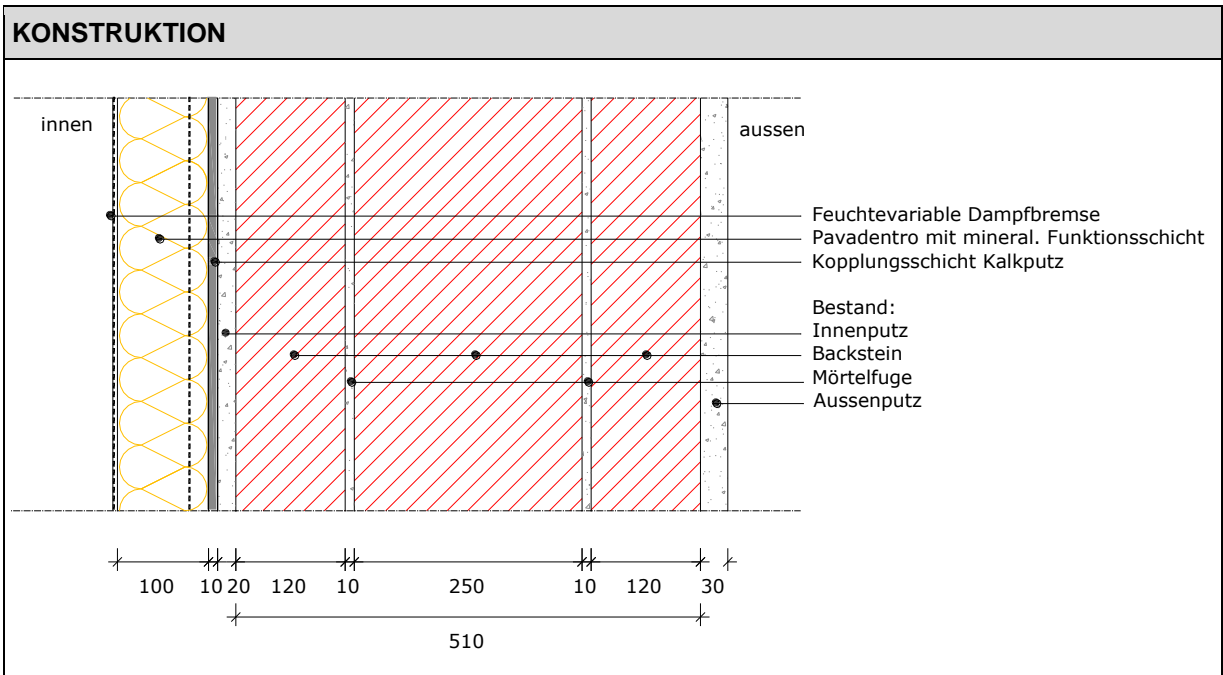


Abb. 39: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 100 mm mit feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

4.4 IDS Holzfaserdämmung mit historischem Backstein HWZ - 510 mm



MATERIALKENNDATEN					
Baustoff	ρ in kg/m ³	c_p J/kgK	λ in W/mK	μ [-]	Porosität in %
Feuchtevariable Dampfbremse (Intello)	115	2500	2.4	-	-
Pavadentro	175	1600	0.042	5	93.1
Kalkputz (Bestand + Kopplungsschicht)	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	12	24

WÄRMESCHUTZ							
Kenngrösse	Einheit		Dicke Innendämmung				
		Bestand	40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.85	-	-	3.1	-	-
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	0.98	-	-	0.30	-	-

4.4.1 Zusammenfassung

Bei 100 mm Holzfaserdämmung mit raumseitiger, feuchtevariabler Dampfbremse stellen die relative Feuchte sowie der Wassergehalt in der Dämmschicht und die relative Feuchte zwischen Bestand und Innendämmung bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ kein Problem dar. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Beurteilung der Versagenskriterien für die Konstruktion.

VERSAGENSKRITERIEN						
(Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$)						
Kenngrosse	Bedingung	Dicke Innendämmung				
		40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Wassergehalt in Dämmschicht	Wassergehalt < 20 M.-%	✓ *	✓ *	✓	-	-
Relative Feuchte in Dämmschicht	Relative Feuchte < 95 %	✓ *	✓ *	✓	-	-
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)	-	-	✗	-	-
*extrapoliert aus den Berechnungen mit 100 mm Innendämmung						

4.4.2 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

Der Frost-Tau-Wechsel im Backstein wird bei dieser Variante nicht betrachtet, da bei einer Anfangsfeuchte im Bauteil von 80 % der Wassergehalt im Backstein niedriger ist, als bei der Anfangsfeuchte im eingeschwungenen Zustand (Anfangsfeuchte Profil 1).

b) Isoplethenmodell für Keimung von Schimmelpilzen

Die Schimmelpilzbildung an der inneren Oberfläche wird bei dieser Variante nicht betrachtet, da die gleichen Raumklimabedingungen wie bei Anfangsfeuchte Profil 1 angenommen werden.

c) Wassergehalt in Dämmschicht

Der Wassergehalt in der Dämmschicht überschreitet bei 100 mm Innendämmung nicht den Grenzwert von 20 M.-% (siehe Abb. 40).

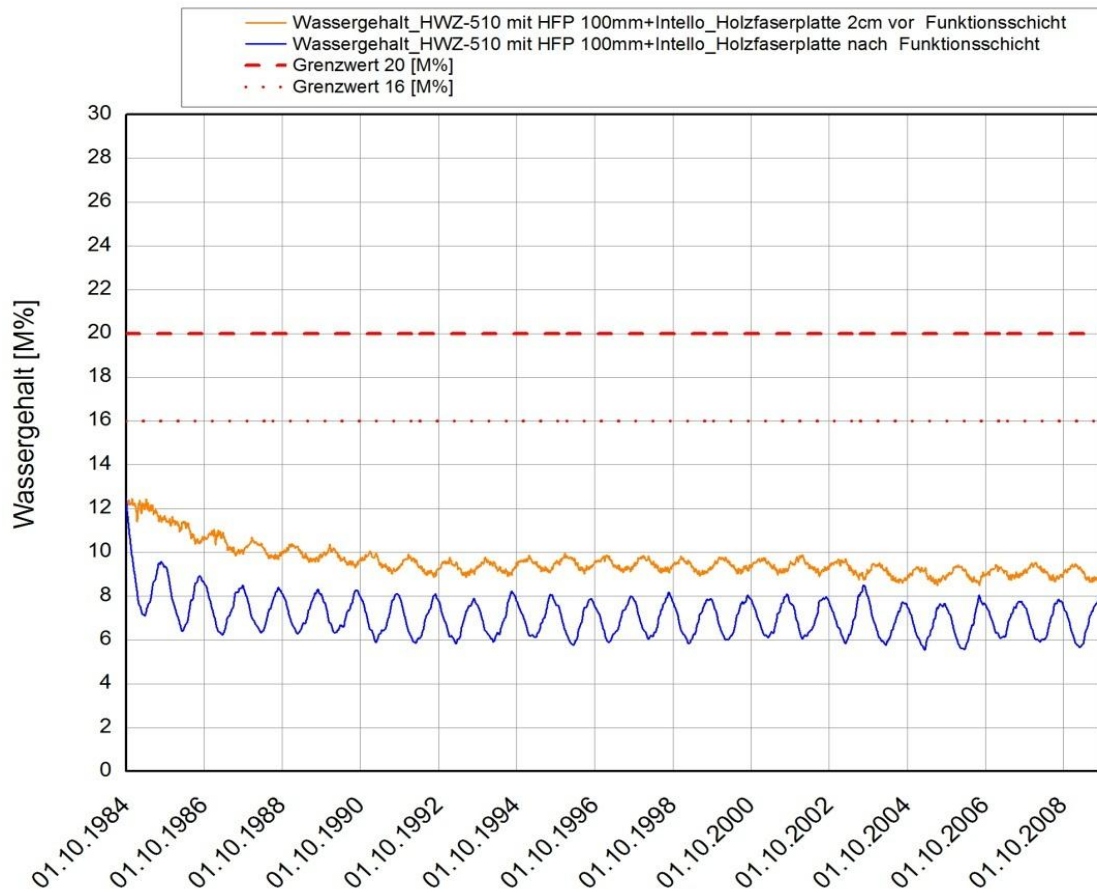


Abb. 40: Wassergehalt der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 100 mm mit feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei 100 mm Innendämmung nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 41).

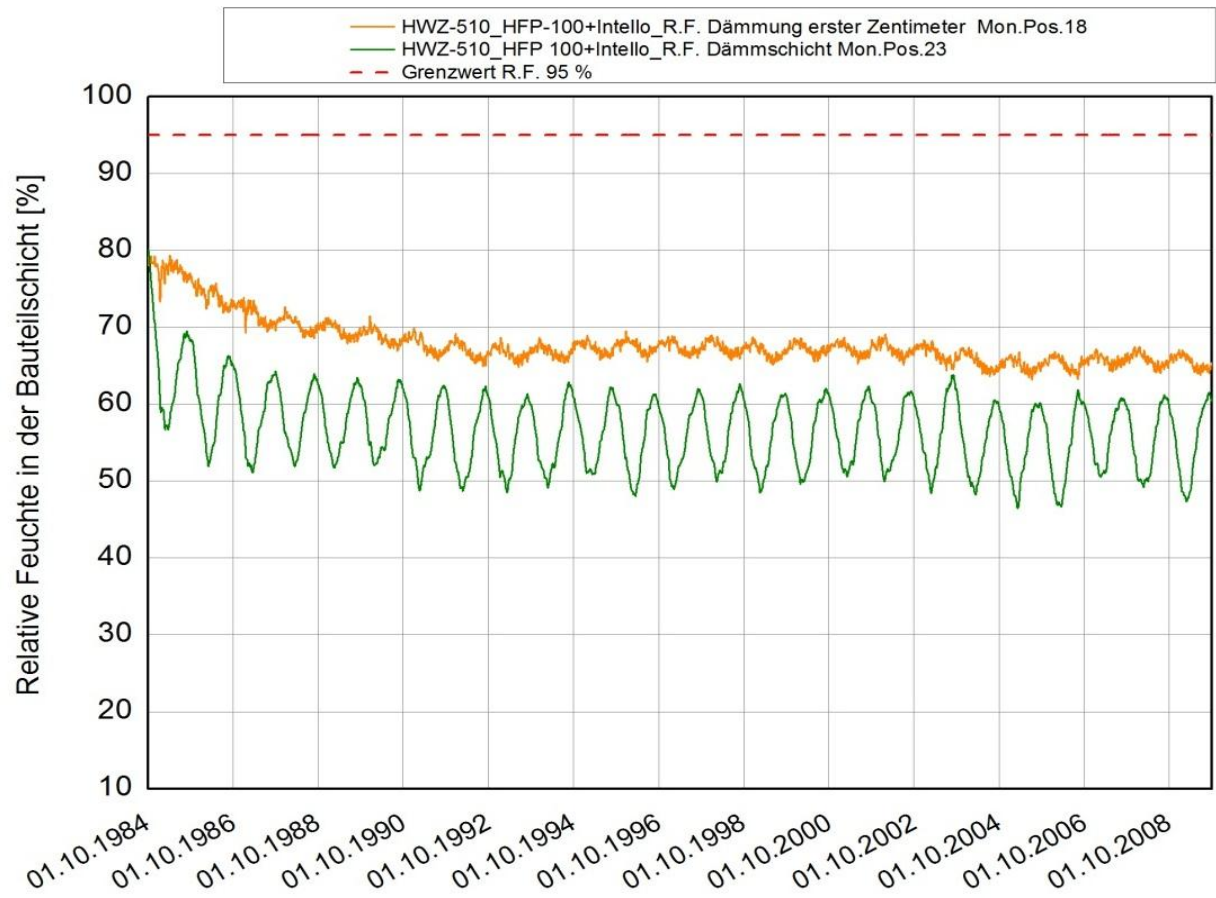


Abb. 41: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 100 mm mit feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 100 mm Holzfaserdämmung mit feuchtevariabler Dampfbremse schwankt die relative Feuchte unter 80 % (siehe Abb. 42). Bei einer Auswertung mit WUFI BIO entsteht kein Schimmelpilzwachstum über 50 mm/Jahr bei der Substratklasse 1.

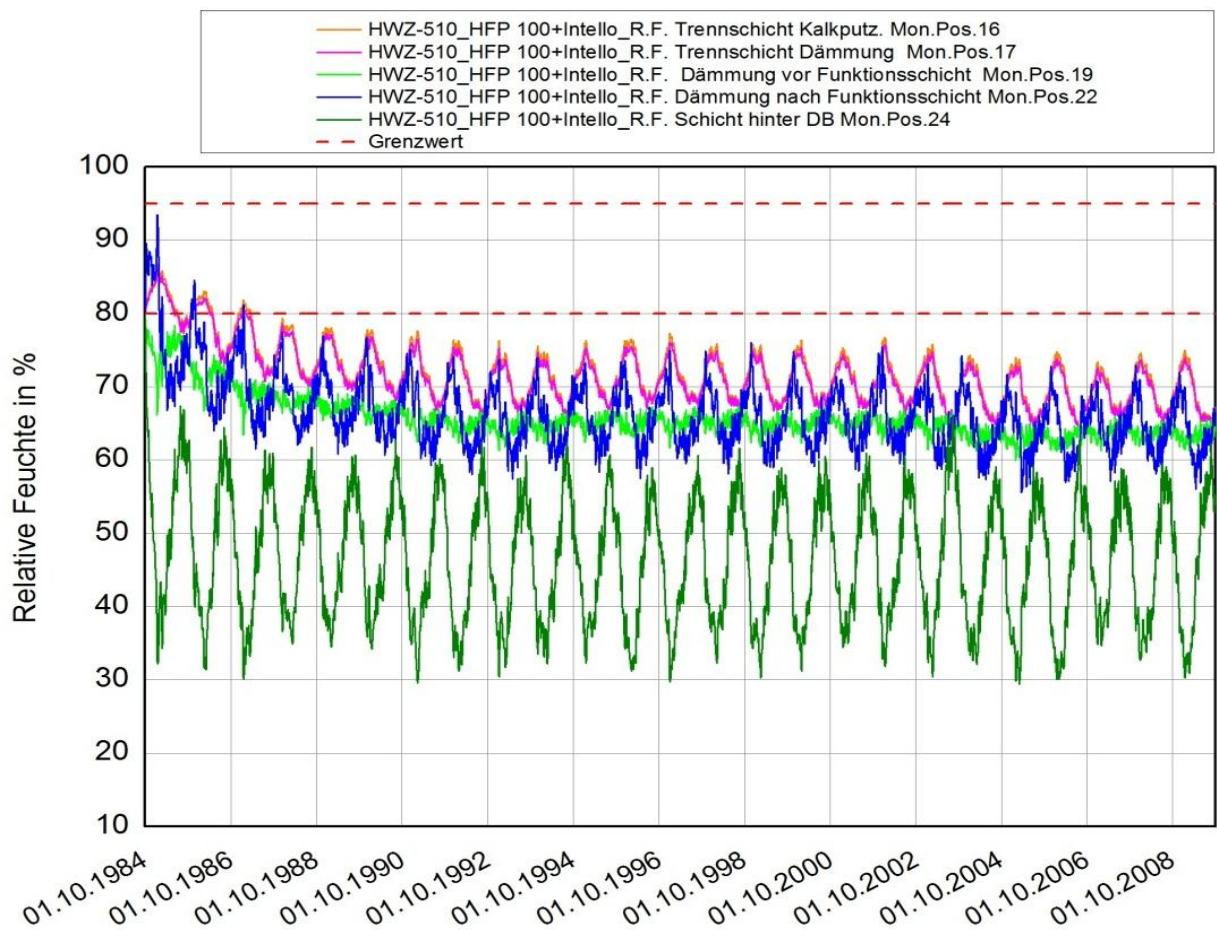


Abb. 42: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Holzfaser mit einer Dicke von 100 mm mit feuchtevariabler Dampfbremse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)