



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

ANHANG A 5:

ERGEBNISKATALOG ZELLULOSEDÄMMUNG

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 Konstruktionen	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 Zellulose mit OSB 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 Zellulose mit OSB 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 Zellulose mit OSB 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 Zellulose mit OSB 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
3.5	IDS Zellulose (mit feuchtevar. DB) mit historischem Backstein ZC - 250 mm	60
3.5.1	Zusammenfassung	61
3.5.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	62

3.6	IDS Zellulose (mit feuchtevar. DB) mit historischem Backstein ZC - 510 mm	67
3.6.1	Zusammenfassung	68
3.6.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	69
3.7	IDS Zellulose (mit feuchtevar. DB) mit historischem Backstein HWZ - 250 mm	73
3.7.1	Zusammenfassung	74
3.7.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	75
3.8	IDS Zellulose (mit feuchtevar. DB) mit historischem Backstein HWZ - 510 mm	79
3.8.1	Zusammenfassung	80
3.8.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	81
4	Ergebniskatalog (Anfangsfeuchte Profil 2)	87
4.1	IDS Zellulose (mit feuchtevar. DB) mit historischem Backstein ZC - 250 mm	87
4.1.1	Zusammenfassung	88
4.1.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	89
4.2	IDS Zellulose (mit feuchtevar. DB) mit historischem Backstein ZC - 510 mm	92
4.2.1	Zusammenfassung	93
4.2.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	94
4.3	IDS Zellulose (mit feuchtevar. DB) mit historischem Backstein HWZ - 250 mm	97
4.3.1	Zusammenfassung	98
4.3.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)	99
4.4	IDS Zellulose (mit feuchtevar. DB) mit historischen Backsteim HWZ - 510 mm	102
4.4.1	Zusammenfassung	103
4.4.2	Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$) ...	104

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.

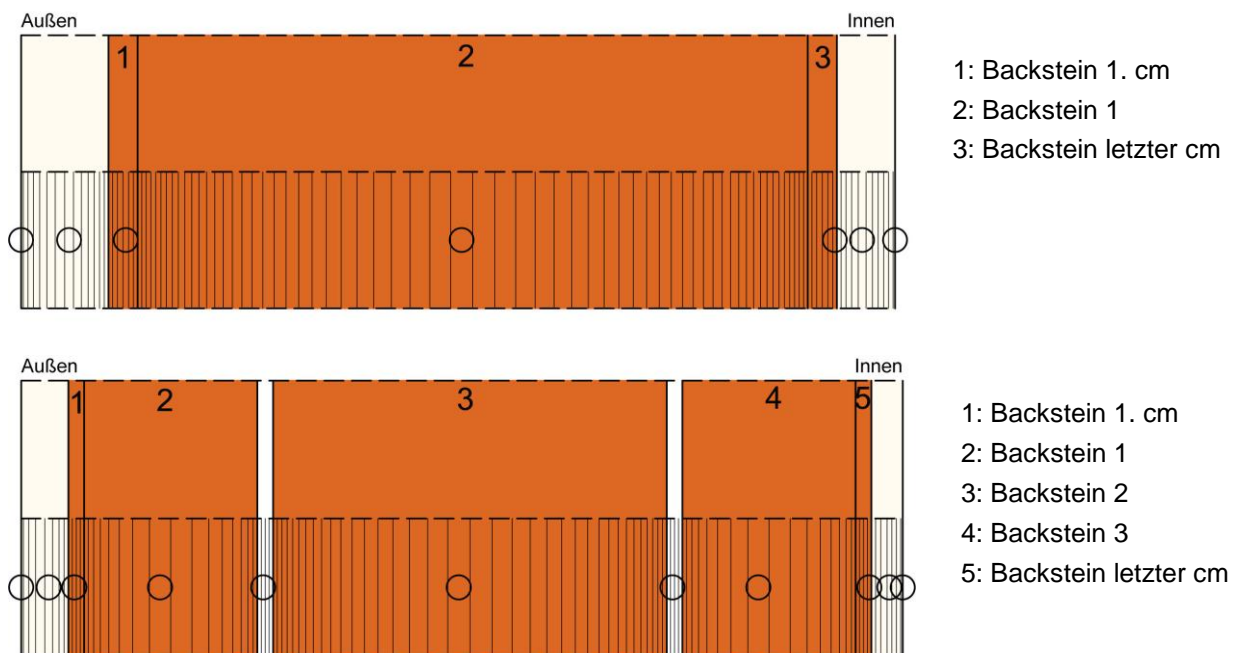


Abb. 1: Bezeichnung der Schichten zur Auswertung des Frostkriteriums für Mauerwerke der Dicke 300 mm (oben) und 560 mm (unten).

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.

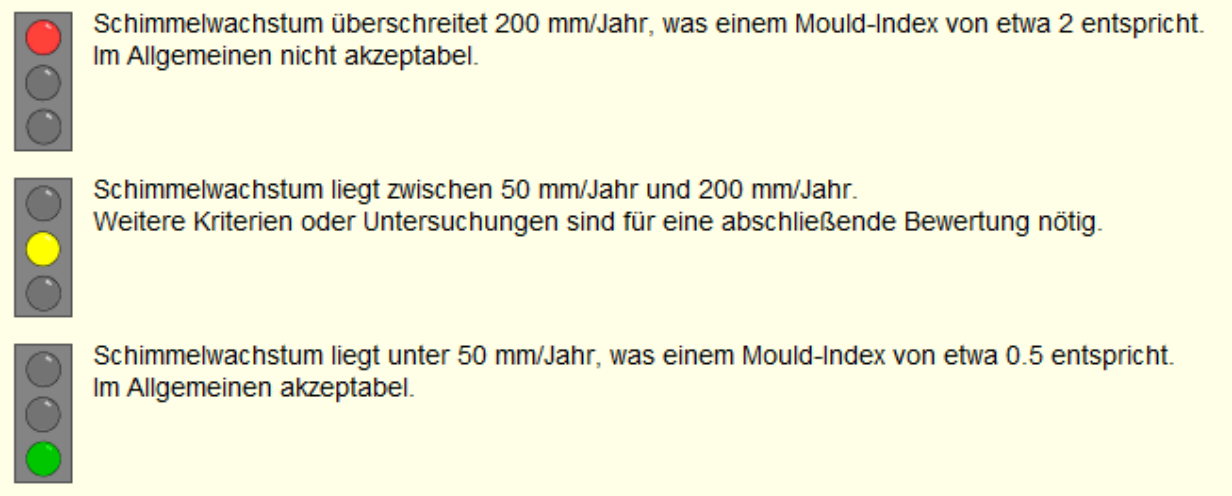


Abb. 2: „Ampel-System“ zu den Ergebnissen einer WUFI-BIO Simulation (Quelle: WUFI-Bio 3.0 Online-Hilfe)

2 ANWENDUNG DES KATALOGS

2.1 Übersicht Konstruktionen

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

Tabelle 1: Untersuchte Innendämmsysteme des Ergebniskatalogs mit Seitenzahl

Innendämmsystem	Mauerwerk			
	Backsteintyp ZC		Backsteintyp HWZ	
	d ¹⁾ = 300 mm	d = 560 mm	d = 300 mm	d = 560 mm
Zellulosedämmung mit OSB-Platte	Seite 10	Seite 22	Seite 35	Seite 43
Zellulose mit feuchtevariabler Dampfbremse	Seite 60	Seite 67	Seite 73	Seite 79
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 Materialkennndaten 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 $wW = 0.5 \text{ kg/m}^2 \text{ h}^{0.5}$ ist $\mu = 19.0$ beim Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $wW = 0.1 \text{ kg/m}^2 \text{ h}^{0.5}$ 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							
Kenngösse	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							

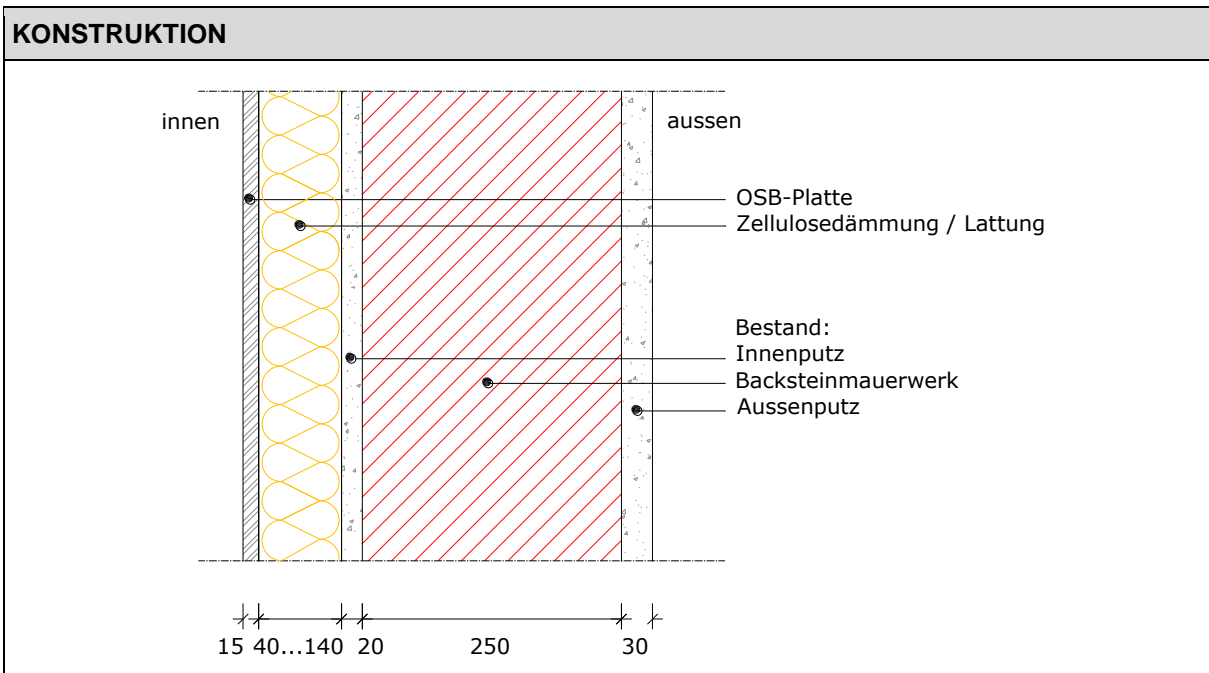
③ Danach werden die Versagenskriterien in einer Übersichtstabelle zusammengestellt und das Innendämmsystem für die verschiedenen Dicken der Wärmedämmung analysiert. ✓ bedeutet, das Kriterium wird eingehalten, ✗ bedeutet, das Kriterium wird nicht erfüllt.

VERSAGENSKRITERIEN						
(Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0.5})$)						
Kenngösse	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 Zellulose mit OSB mit historischem Backstein ZC - 250 mm



MATERIALKENNDATEN					
Baustoff	ρ in kg/m ³	c_p J/kgK	λ in W/mK	μ [-]	Porosität in %
OSB	615	1500	0.13	175	90
Zellulose	50	2150	0.037	1.5	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 $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{h}^{0.5})$ 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	1.54	2.48	3.00	3.47	3.84
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	2.01	0.65	0.40	0.33	0.29	0.26

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

3.1.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein, die relative Feuchte an der inneren Oberfläche sowie die relative Feuchte 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 der Wassergehalt in der Dämmschicht den Grenzwert von 20 M.-%. Auch die relative Feuchte an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung überschreitet die 80 % - Grenze bzw. eine genauere Auswertung mit WUFI-Bio ergibt ein Schimmelpilzwachstum. Demnach sind nur 40 mm Zellulosedämmung mit 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 %	✗	✗	✗	✗	✗
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.

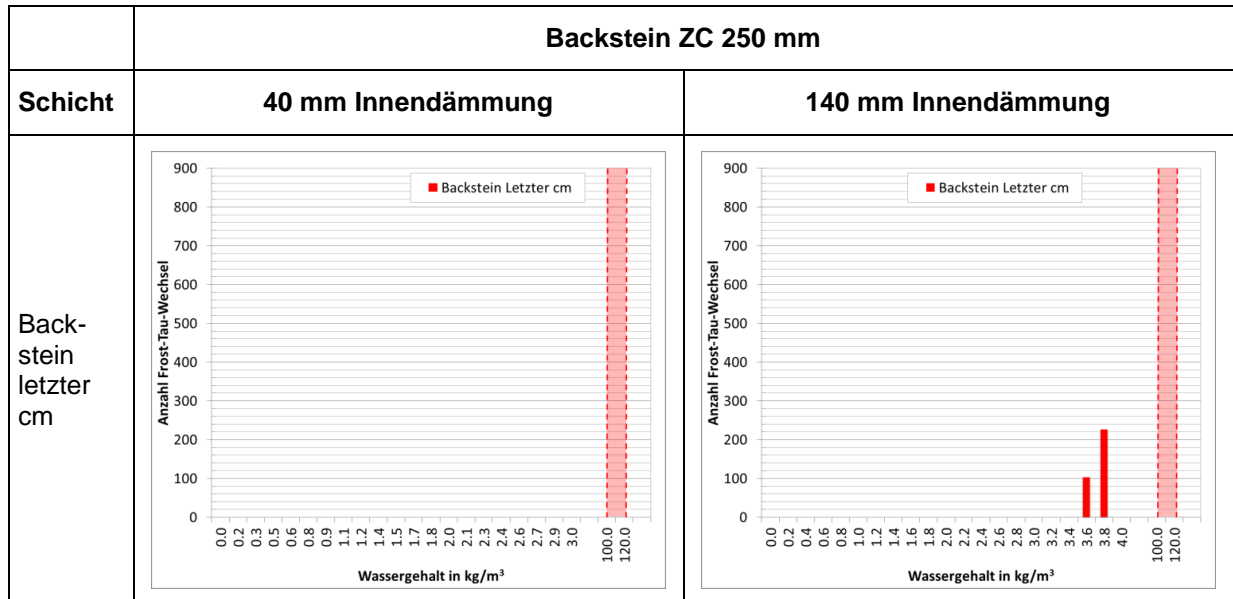
a) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

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.

	Backstein ZC 250 mm	
Schicht	40 mm Innendämmung	140 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 Zellulosedämmung mit einer Dicke von 40 mm.

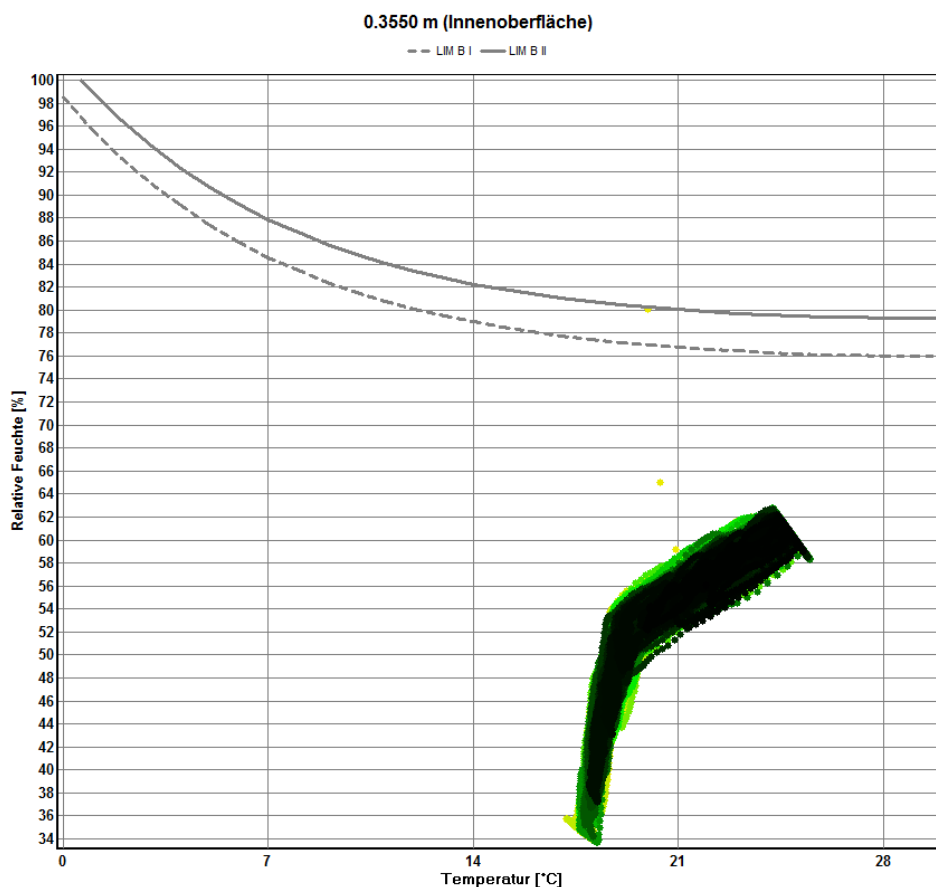


Abb. 3: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

c) Wassergehalt in Bauteilschicht

Bei 40 mm Innendämmung wird der Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-% nicht überschritten (siehe Abb. 4 oben). Ab 100 mm Innendämmung überschreitet der erste Zentimeter der Dämmschicht den Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-%. In Abb. 4 (unten) sind 140 mm Innendämmung dargestellt. Der Wassergehalt der OSB-Platte überschreitet nicht den Grenzwert von 16 M.-% (siehe grüne Linie Abb. 4).

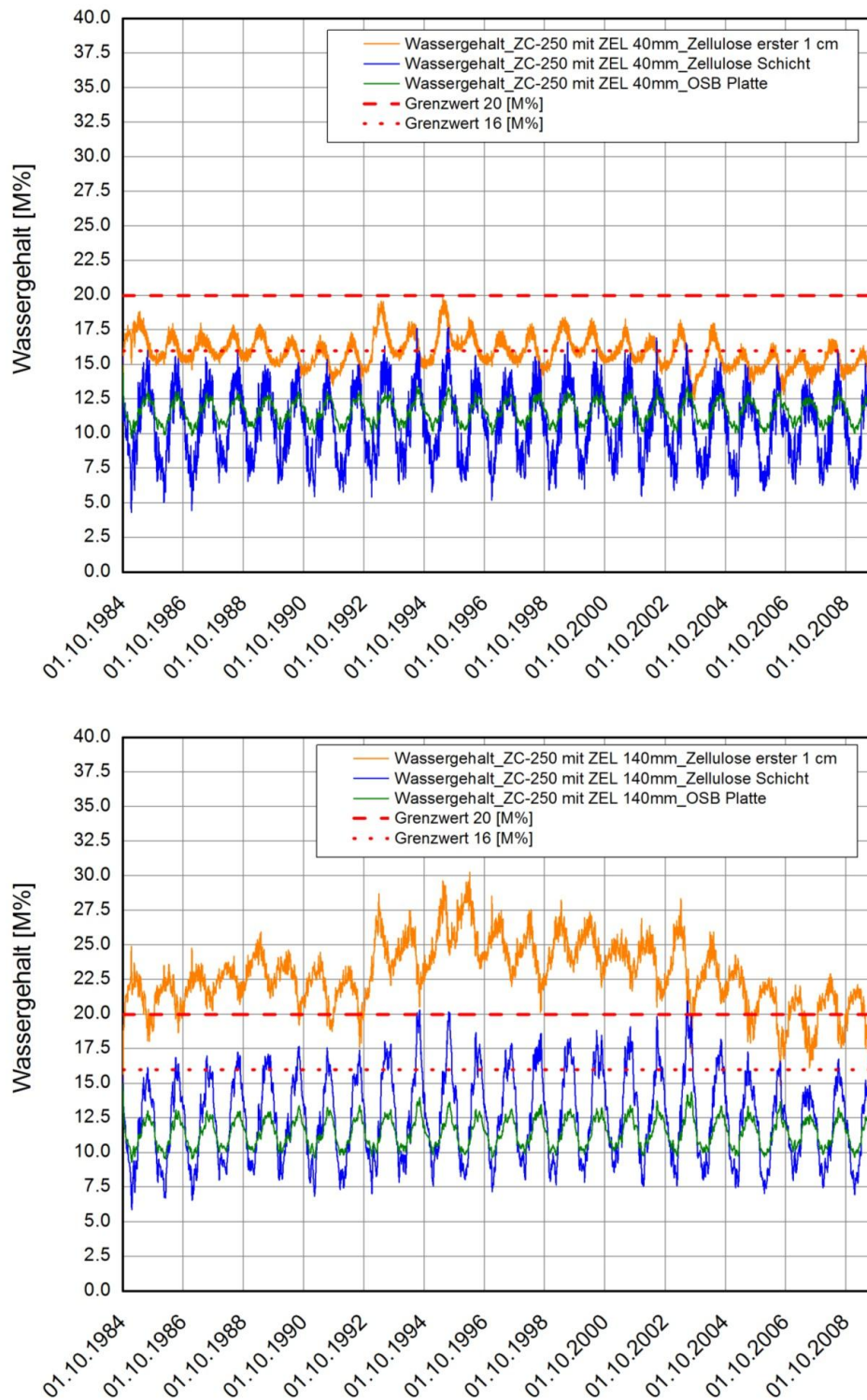


Abb. 4: Wassergehalt der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

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

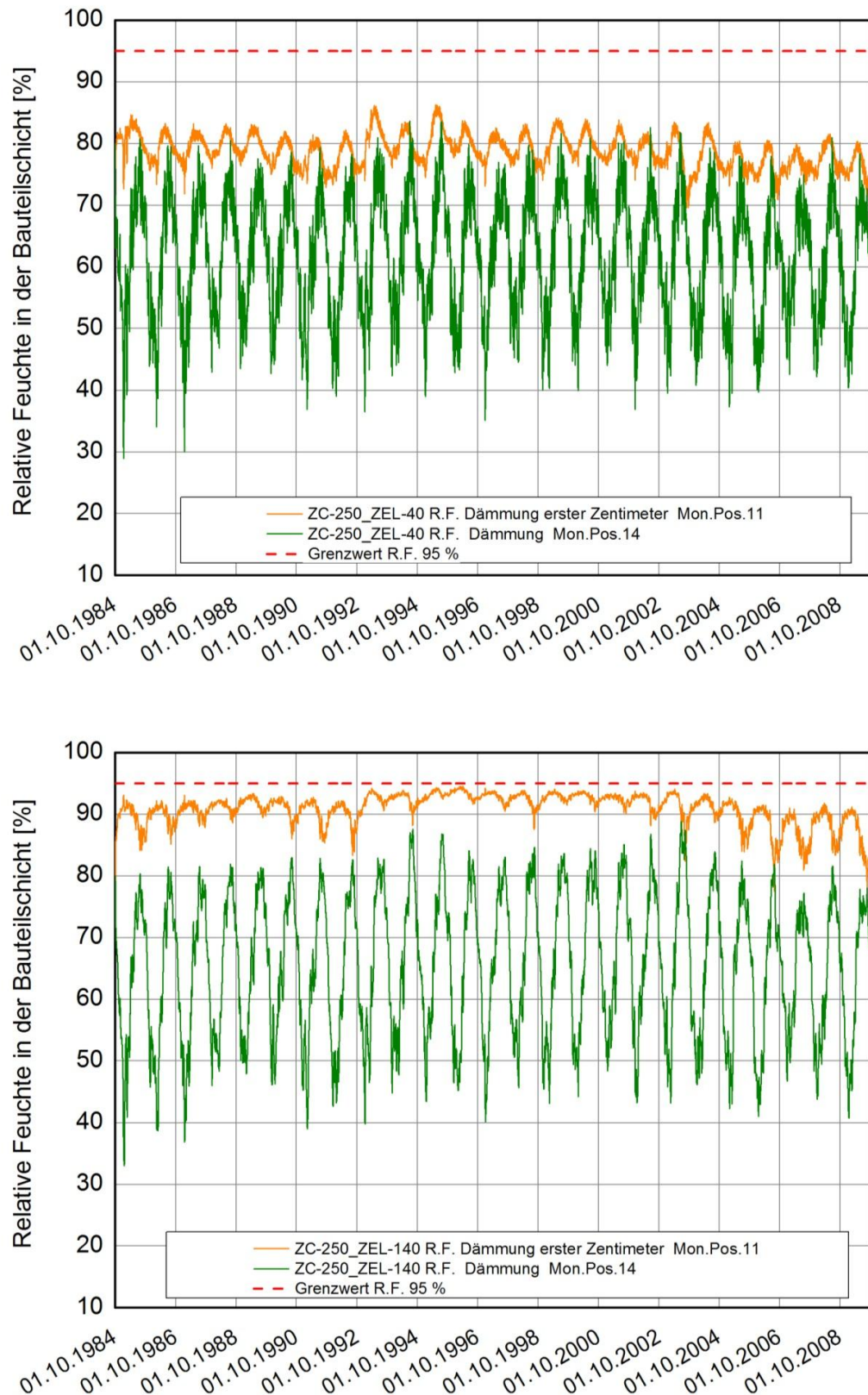


Abb. 5: Relative Feuchte in der Dämmschicht der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aus-senputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei allen Dicken Innendämmung schwankt die relative Feuchte über 25 Jahre über 80 % (siehe Abb. 6).

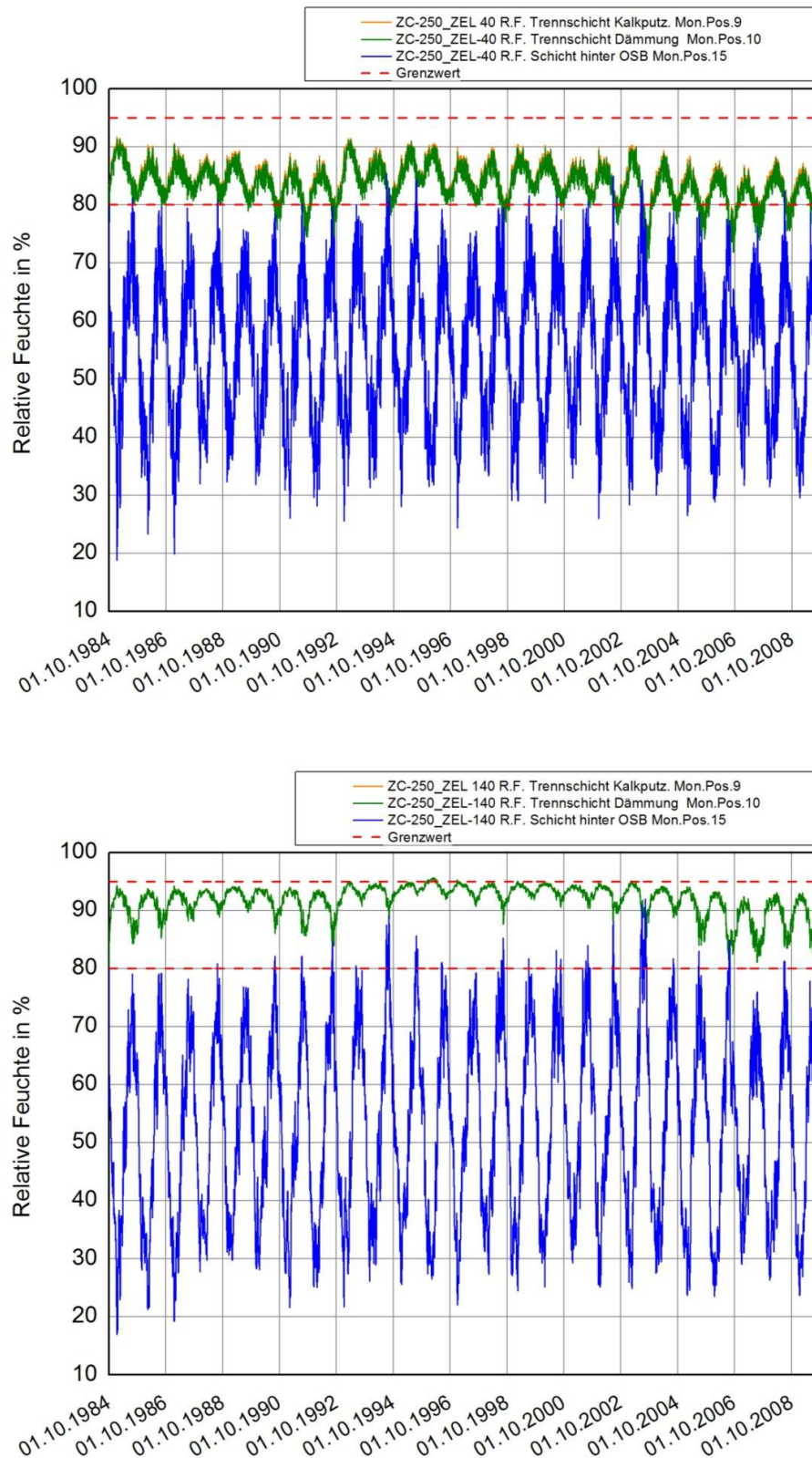


Abb. 6: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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 Bauteilschicht

Bei 40 mm Innendämmung überschreitet der Wassergehalt in der Dämmschicht nicht den Grenzwert von 20 M.-% (siehe Abb. 7 oben). Bei 80 – 100 mm Innendämmung sinkt der Wassergehalt im ersten Zentimeter der Dämmschicht unter 20 M.-% innerhalb von 3 Jahren (nicht dargestellt). Bei 140 mm Innendämmung überschreitet der erste Zentimeter der Dämmschicht den Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-% über 25 Jahre (siehe Abb. 7 unten).

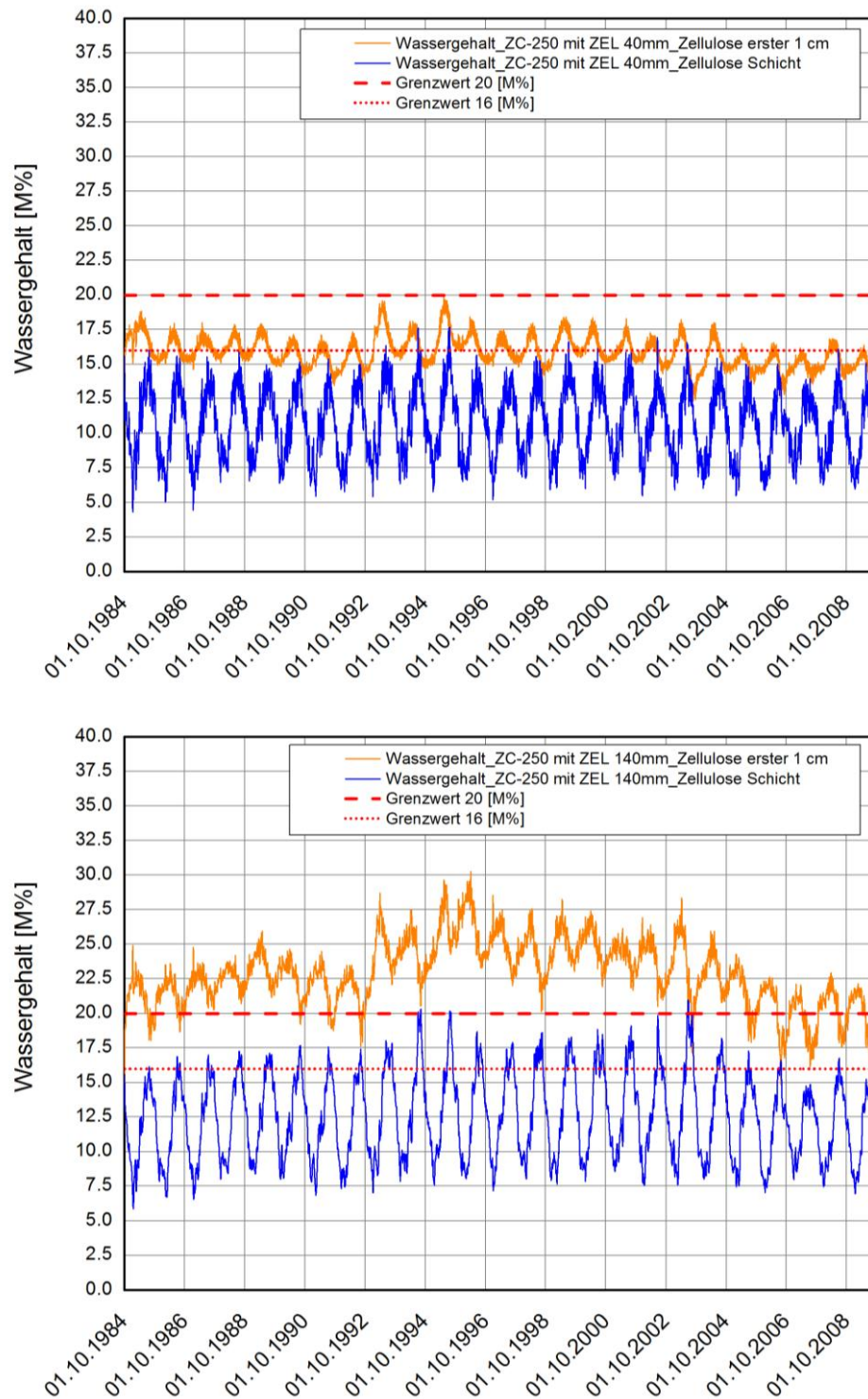


Abb. 7: Wassergehalt der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

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

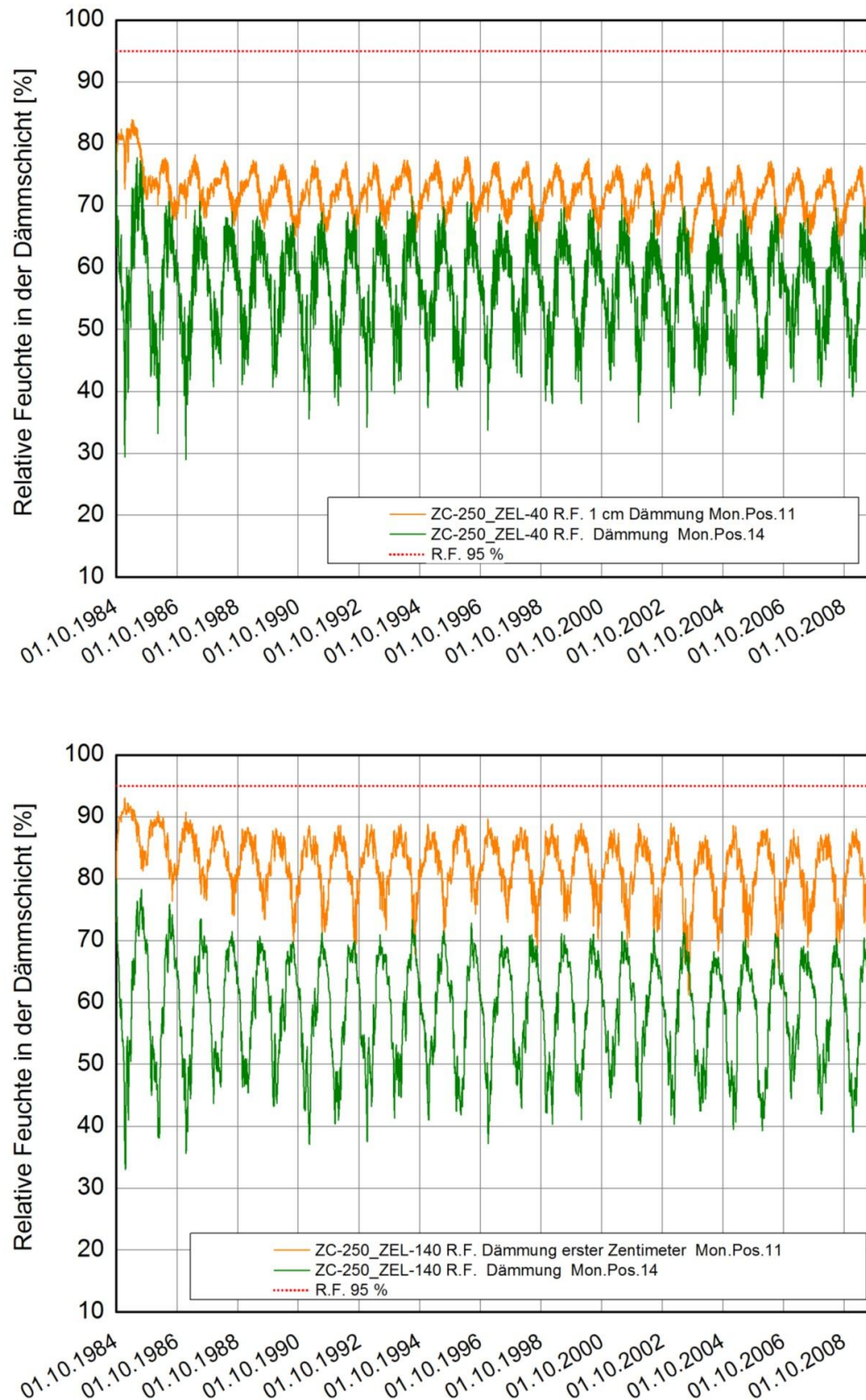


Abb. 8: Relative Feuchte in der Dämmschicht der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aus-senputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung reduziert sich die relative Feuchte innerhalb eines Jahres und schwankt danach schwankt unter 83 % (siehe Abb. 9 oben). Bei 140 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte um 85 % (siehe Abb. 9 unten). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante ZC 250 mm Backstein mit Zellulosedämmung 140 mm ergibt in den ersten 22 Jahren ein Schimmelwachstum von 50 mm/Jahr bis 200 mm/Jahr. Danach reduziert sich das Wachstum auf unter 50 mm/Jahr. Bei 80 mm Innendämmung ergibt sich in den ersten 5 Jahren ein Schimmelwachstum von 50 mm/Jahr bis 200 mm/Jahr.

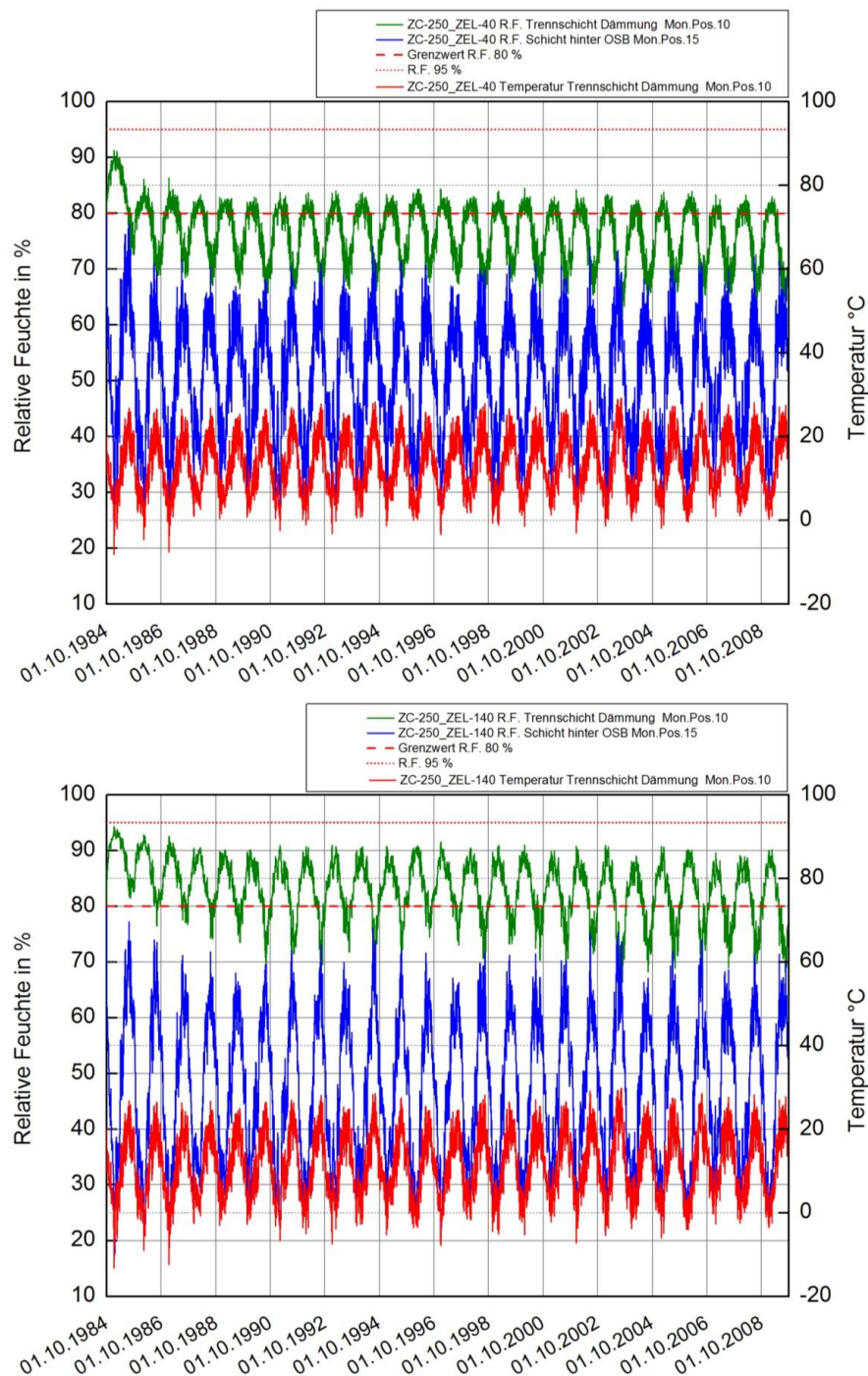
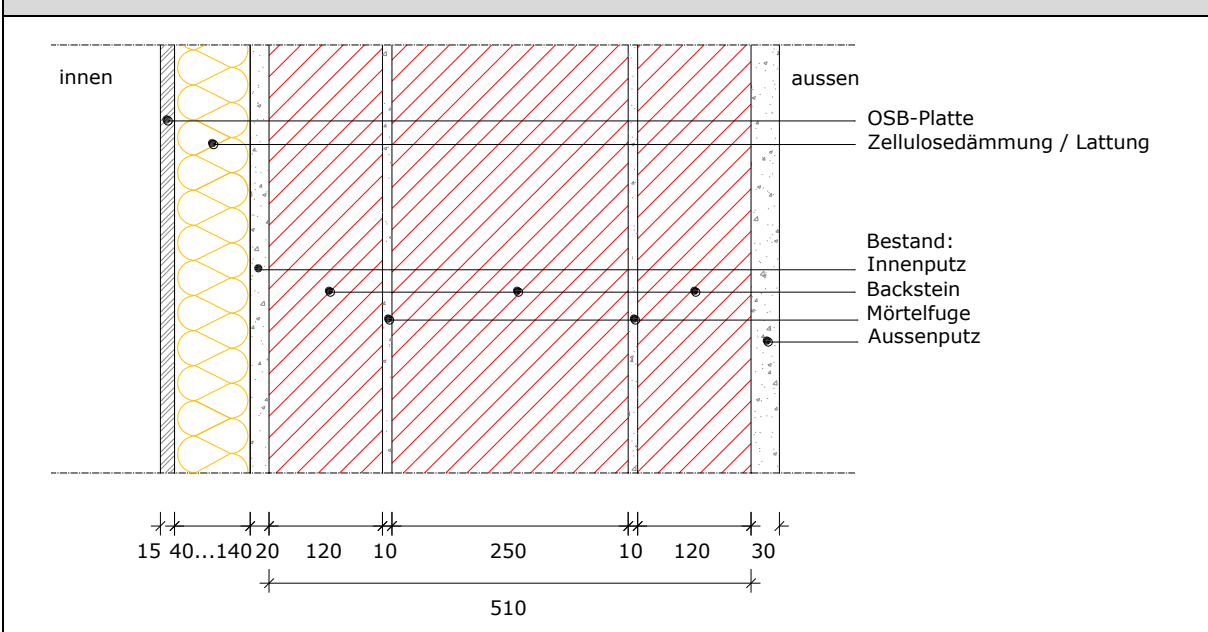


Abb. 9: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.2 IDS Zellulose mit OSB 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 %
OSB	615	1500	0.13	175	90
Zellulose	50	2150	0.037	1.5	95
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 $w = 0.5 \text{ kg/(m}^2\text{h}^{0.5})$ 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	1.83	2.78	3.30	3.77	4.14
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	1.28	0.55	0.36	0.30	0.27	0.24

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

3.2.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein, die relative Feuchte an der inneren Oberfläche sowie die relative Feuchte 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 der Wassergehalt in der Dämmschicht den Grenzwert von 20 M.-%. Auch die relative Feuchte an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung überschreitet die 80 % - Grenze bzw. eine genauere Auswertung mit WUFI-Bio ergibt ein Schimmelpilzwachstum. Die beiden nachfolgenden Tabellen zeigen die Beurteilung der Versagenskriterien für die beiden Konstruktionen.

VERSAGENSKRITERIEN						
(Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)						
Kenngrosse	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 %	✗	✗	✗	✗	✗
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.

	Backstein ZC 510 mm	
Schicht	40 mm Innendämmung	140 mm Innendämmung
Backstein 1. cm		

Fortsetzung Tabelle 4

	Backstein ZC 510 mm	
Schicht	40 mm Innendämmung	140 mm Innendämmung
Backstein 2	<p>Bar chart showing the number of frost-thaw cycles (Anzahl Frost-Tau-Wechsel) versus water content (Wassergehalt in kg/m³) for Backstein 2 with 40 mm insulation. The y-axis ranges from 0 to 200, and the x-axis ranges from 0.0 to 6.0. The chart shows a distribution of water content values, with a peak around 3.3 kg/m³. A red dashed line indicates a threshold at 100.0-120.0 kg/m³.</p>	<p>Bar chart showing the number of frost-thaw cycles (Anzahl Frost-Tau-Wechsel) versus water content (Wassergehalt in kg/m³) for Backstein 2 with 140 mm insulation. The y-axis ranges from 0 to 200, and the x-axis ranges from 0.0 to 6.0. The chart shows a distribution of water content values, with a peak around 3.3 kg/m³. A red dashed line indicates a threshold at 100.0-120.0 kg/m³.</p>
Backstein 3	<p>Bar chart showing the number of frost-thaw cycles (Anzahl Frost-Tau-Wechsel) versus water content (Wassergehalt in kg/m³) for Backstein 3 with 40 mm insulation. The y-axis ranges from 0 to 80, and the x-axis ranges from 0.0 to 4.0. The chart shows a distribution of water content values, with a peak around 3.3 kg/m³. A red dashed line indicates a threshold at 100.0-120.0 kg/m³.</p>	<p>Bar chart showing the number of frost-thaw cycles (Anzahl Frost-Tau-Wechsel) versus water content (Wassergehalt in kg/m³) for Backstein 3 with 140 mm insulation. The y-axis ranges from 0 to 80, and the x-axis ranges from 0.0 to 4.0. The chart shows a distribution of water content values, with a peak around 3.3 kg/m³. A red dashed line indicates a threshold at 100.0-120.0 kg/m³.</p>
Backstein letzter cm	<p>Bar chart showing the number of frost-thaw cycles (Anzahl Frost-Tau-Wechsel) versus water content (Wassergehalt in kg/m³) for Backstein letzter cm with 40 mm insulation. The y-axis ranges from 0 to 900, and the x-axis ranges from 0.0 to 3.0. The chart shows a distribution of water content values, with a peak around 3.3 kg/m³. A red dashed line indicates a threshold at 100.0-120.0 kg/m³.</p>	<p>Bar chart showing the number of frost-thaw cycles (Anzahl Frost-Tau-Wechsel) versus water content (Wassergehalt in kg/m³) for Backstein letzter cm with 140 mm insulation. The y-axis ranges from 0 to 900, and the x-axis ranges from 0.0 to 3.0. The chart shows a distribution of water content values, with a peak around 3.3 kg/m³. A red dashed line indicates a threshold at 100.0-120.0 kg/m³.</p>

b) Wassergehalt in Bauteilschicht

Bei 40 mm Innendämmung wird der Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-% nicht überschritten (siehe Abb. 10 oben). Bei 80 mm Innendämmung überschreitet der erste Zentimeter der Dämmschicht den Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-% in den ersten 3 Jahren (nicht dargestellt). Ab 100 mm Innendämmung überschreitet der erste Zentimeter der Dämmschicht den Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-% über 25 Jahre. In Abb. 10 (unten) sind 140 mm Innendämmung dargestellt. Der Wassergehalt der OSB-Platte überschreitet nicht den Grenzwert von 16 M.-% (siehe grüne Linie

Abb. 10).

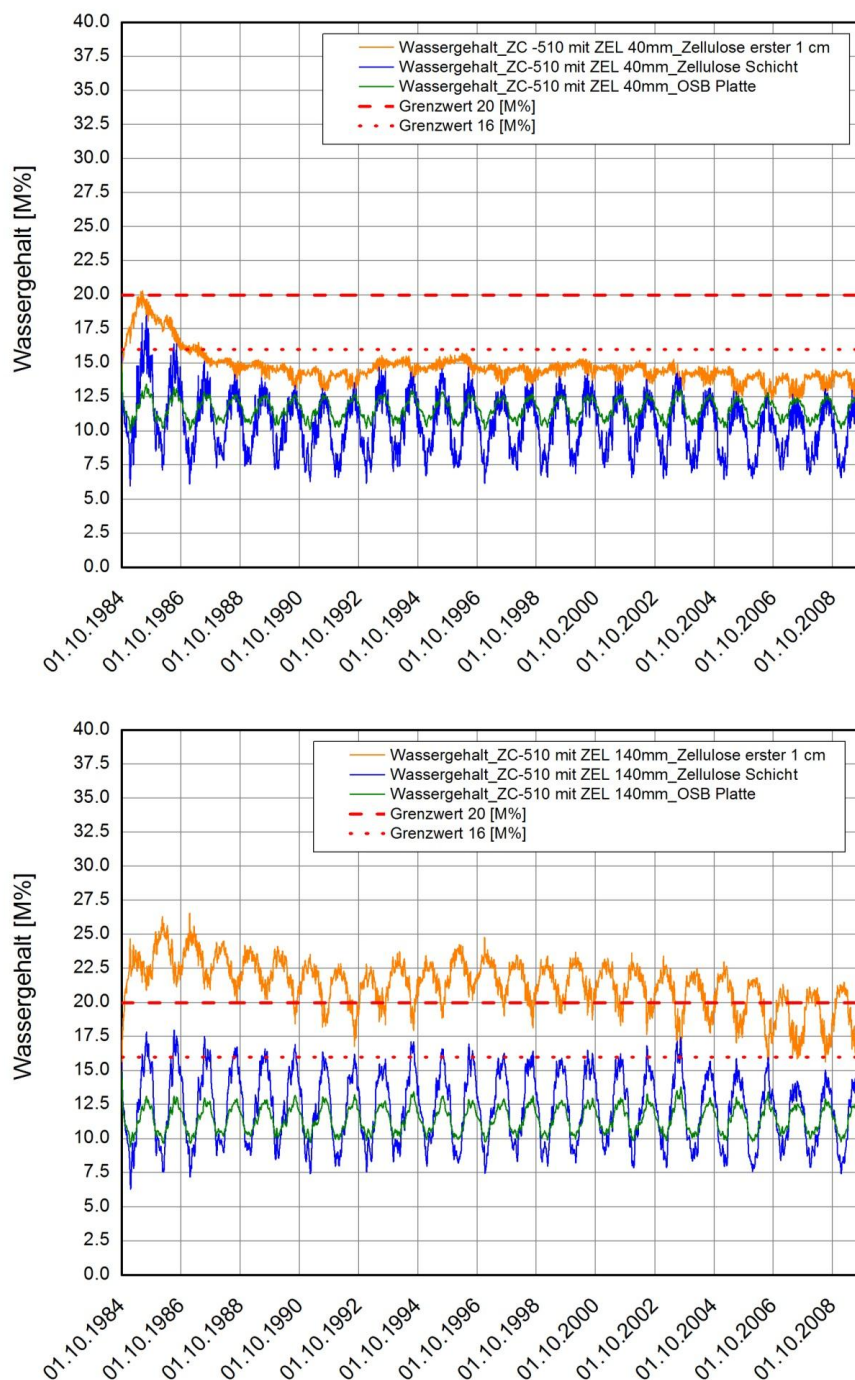


Abb. 10: Wassergehalt der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

c) Relative Feuchte in Bauteilschicht

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

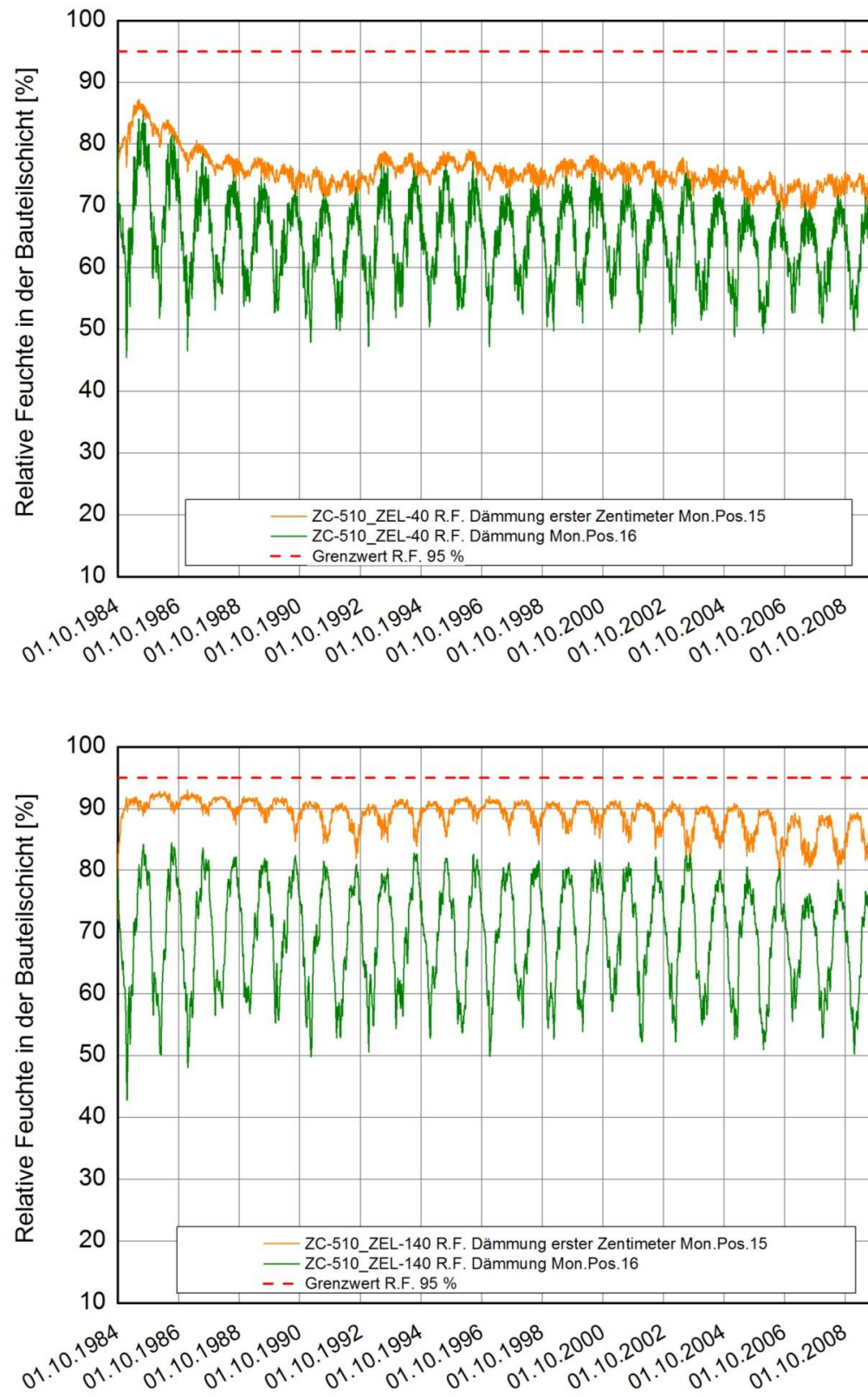


Abb. 11: Relative Feuchte in der Dämmschicht der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aus-senputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei allen Dicken Innendämmung schwankt die relative Feuchte über 25 Jahre über 80 % (siehe Abb. 12).

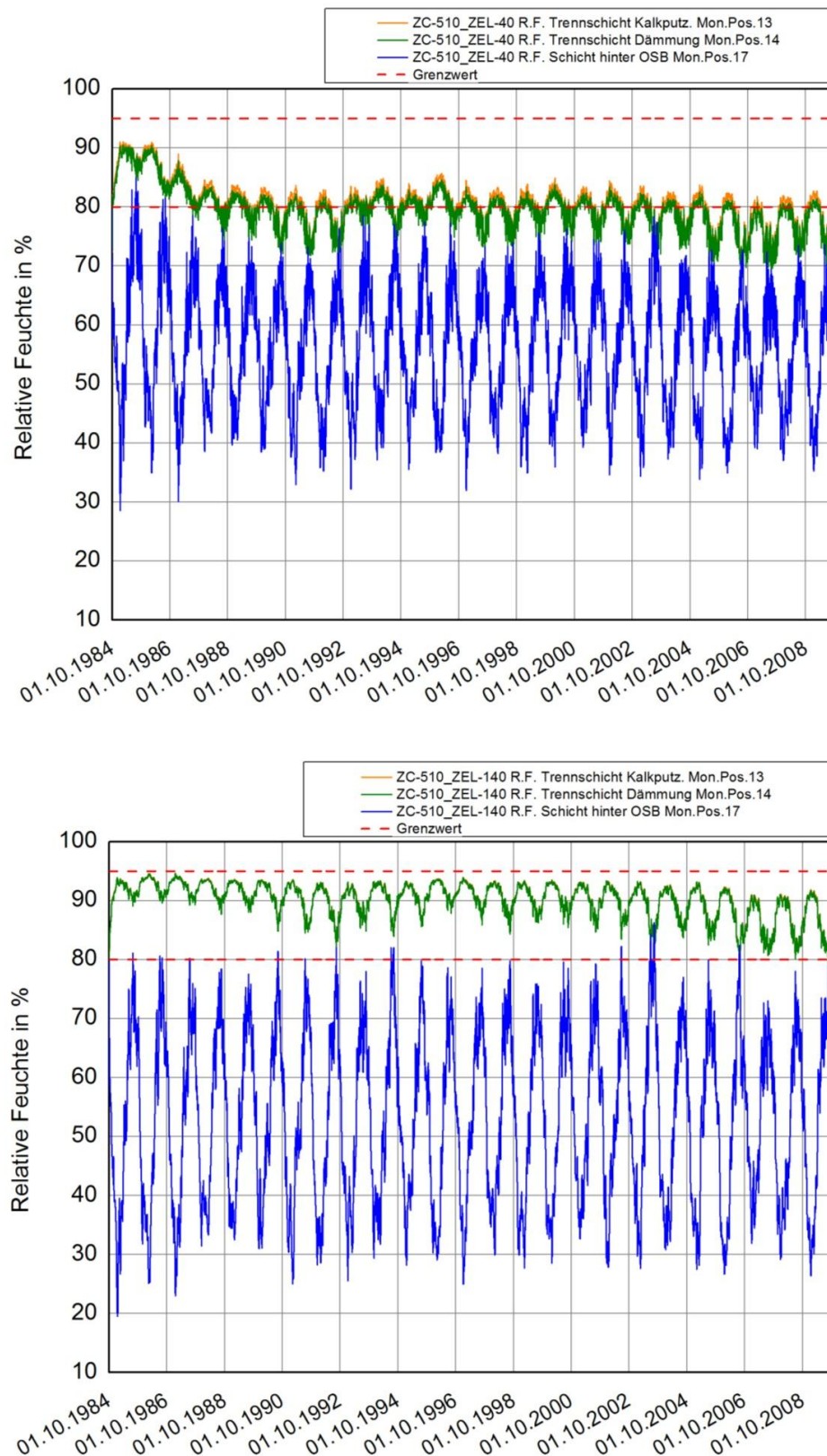


Abb. 12: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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 Zellulosedämmung mit einer Dicke von 40 mm.

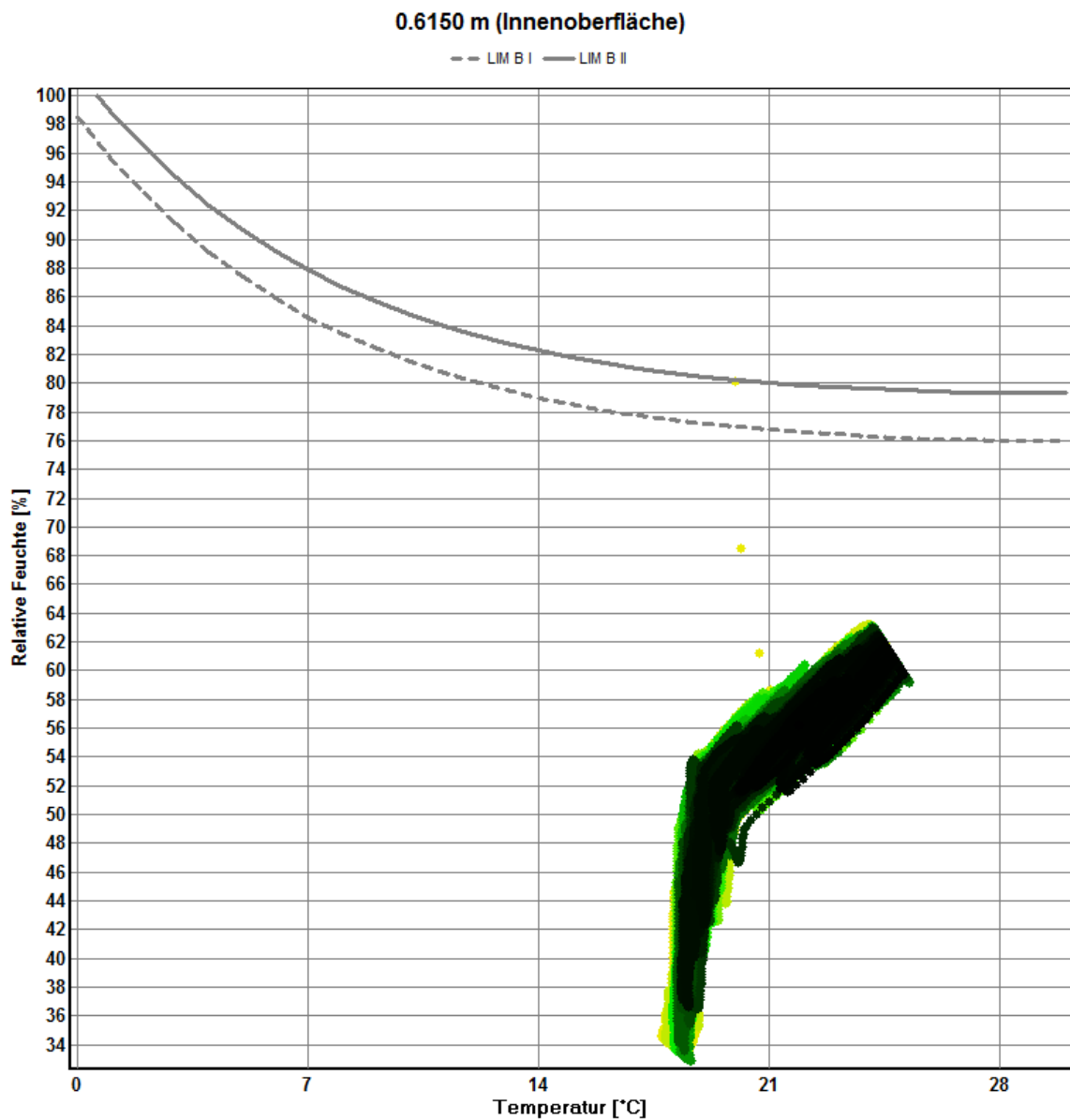


Abb. 13: Isoplethenmodell der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 mm (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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 Bauteilschicht

Bei 40 mm Innendämmung überschreitet der Wassergehalt in der Dämmschicht nicht den Grenzwert von 20 M.-% (siehe Abb. 14 oben). Ab 100 mm Innendämmung sinkt der Wassergehalt im ersten Zentimeter der Dämmschicht erst nach 4 Jahren unter 20 M.-% (nicht dargestellt). Bei 140 mm Innendämmung überschreitet der erste Zentimeter der Dämmschicht den Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-% über 25 Jahre (siehe Abb. 14 unten).

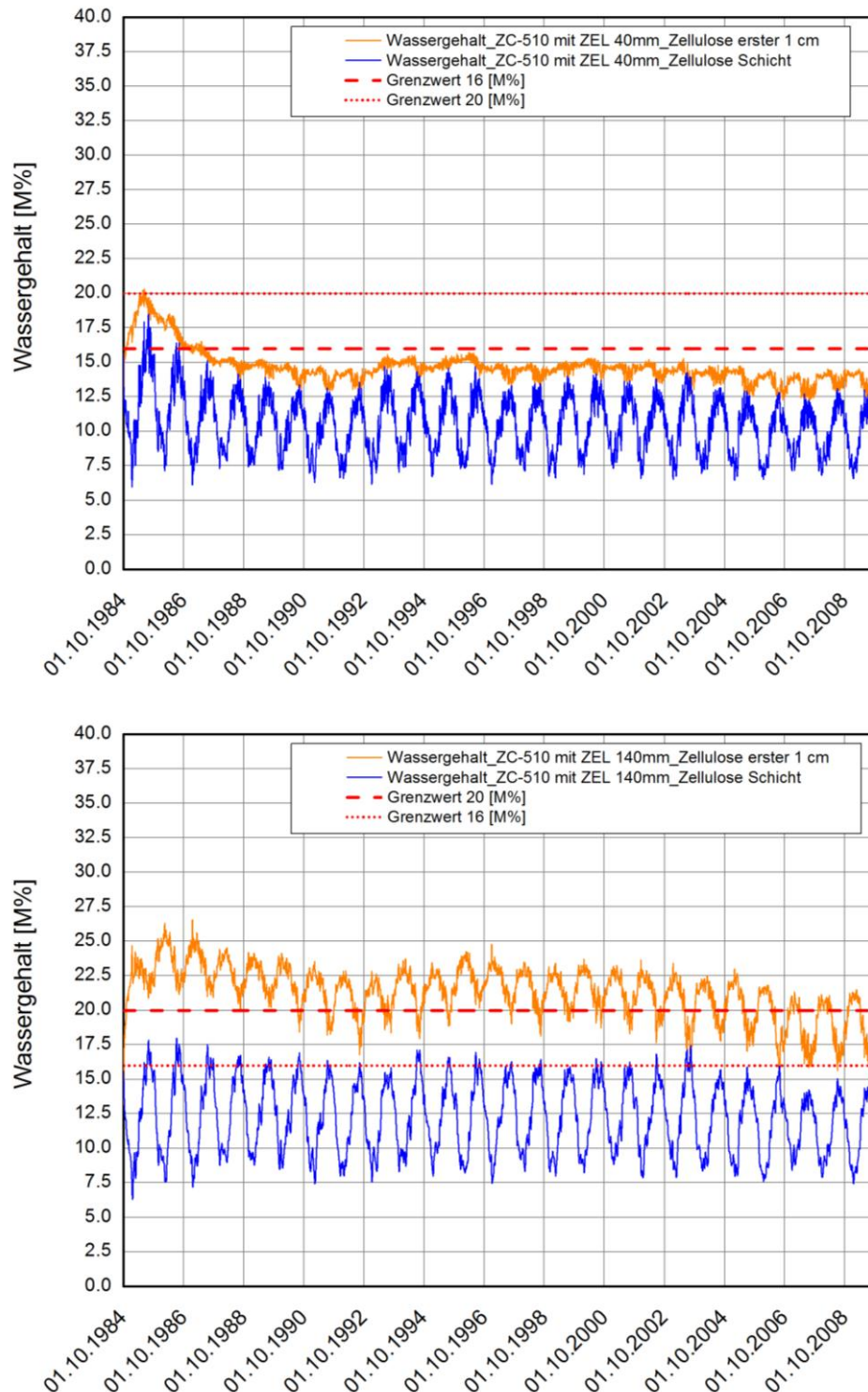


Abb. 14: Wassergehalt der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

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

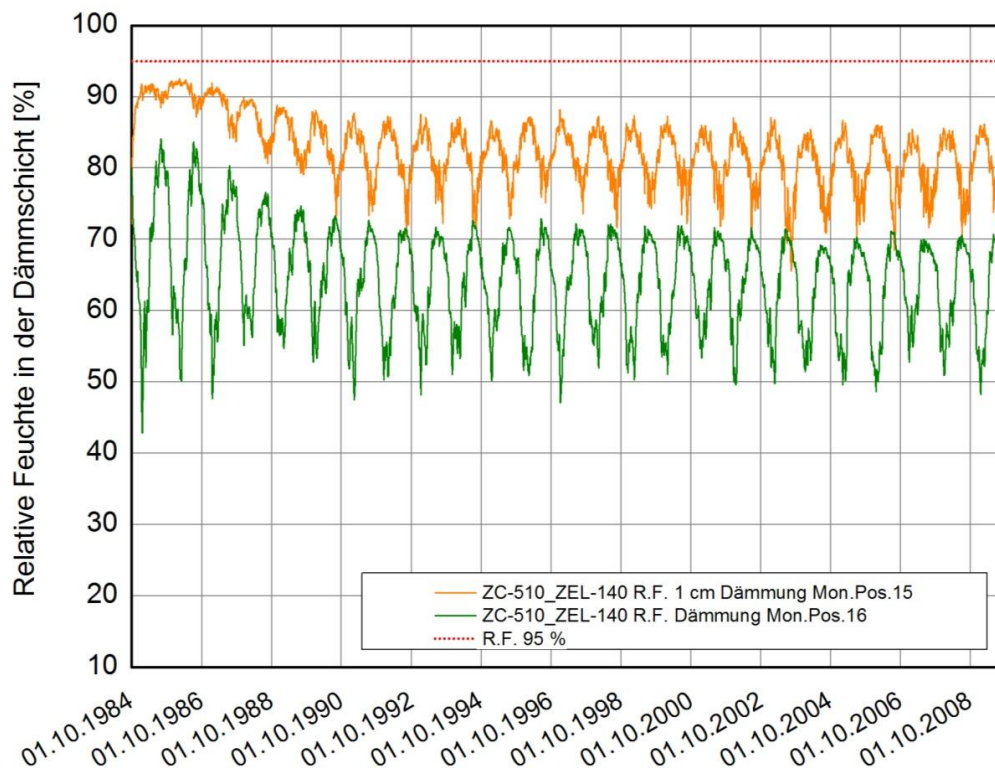
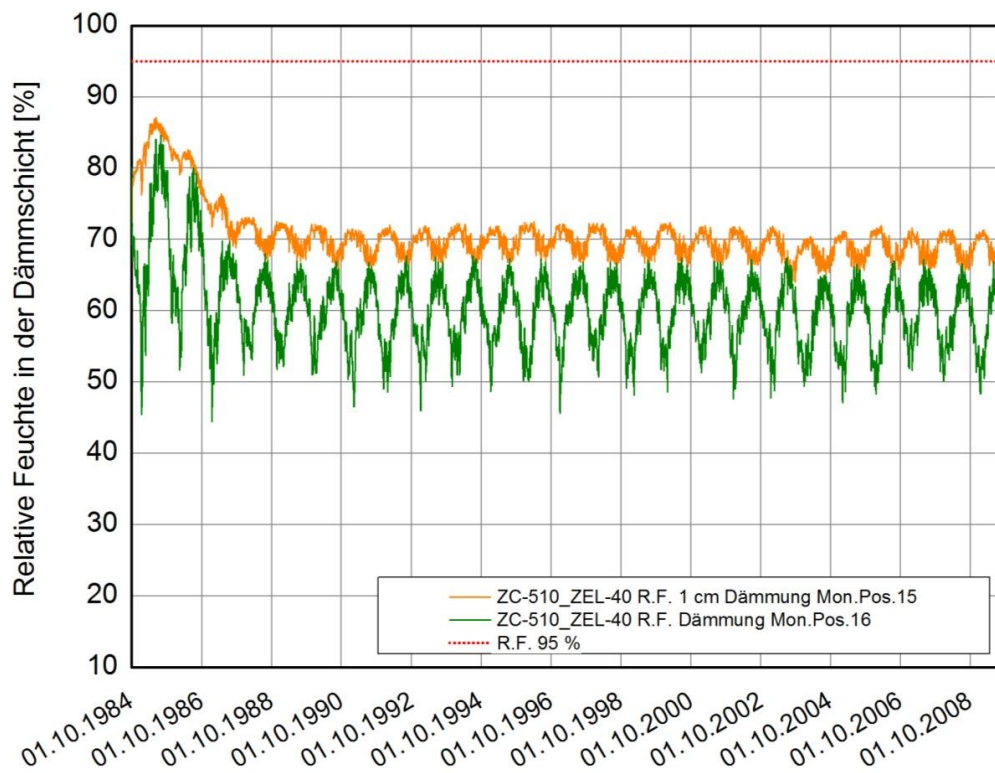


Abb. 15: Relative Feuchte in der Dämmschicht der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aus-senputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung reduziert sich das Wachstum innerhalb von 4 Jahren unter 80 % (siehe Abb. 16 oben). Bei 140 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte über 25 Jahre über 80 % (siehe Abb. 16 unten). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante ZC 510 mm Backstein mit Zelloosedämmung 40 mm und ergibt in den ersten 2 Jahren ein Schimmelwachstum von über 200 mm/Jahr. Danach folgen 9.5 Jahre mit 50 mm/Jahr bis 200 mm/Jahr. Schlussendlich reduziert sich das Wachstum auf unter 50 mm/Jahr.

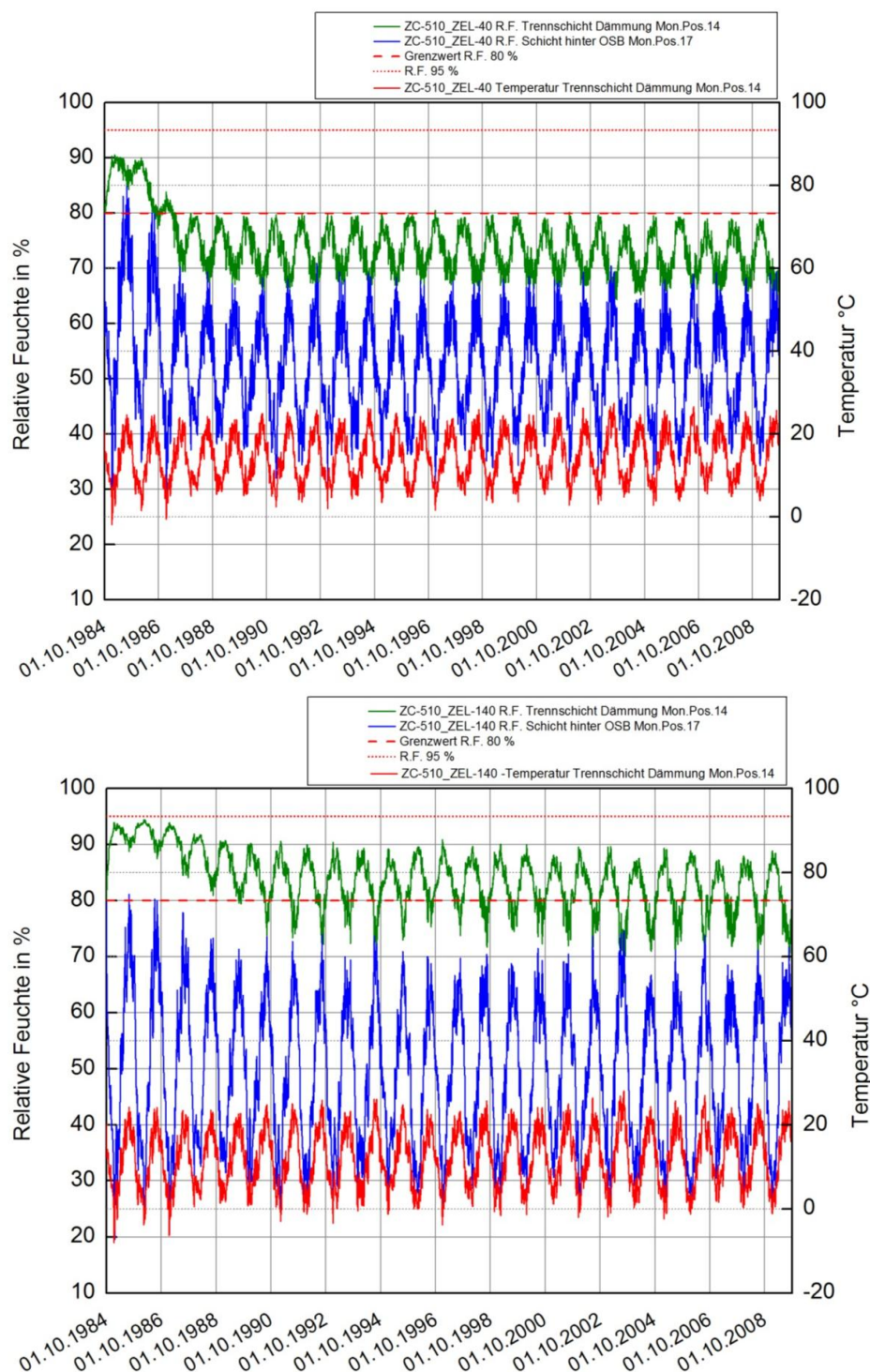
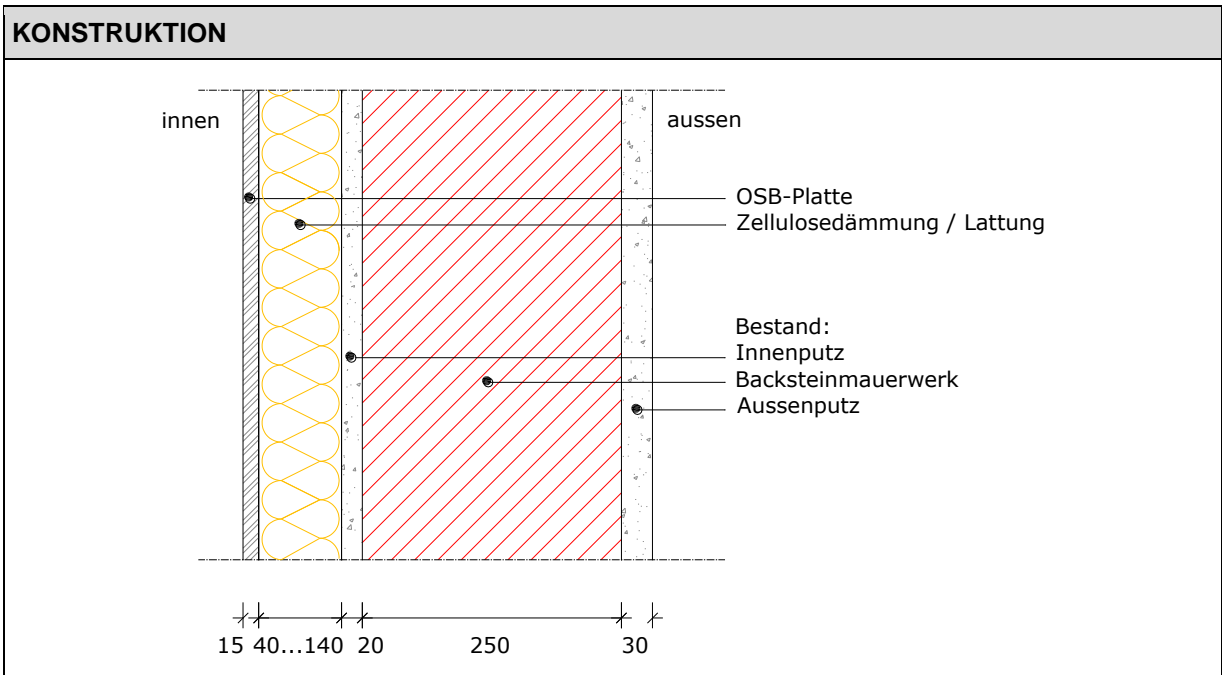


Abb. 16: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.3 IDS Zellulose mit OSB mit historischem Backstein HWZ - 250 mm



MATERIALKENNDATEN					
Baustoff	ρ in kg/m ³	c_p J/kgK	λ in W/mK	μ [-]	Porosität in %
OSB	615	1500	0.13	175	90
Zellulose	50	2150	0.037	1.5	95
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					
		Bestand	40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.45	1.68	2.63	3.15	3.62	3.99
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	1.62	0.59	0.38	0.32	0.28	0.25
Bemerkung: Kennwerte inkl. Holzlattung der Unterkonstruktion in der Wärmedämmebene berechnet							

3.3.1 Zusammenfassung

Das Frostkriterium im Backstein, die relative Feuchte an der inneren Oberfläche sowie die relative Feuchte 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 der Wassergehalt in der Dämmschicht den Grenzwert von 20 M.-%. Auch die relative Feuchte an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung überschreitet die 80 % - Grenze bzw. eine genauere Auswertung mit WUFI-Bio ergibt ein Schimmelpilzwachstum. Die beiden nachfolgenden Tabellen zeigen die Beurteilung der Versagenskriterien für die beiden Konstruktionen.

VERSAGENSKRITERIEN						
(Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)						
Kenngrosse	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 %	✗	✗	✗	✗	✗
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.

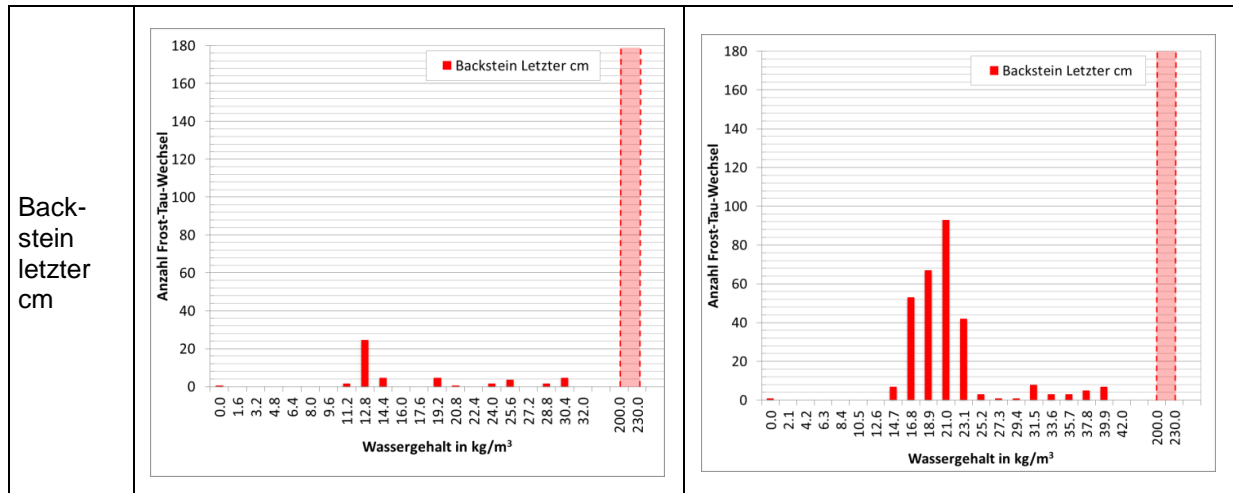
a) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

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.

	Backstein HWZ 250 mm	
Schicht	40 mm Innendämmung	140 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 Zelloosedämmung mit einer Dicke von 40 mm.

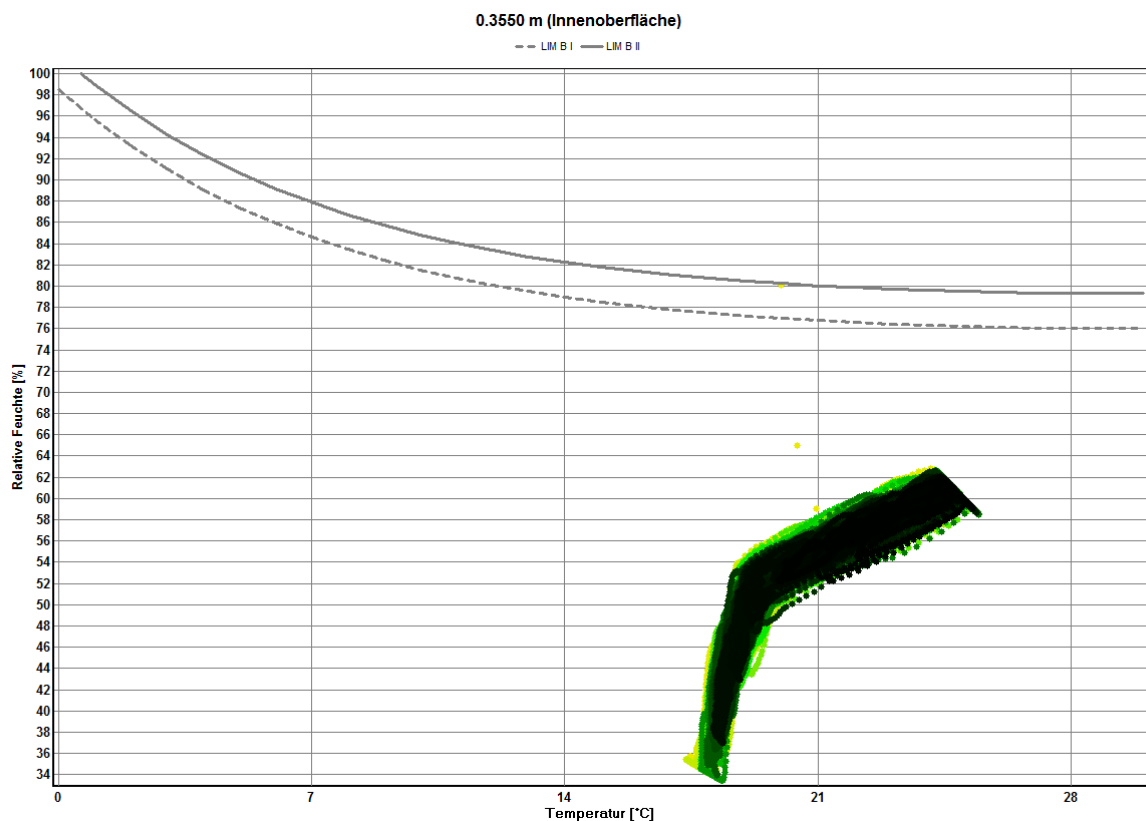


Abb. 17: Isoplethenmodell der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 mm (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

c) Wassergehalt in Bauteilschicht

Bei 40 mm Innendämmung überschreitet der erste Zentimeter der Dämmschicht den Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-% in den ersten 2 Jahren (siehe Abb. 18 oben). Bei 140 mm Innendämmung überschreitet der erste Zentimeter der Dämmschicht den Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-% über 25 Jahre (siehe Abb. 18 unten). Bei Dicken ab 80 mm Innendämmung überschreitet der erste Zentimeter den Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-% über 20 Jahre (nicht abgebildet). Der Wassergehalt der OSB-Platte überschreitet nicht den Grenzwert von 16 M.-% (siehe grüne Linie Abb. 18).

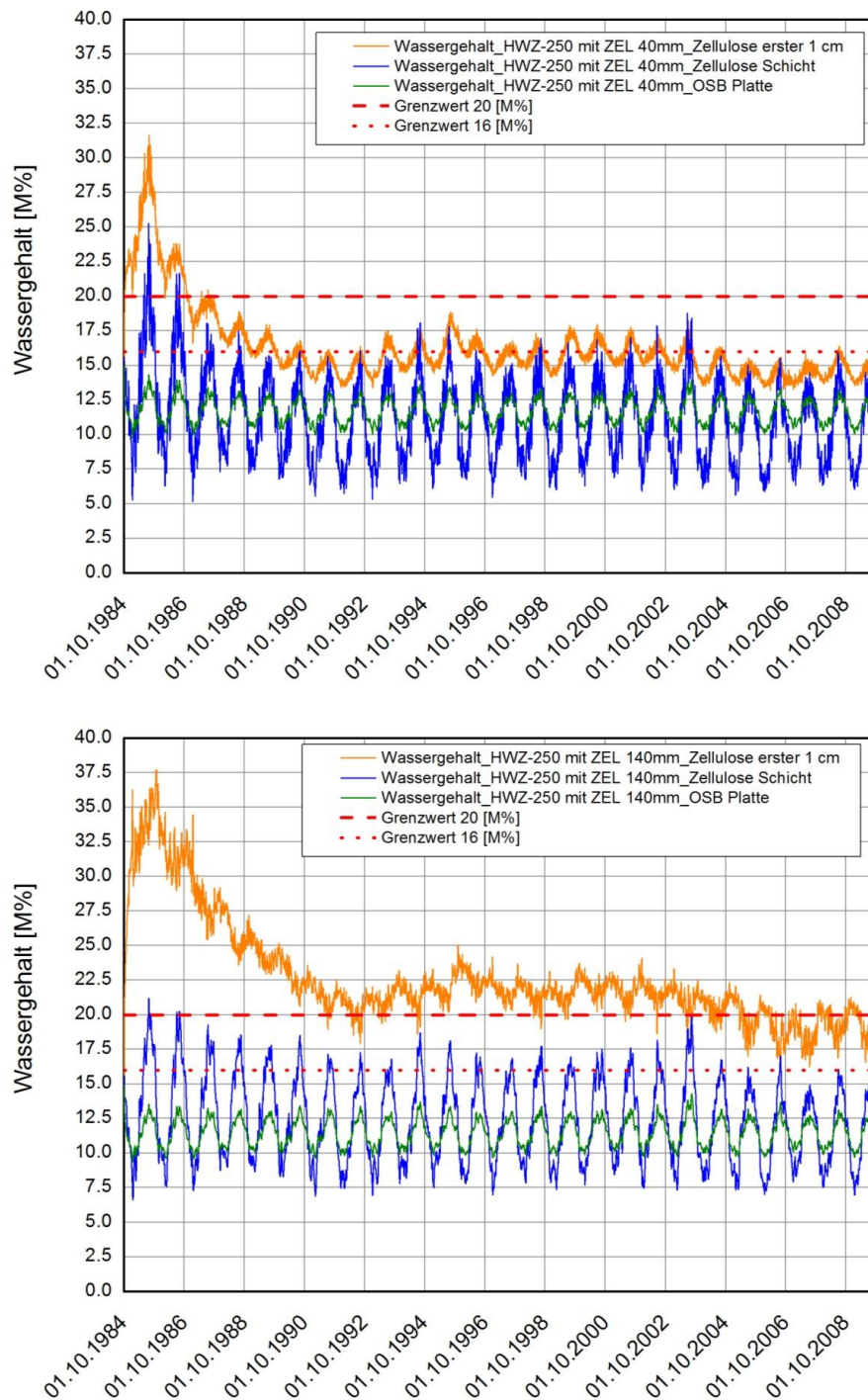


Abb. 18: Wassergehalt der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

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

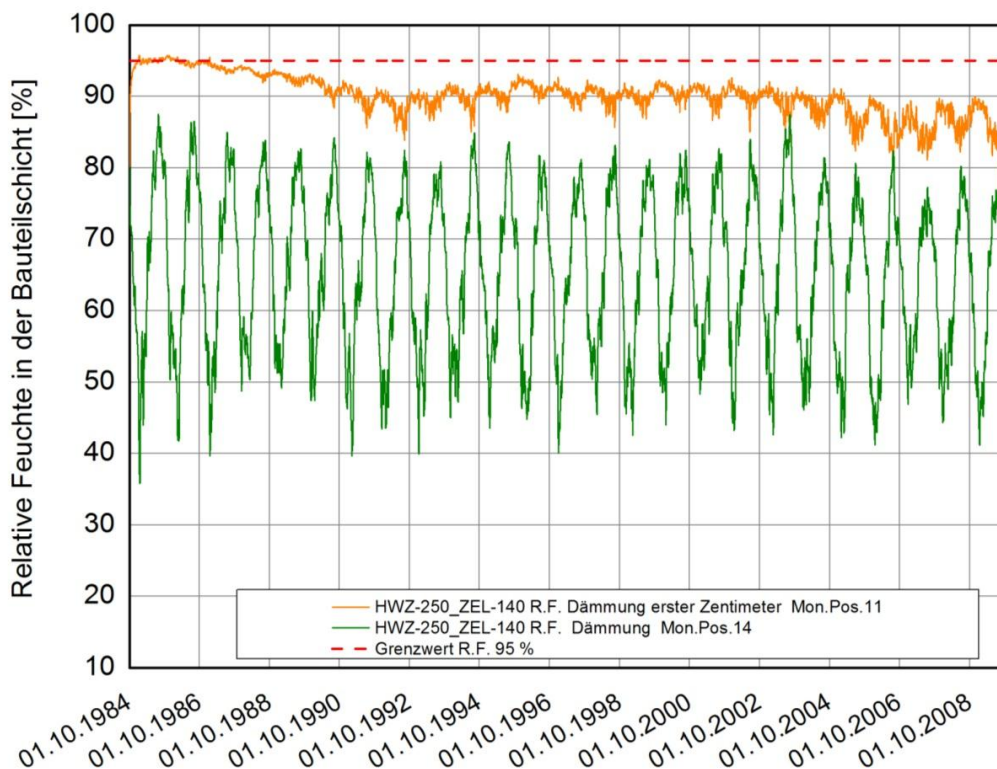
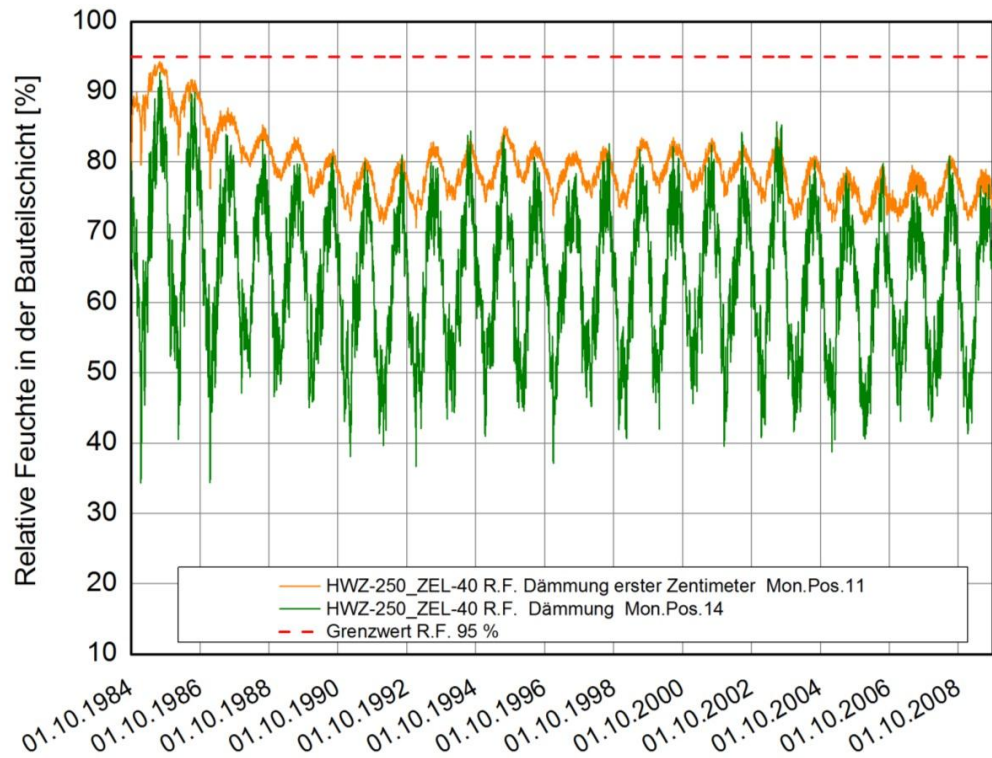


Abb. 19: Relative Feuchte in der Dämmschicht der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei allen Dicken Innendämmung schwankt die relative Feuchte über 25 Jahre über 80 % (siehe Abb. 20).

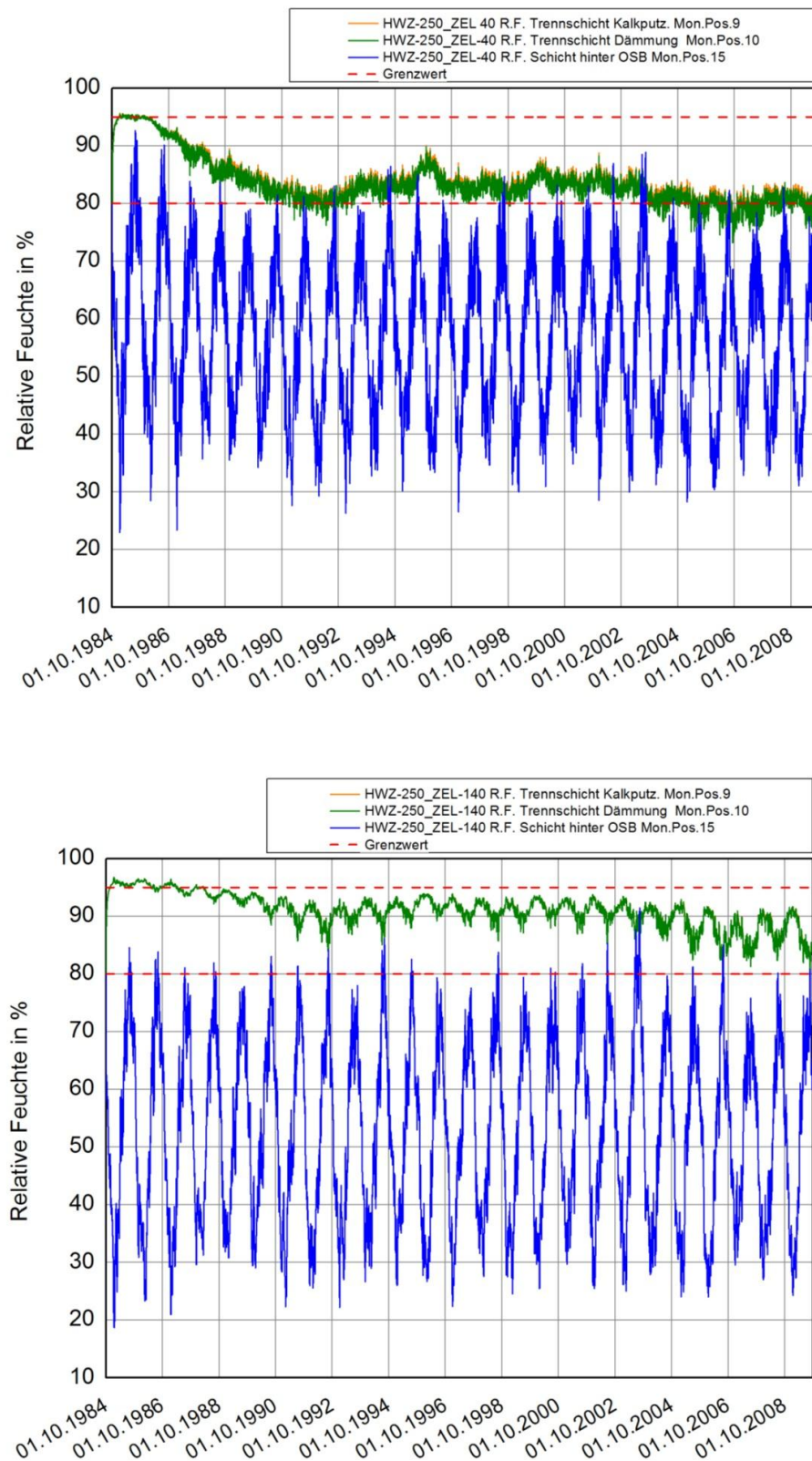


Abb. 20: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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 3.6 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 Bauteilschicht

Bei 40 mm Innendämmung überschreitet der erste Zentimeter der Dämmschicht den Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-% in den ersten 2 Jahren (siehe Abb. 21 oben). Ab 80 mm überschreitet der erste Zentimeter der Dämmschicht den Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-% in den ersten 4 Jahren. In Abb. 21 (unten) sind 140 mm Innendämmung dargestellt.

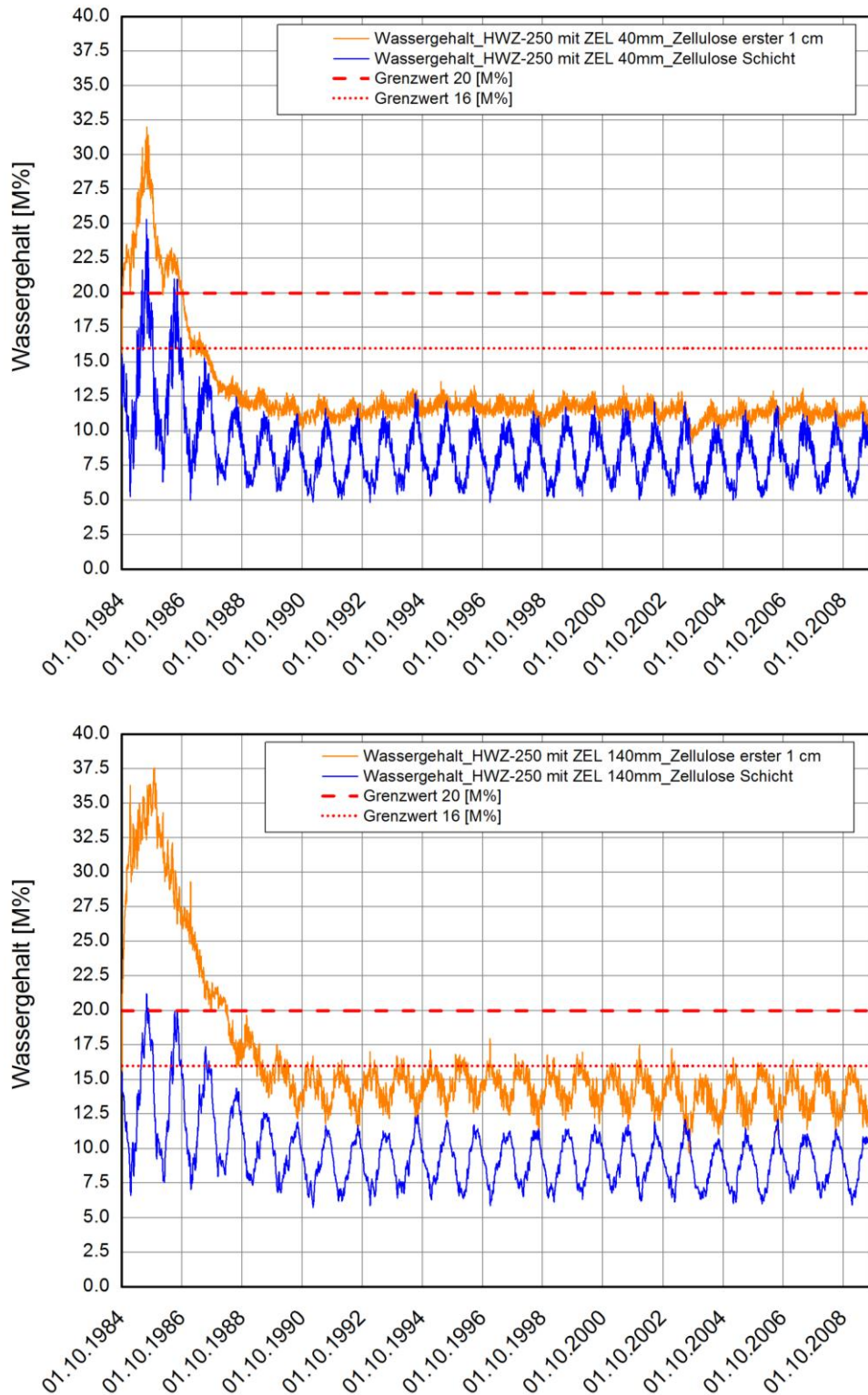


Abb. 21: Wassergehalt der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

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

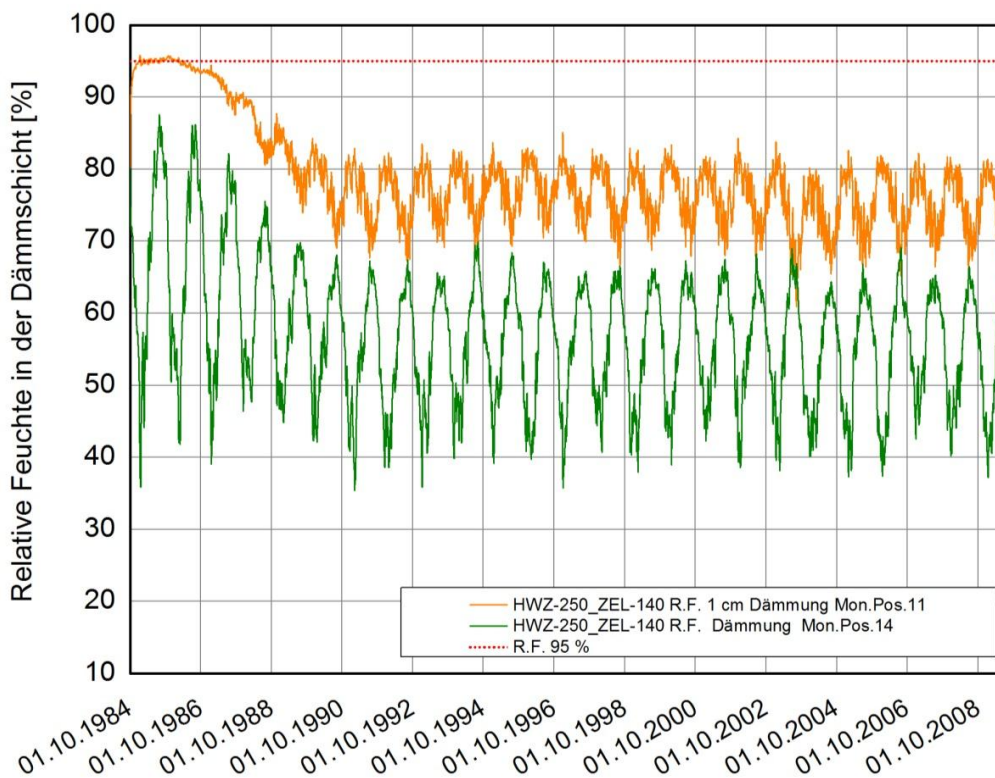
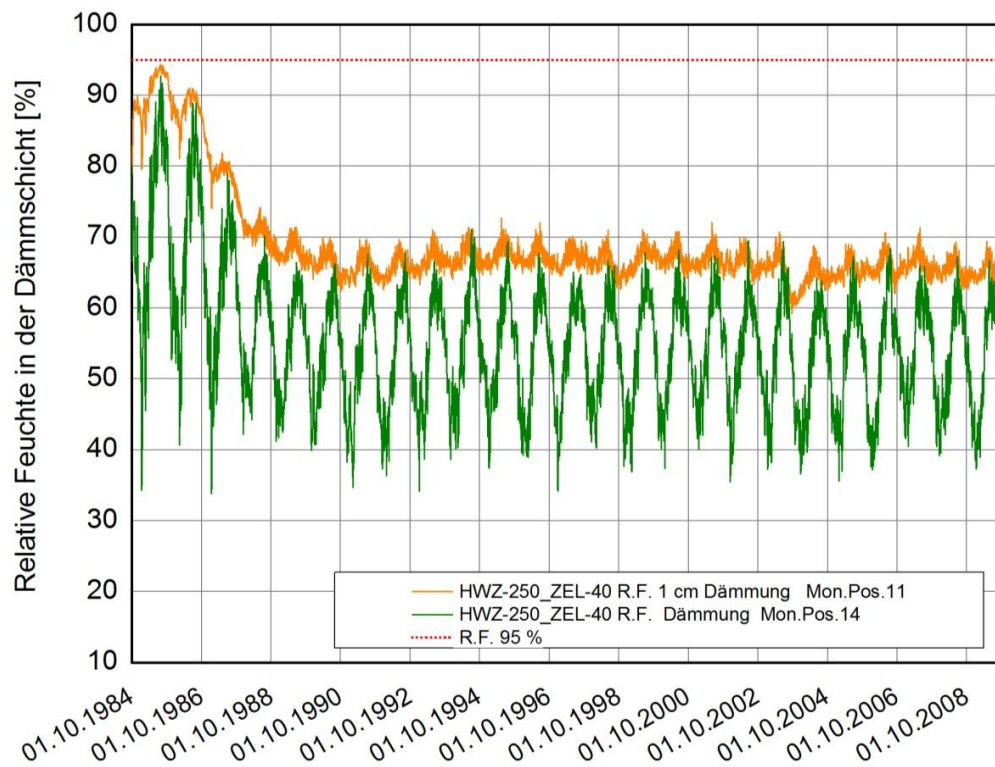


Abb. 22: Relative Feuchte in der Dämmschicht der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung reduziert sich die relative Feuchte nach 4 Jahren unter 80 % (siehe Abb. 23 oben). Bei 140 mm schwankt die relative Feuchte nach 5 Jahren um 80 - 85 % im Winter und zwischen 65 – 80 % im Sommer (siehe Abb. 23 unten). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante HWZ 250 mm Backstein mit Zelloosedämmung 40 mm ergibt nach 9 Jahren ein Schimmelwachstum von 50 mm/Jahr bis 200 mm/Jahr. Vorher beträgt das Wachstum über 200 mm/Jahr.

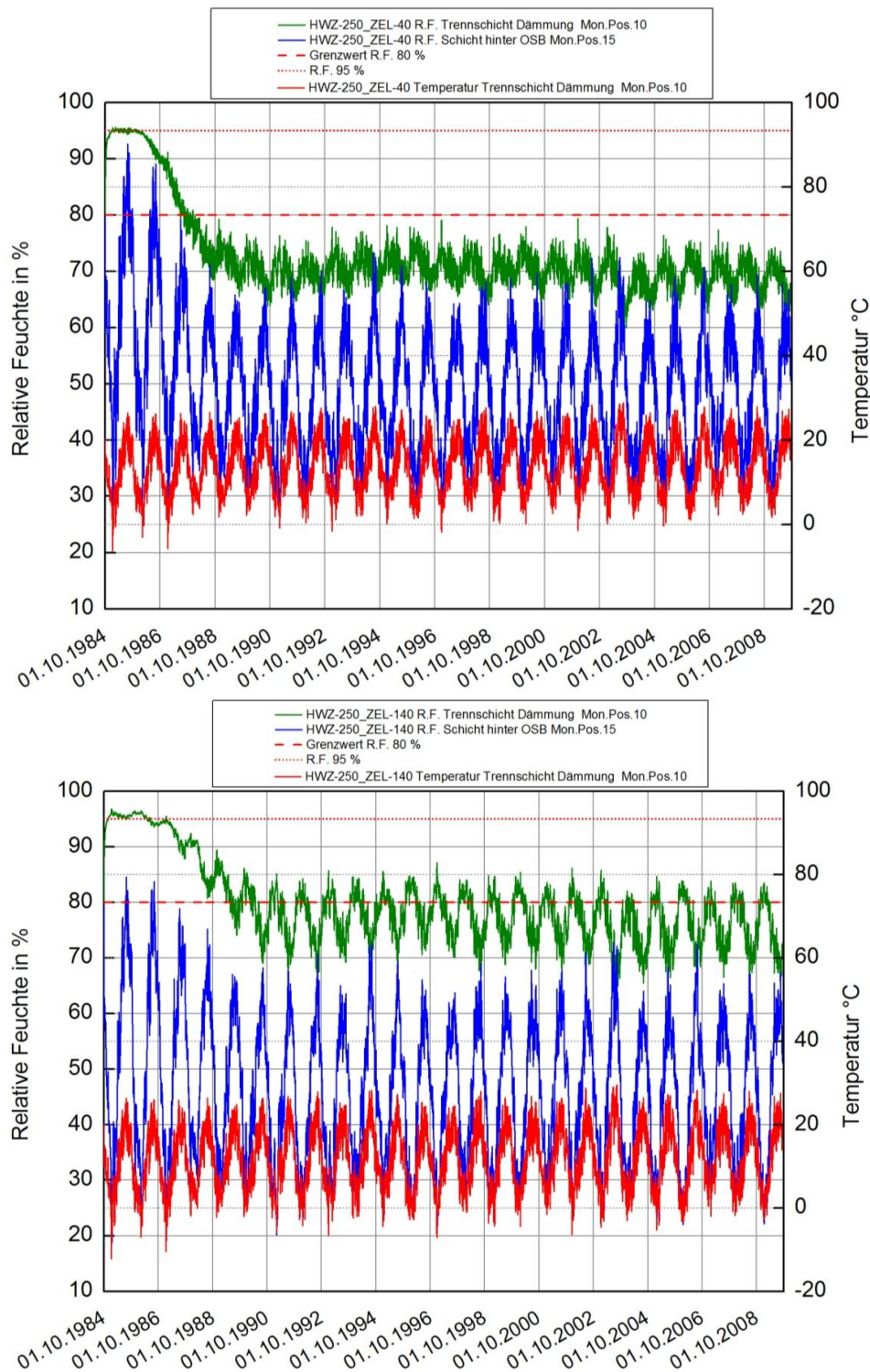
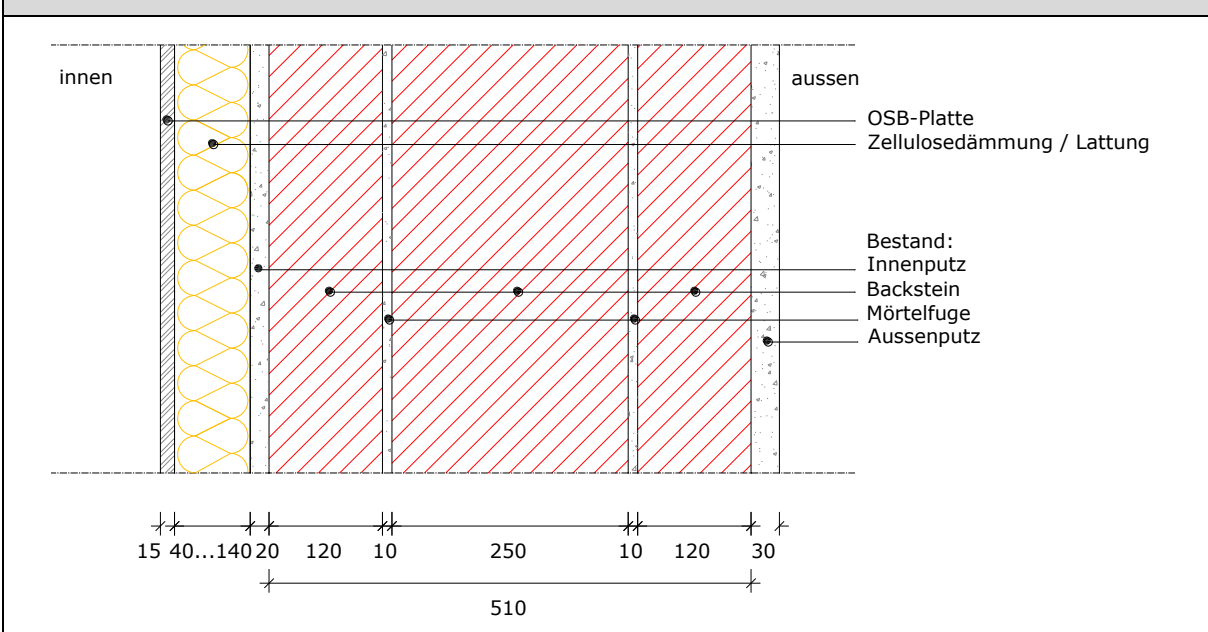


Abb. 23: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.4 IDS Zellulose mit OSB 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 %
OSB	615	1500	0.13	175	90
Zellulose	50	2150	0.037	1.5	95
Kalkputz (Bestand)	1600	850	0.70	7.0	30
Backstein HWZ	1560	850	0.60	14.93	38
Kalkzementmörtel	1910	850	0.80	45.89	25
Kalkzementputz (Bestand)	1900	850	0.80	19 / 12*	24

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

WÄRMESCHUTZ

Kenngrösse	Einheit	Dicke Innendämmung					
		Bestand	40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.85	2.12	3.07	3.60	4.07	4.45
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	0.98	0.47	0.33	0.28	0.25	0.22

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

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 der Wassergehalt in der Dämmschicht den Grenzwert von 20 M.-% sowie die relative Feuchte in der Dämmschicht den Grenzwert von 95 %. Auch die relative Feuchte an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung überschreitet die 80 % - Grenze bzw. eine genauere Auswertung mit WUFI-BIO ergibt ein Schimmelpilzwachstum. Die beiden nachfolgenden Tabellen zeigen die Beurteilung der Versagenskriterien für die beiden Konstruktionen.

VERSAGENSKRITERIEN						
(Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)						
Kenngrosse	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 %	✗	✗	✗	✗	✗
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.

	Backstein HWZ 510 mm	
Schicht	40 mm Innendämmung	140 mm Innendämmung
Backstein 1. cm		
Backstein 1		

Fortsetzung Tabelle 6

	Backstein HWZ 510 mm	
Schicht	40 mm Innendämmung	140 mm Innendämmung
Backstein 2	<p>Bar chart showing the number of frost-thaw cycles (Anzahl Frost-Tau-Wechsel) versus water content (Wassergehalt in kg/m³) for Backstein 2 with 40 mm insulation. The y-axis ranges from 0 to 70, and the x-axis ranges from 0.0 to 230.0. The legend indicates Backstein 2. The data shows a peak at 13.5 kg/m³ with approximately 30 cycles, and a very high value at 200.0 kg/m³ (approx. 70 cycles).</p>	<p>Bar chart showing the number of frost-thaw cycles (Anzahl Frost-Tau-Wechsel) versus water content (Wassergehalt in kg/m³) for Backstein 2 with 140 mm insulation. The y-axis ranges from 0 to 70, and the x-axis ranges from 0.0 to 230.0. The legend indicates Backstein 2. The data shows a peak at 27.0 kg/m³ with approximately 45 cycles, and a very high value at 200.0 kg/m³ (approx. 70 cycles).</p>
Backstein 3	<p>Bar chart showing the number of frost-thaw cycles (Anzahl Frost-Tau-Wechsel) versus water content (Wassergehalt in kg/m³) for Backstein 3 with 40 mm insulation. The y-axis ranges from 0 to 25, and the x-axis ranges from 0.0 to 230.0. The legend indicates Backstein 3. The data shows a peak at 51.3 kg/m³ with approximately 3 cycles, and a very high value at 200.0 kg/m³ (approx. 25 cycles).</p>	<p>Bar chart showing the number of frost-thaw cycles (Anzahl Frost-Tau-Wechsel) versus water content (Wassergehalt in kg/m³) for Backstein 3 with 140 mm insulation. The y-axis ranges from 0 to 25, and the x-axis ranges from 0.0 to 230.0. The legend indicates Backstein 3. The data shows a peak at 20.1 kg/m³ with approximately 14 cycles, and a very high value at 200.0 kg/m³ (approx. 25 cycles).</p>
Backstein letzter cm	<p>Bar chart showing the number of frost-thaw cycles (Anzahl Frost-Tau-Wechsel) versus water content (Wassergehalt in kg/m³) for Backstein letzter cm with 40 mm insulation. The y-axis ranges from 0 to 180, and the x-axis ranges from 0.0 to 230.0. The legend indicates Backstein letzter cm. The data shows a peak at 20.4 kg/m³ with approximately 15 cycles, and a very high value at 200.0 kg/m³ (approx. 180 cycles).</p>	<p>Bar chart showing the number of frost-thaw cycles (Anzahl Frost-Tau-Wechsel) versus water content (Wassergehalt in kg/m³) for Backstein letzter cm with 140 mm insulation. The y-axis ranges from 0 to 180, and the x-axis ranges from 0.0 to 230.0. The legend indicates Backstein letzter cm. The data shows a peak at 20.4 kg/m³ with approximately 15 cycles, and a very high value at 200.0 kg/m³ (approx. 180 cycles).</p>

b) Wassergehalt

Bei 40 mm Innendämmung überschreitet der Wassergehalt den Grenzwert von 20 M.-% in den ersten 6 Jahren (siehe Abb. 24 oben). Bei 140 mm Innendämmung überschreitet der erste Zentimeter der Dämmschicht den Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-% über 25 Jahre, der restliche Teil der Dämmung über 10 Jahre. (siehe Abb. 24 unten). Der Wassergehalt der OSB-Platte überschreitet nicht den Grenzwert von 16 M.-% (siehe grüne Linie Abb. 24).

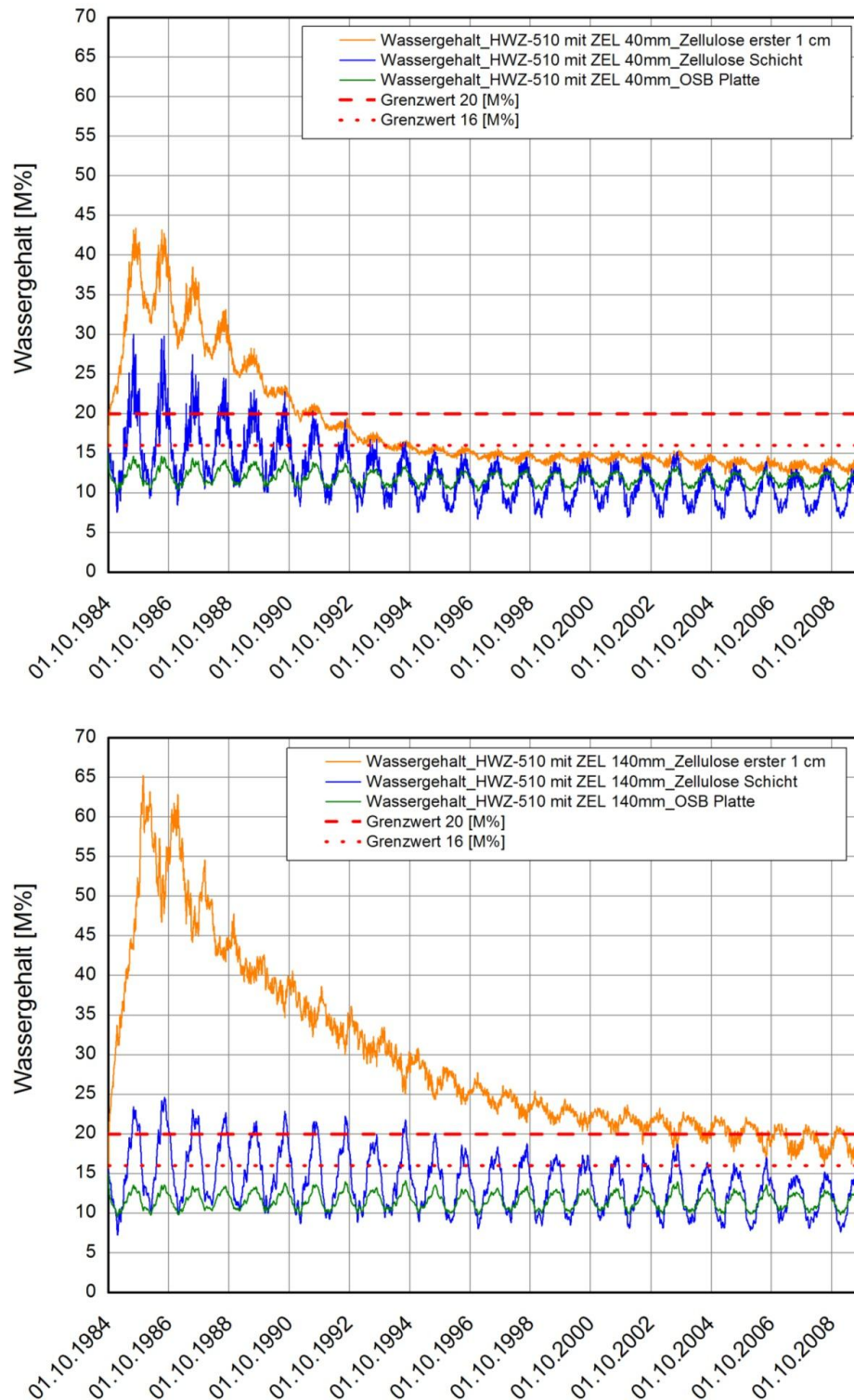


Abb. 24: Wassergehalt der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

c) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in dem ersten Zentimeter der Dämmschicht überschreitet bei 40 mm Innendämmung den Grenzwert von 95 % in den ersten 2 Jahren (siehe Abb. 25 oben), ab 80 mm in den ersten 5 Jahren (nicht abgebildet), bei 140 mm Innendämmung den Grenzwert in den ersten 8 Jahren (siehe Abb. 25 unten).

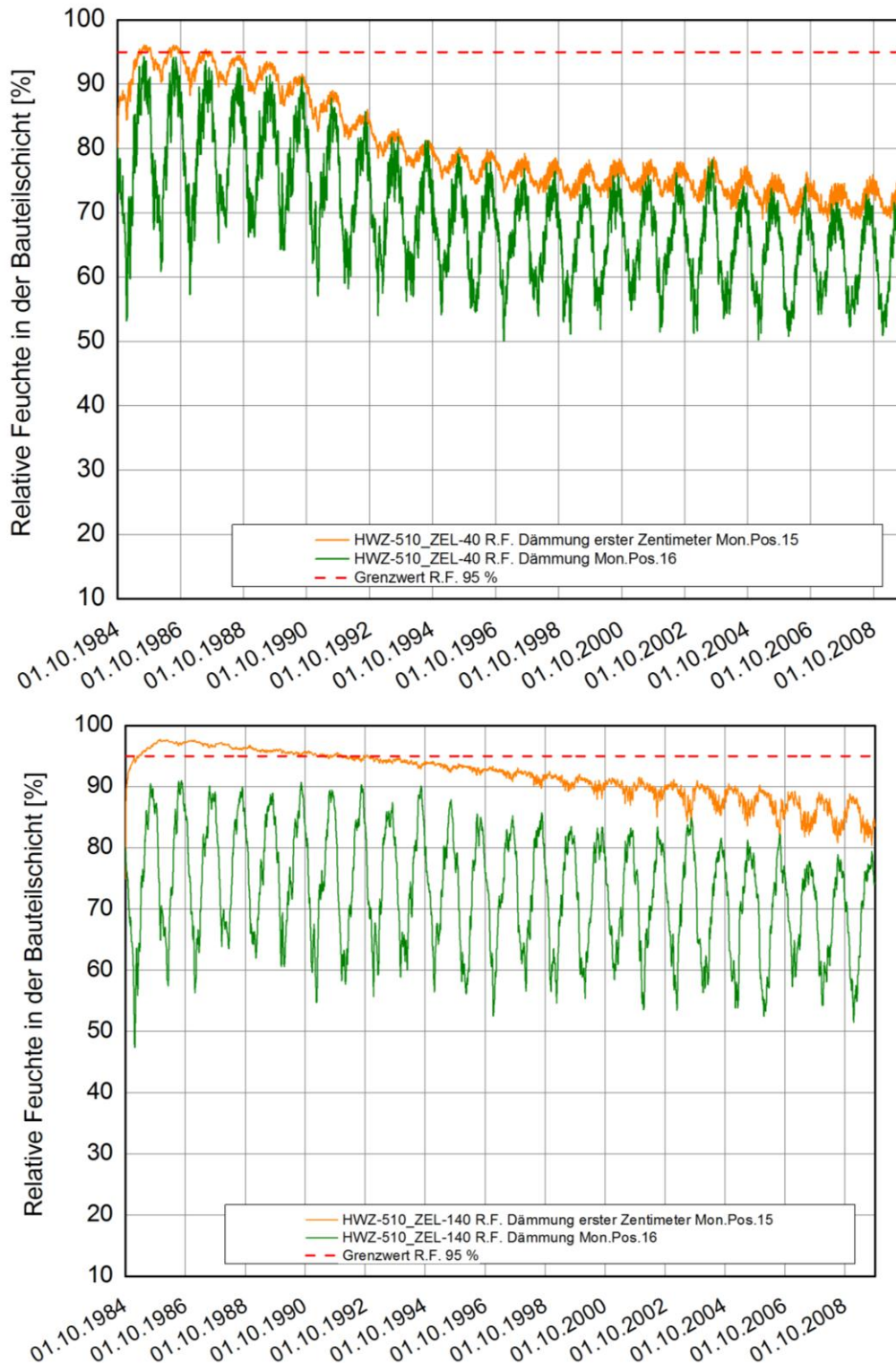


Abb. 25: Relative Feuchte in Dämmschicht der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Außenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei allen Dicken Innendämmung schwankt die relative Feuchte über 25 Jahre über 80 % (siehe Abb. 26).

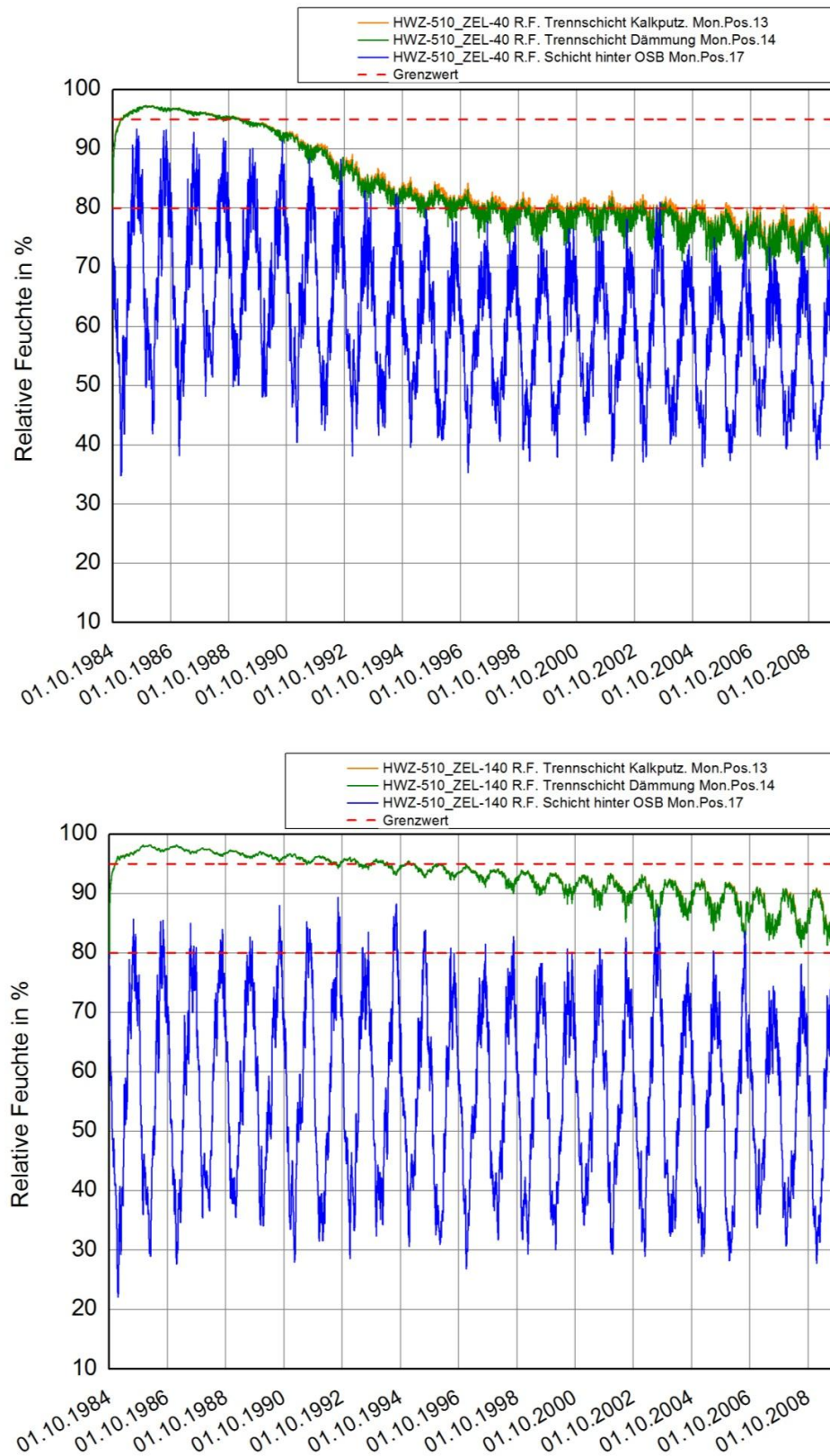


Abb. 26: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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 Zellulosedämmung mit einer Dicke von 40 mm.

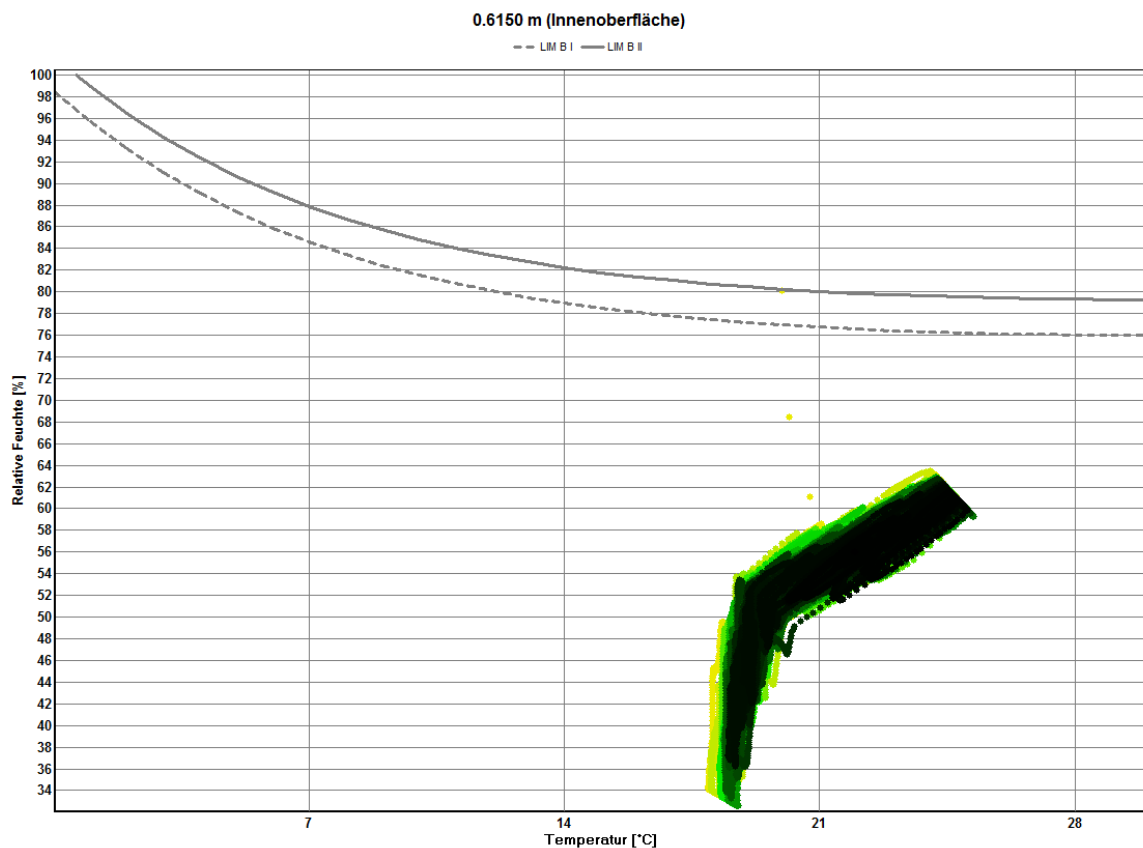


Abb. 27: Isoplethenmodell der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 mm (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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

Bei 40 mm Innendämmung überschreitet der Wassergehalt den Grenzwert von 20 M.-% in den ersten 6 Jahren (siehe Abb. 28 oben). Bei 140 mm Innendämmung überschreitet der Wassergehalt Grenzwert von 20 M.-% in den ersten 10 Jahren (siehe Abb. 28 unten).

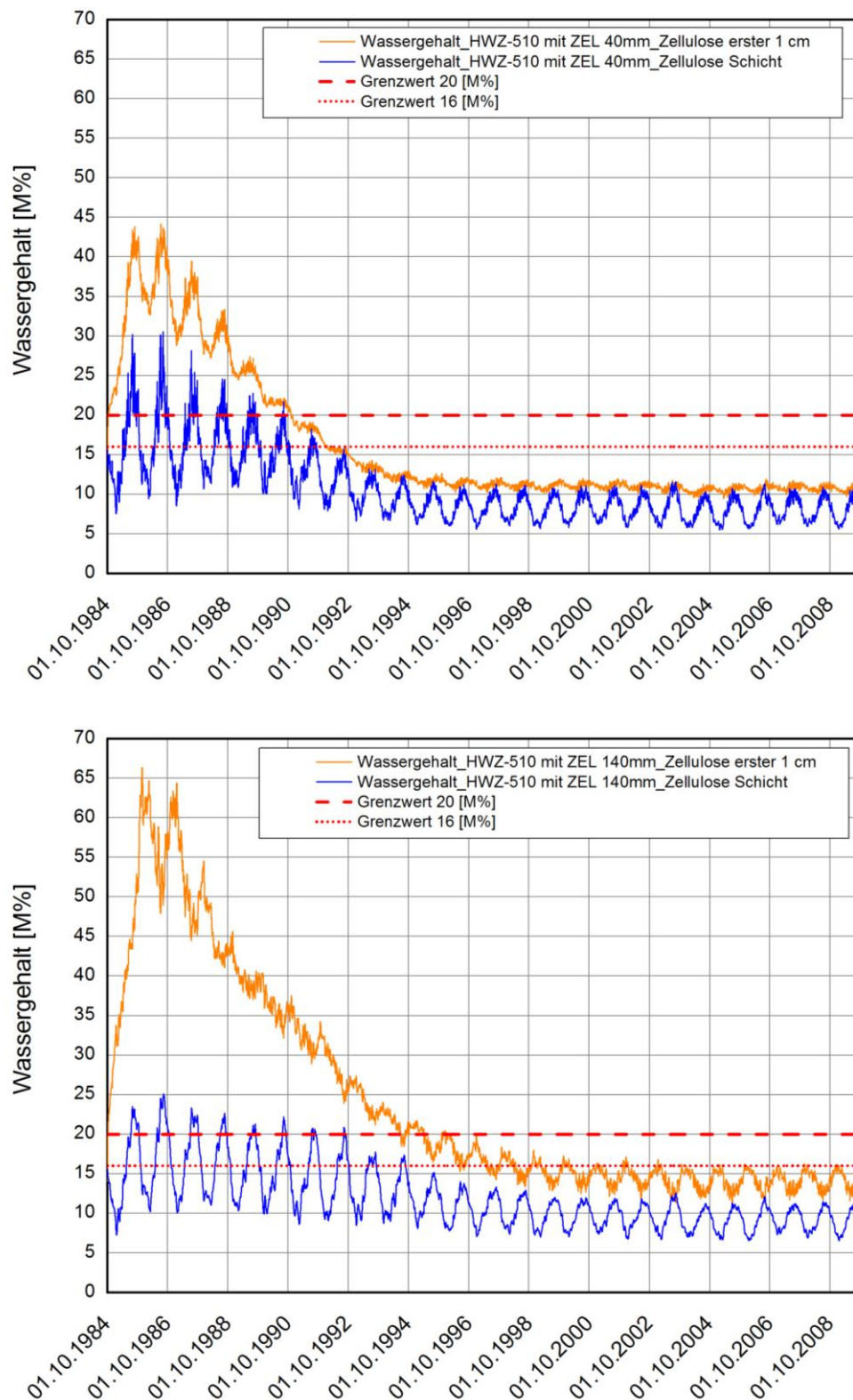


Abb. 28: Wassergehalt der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in dem ersten Zentimeter der Dämmschicht überschreitet bei 40 mm Innendämmung den Grenzwert von 95 % in den ersten 2 Jahren (siehe Abb. 29 oben), ab 80 mm in den ersten 5 Jahren (nicht abgebildet), bei 140 mm Innendämmung den Grenzwert in den ersten 8 Jahren (siehe Abb. 29 unten).

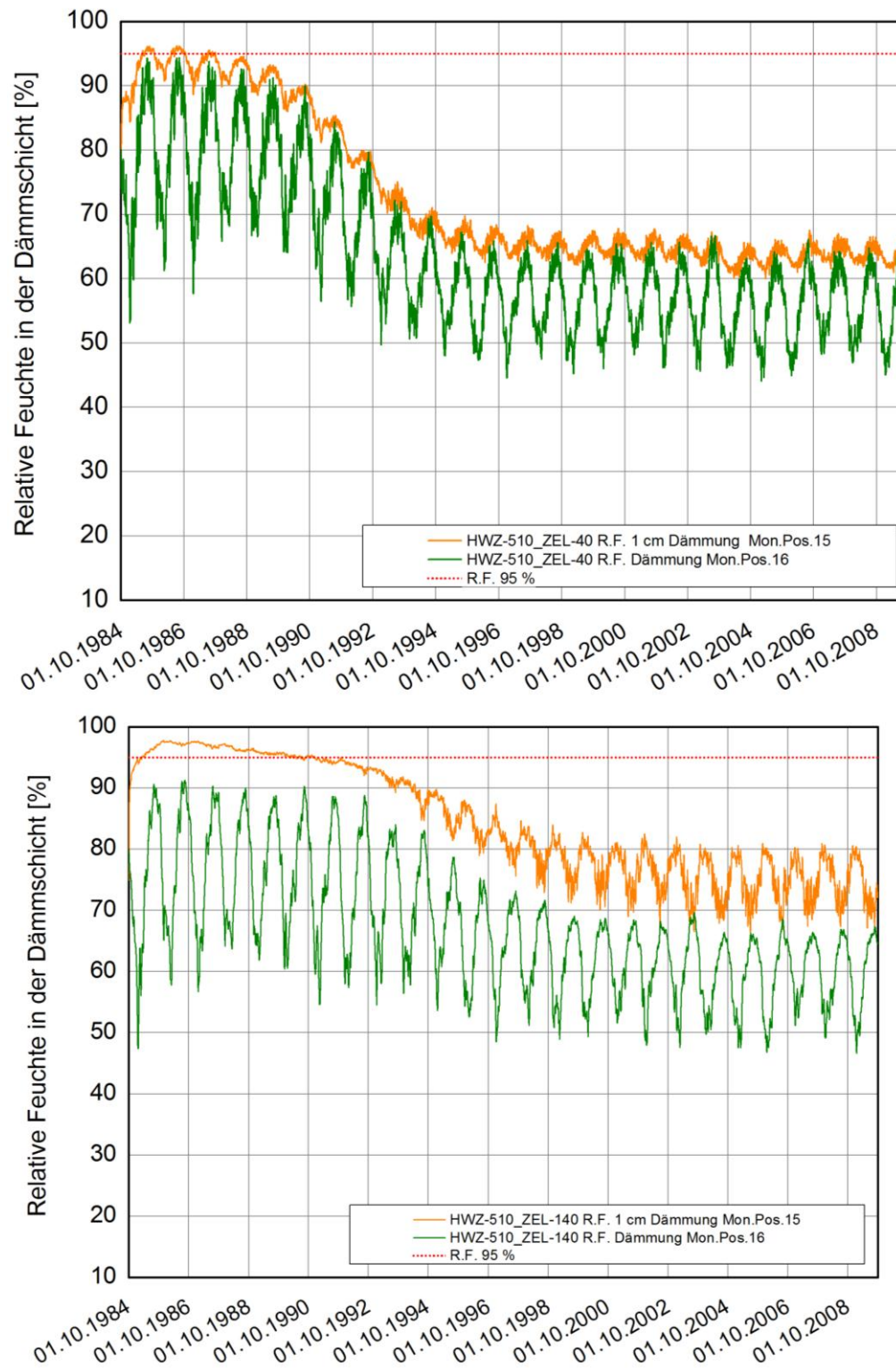


Abb. 29: Relative Feuchte in Dämmschicht der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aus-senputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung ist die relative Feuchte erst nach 8 Jahren unter 80 % (siehe Abb. 30 oben). Bei 140 mm Innendämmung erst nach 14 Jahren und schwankt danach zwischen 60 bis 70 % je nach Winter- bzw. Sommerhalbjahr (siehe Abb. 30 unten). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante HWZ 510 mm Backstein mit Zellulosedämmung 40 mm ergibt ein Schimmelwachstum von über 200 mm/Jahr, was einem Mould-Index von etwa 2 entspricht.

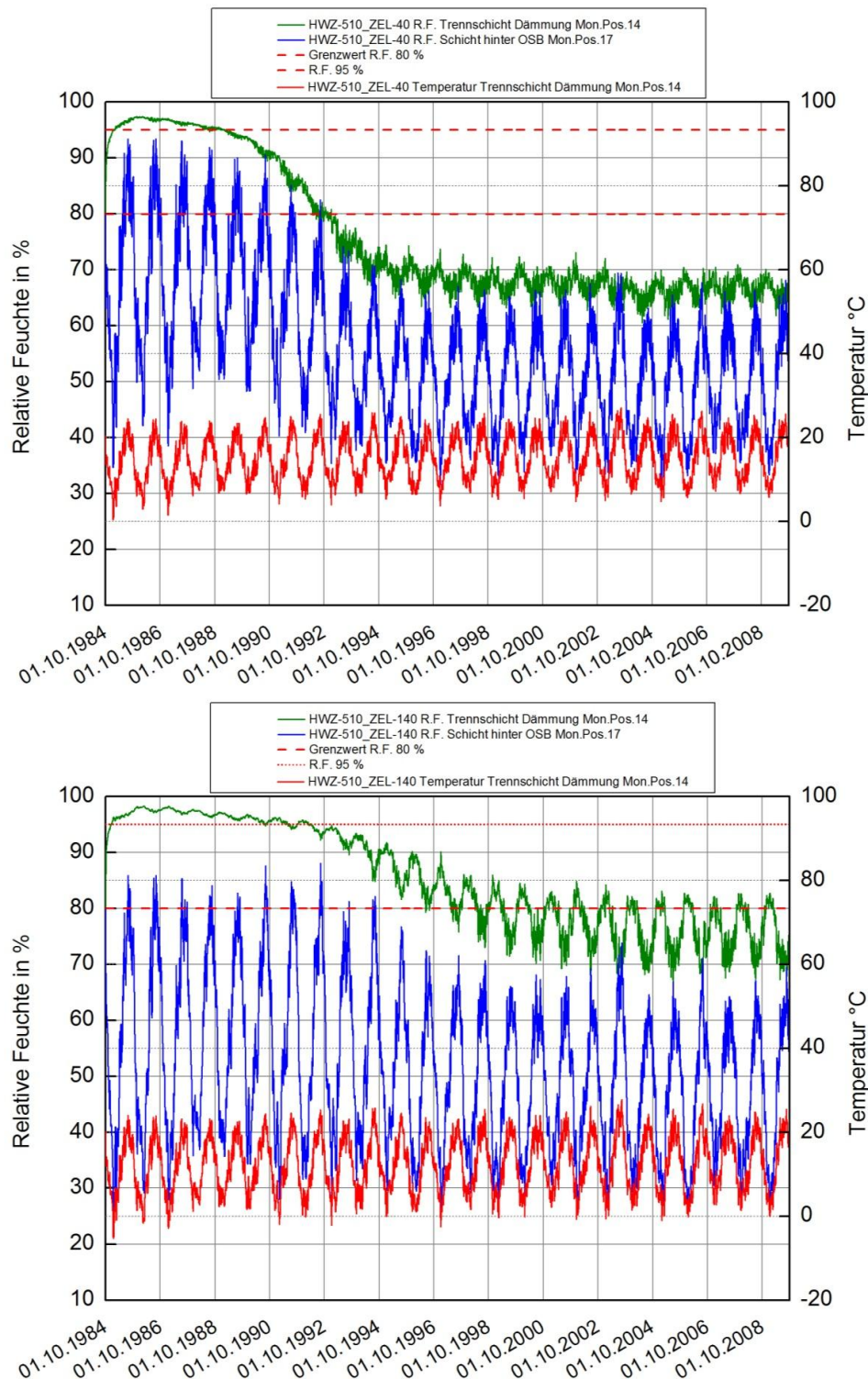
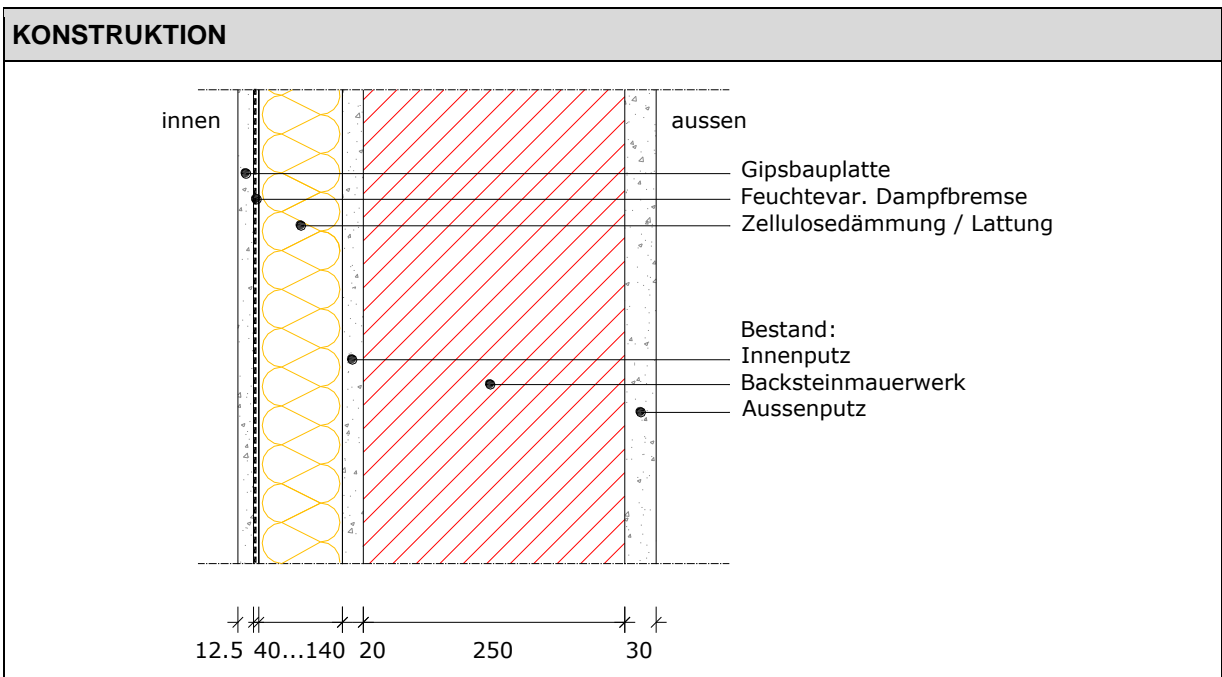


Abb. 30: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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



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 (Intello)	115	2500	2.4	-	-
Zellulose	50	2150	0.037	1.5	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	12.0	24

WÄRMESCHUTZ							
Kenngrösse	Einheit		Dicke Innendämmung				
			Bestand	40 mm	80 mm	100 mm	120 mm 140 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.33	1.48	2.42	2.95	3.42	3.78
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	2.01	0.67	0.41	0.34	0.29	0.26
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 bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ kein Problem dar. Auch der Wassergehalt in der Dämmschicht sowie die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreiten nicht den Grenzwert. Eine Auswertung mit WUFI-BIO ergibt kein Schimmelpilzwachstum an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung. Demnach können bis 140 mm Zellulosedämmung bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ beim Backsteintyp ZC mit 300 mm Mauerwerksdicke eingesetzt werden. 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
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)	✗	✗	✗	✗	✗

3.5.2 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.

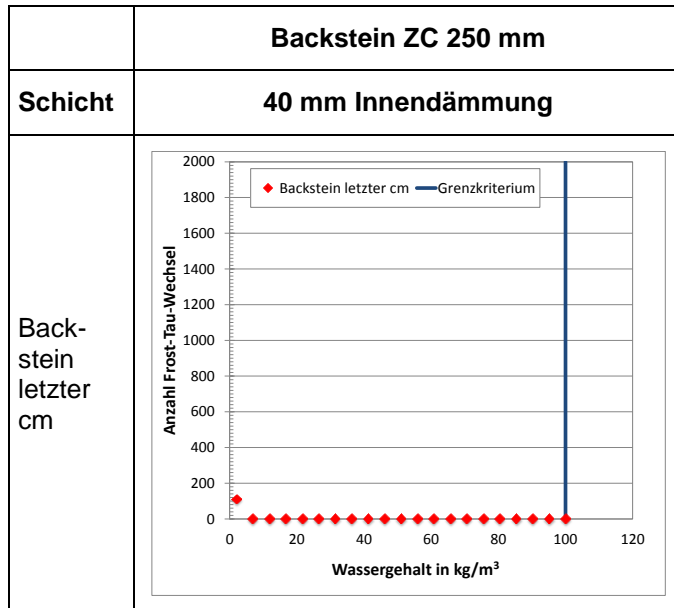
a) Frost-Tau-Wechsel im Backstein

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. Bei allen Dicken der Innendämmung treten keine Frost-Tauwechsel bei Wassergehalten auf, die grösser als der kritische Wassergehalt des Backsteins sind. Es ist nur die minimale Dicke dargestellt.

Tabelle 7: 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
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 Zellulosedämmung mit einer Dicke von 40 mm.

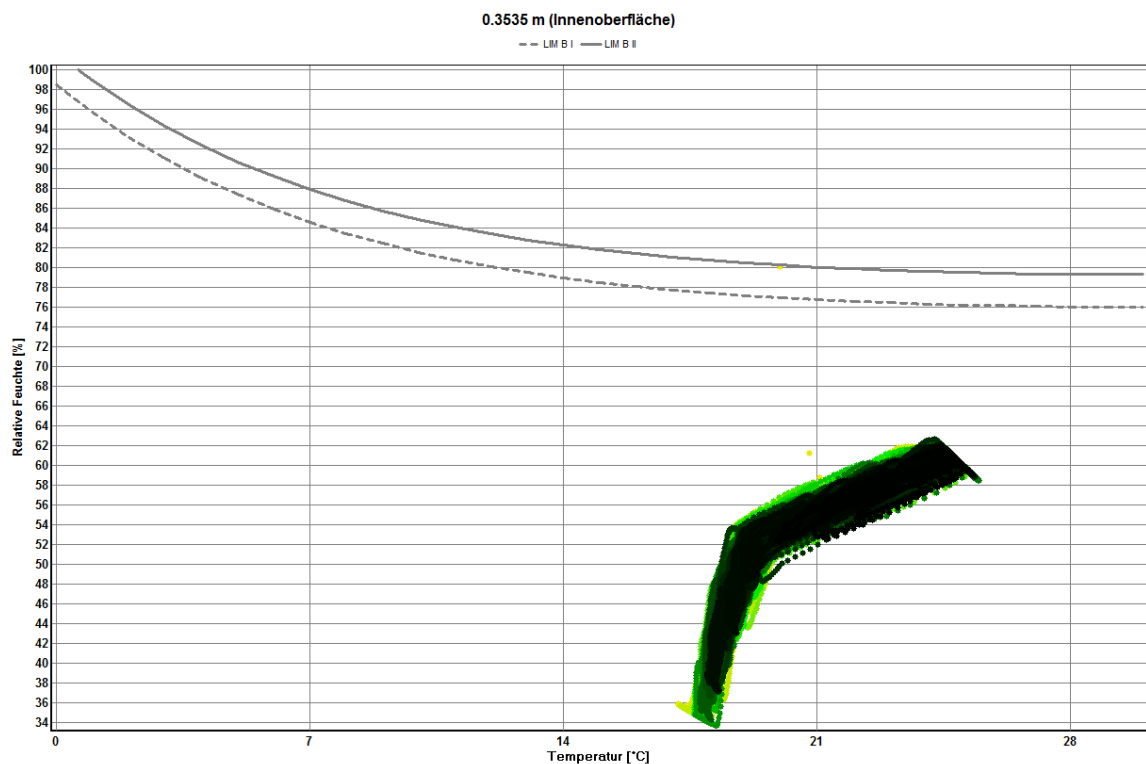


Abb. 31: Isoplethenmodell der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 mm (Wasseraufnahmekoeffizient vom Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

c) Wassergehalt in Bauteilschicht

Bei 40 mm Innendämmung überschreitet der Wassergehalt den Grenzwert von 20 M.-% nicht (siehe Abb. 32 oben). Bei 140 mm Innendämmung überschreitet der erste Zentimeter der Dämmung den Grenzwert von 20 M.-% nur im ersten Jahr (siehe Abb. 32 unten).

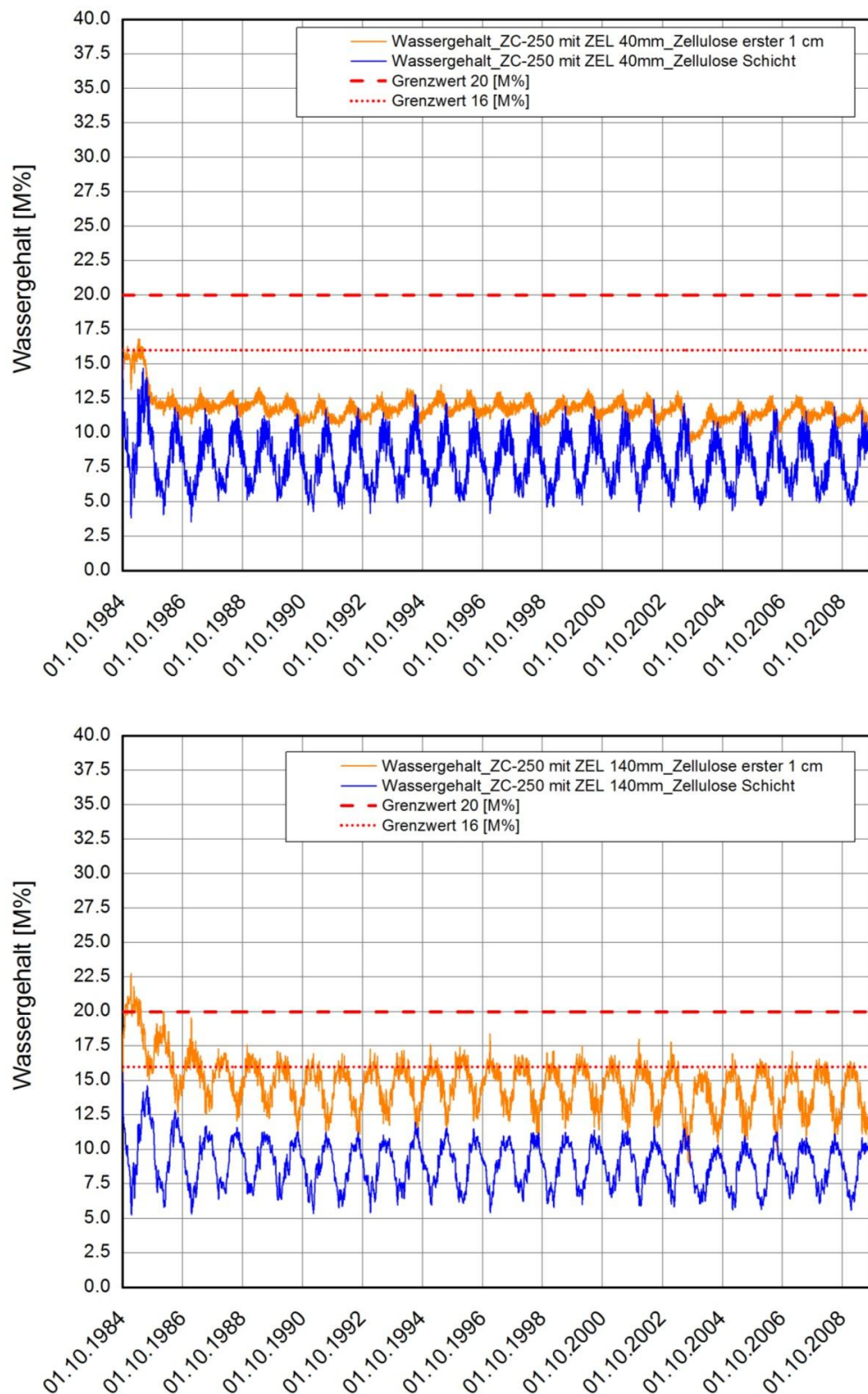


Abb. 32: Wassergehalt der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei allen Dicken nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 33).

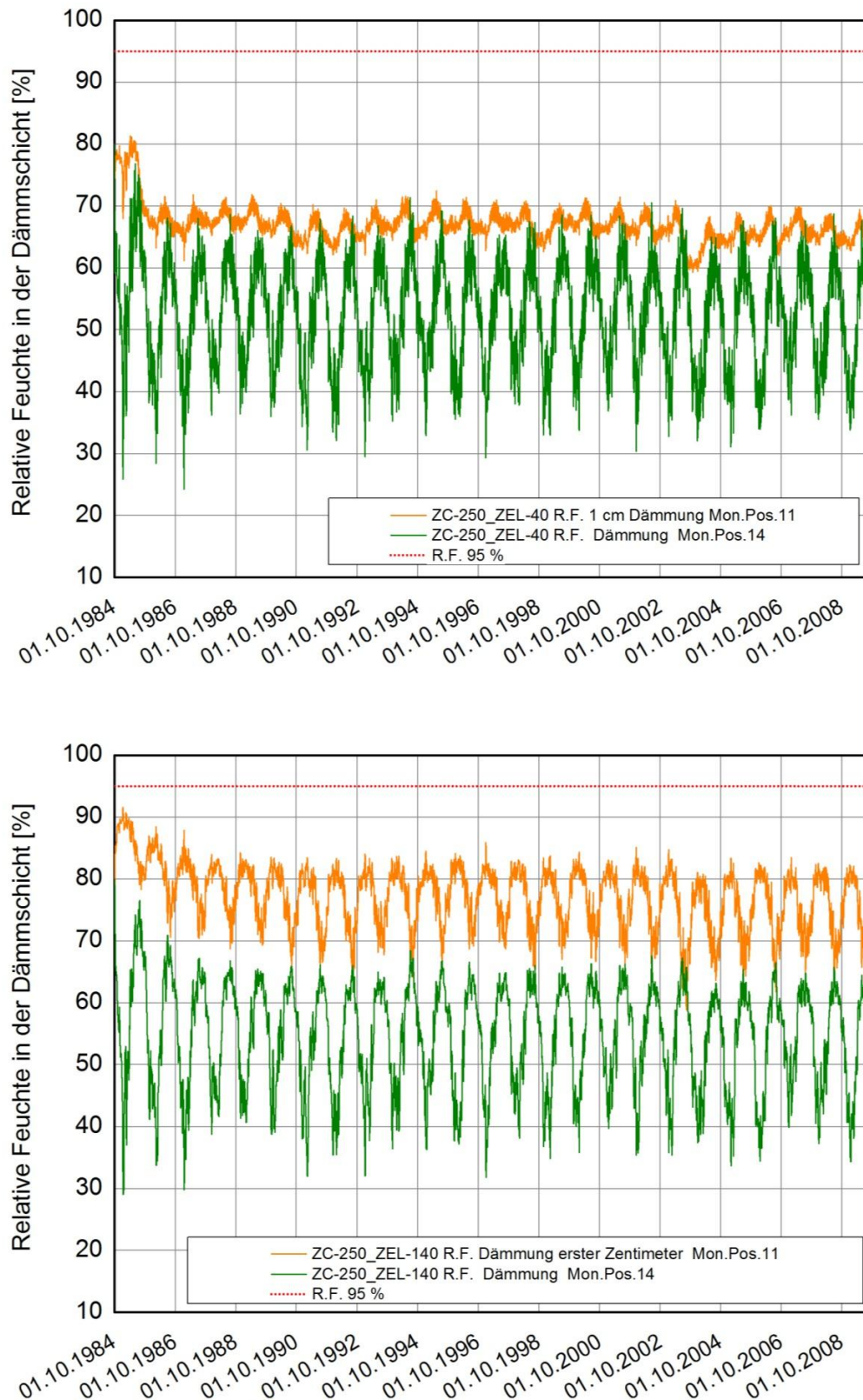


Abb. 33: Relative Feuchte in Dämmschicht der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung reduziert sich die relative Feuchte innerhalb von einem Jahr auf unter 80 % (siehe Abb. 34 oben). Bei 140 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte um 80 % (siehe Abb. 34 unten). Eine Auswertung mit WUFI BIO für die Variante ZC 250 mm Backstein mit Zello-sedämmung 140 mm und ergibt während den ersten 3 Jahren ein Schimmelpilzwachstum von 50 mm/Jahr bis 200 mm/Jahr und reduziert sich dann auf unter 50 mm/Jahr.

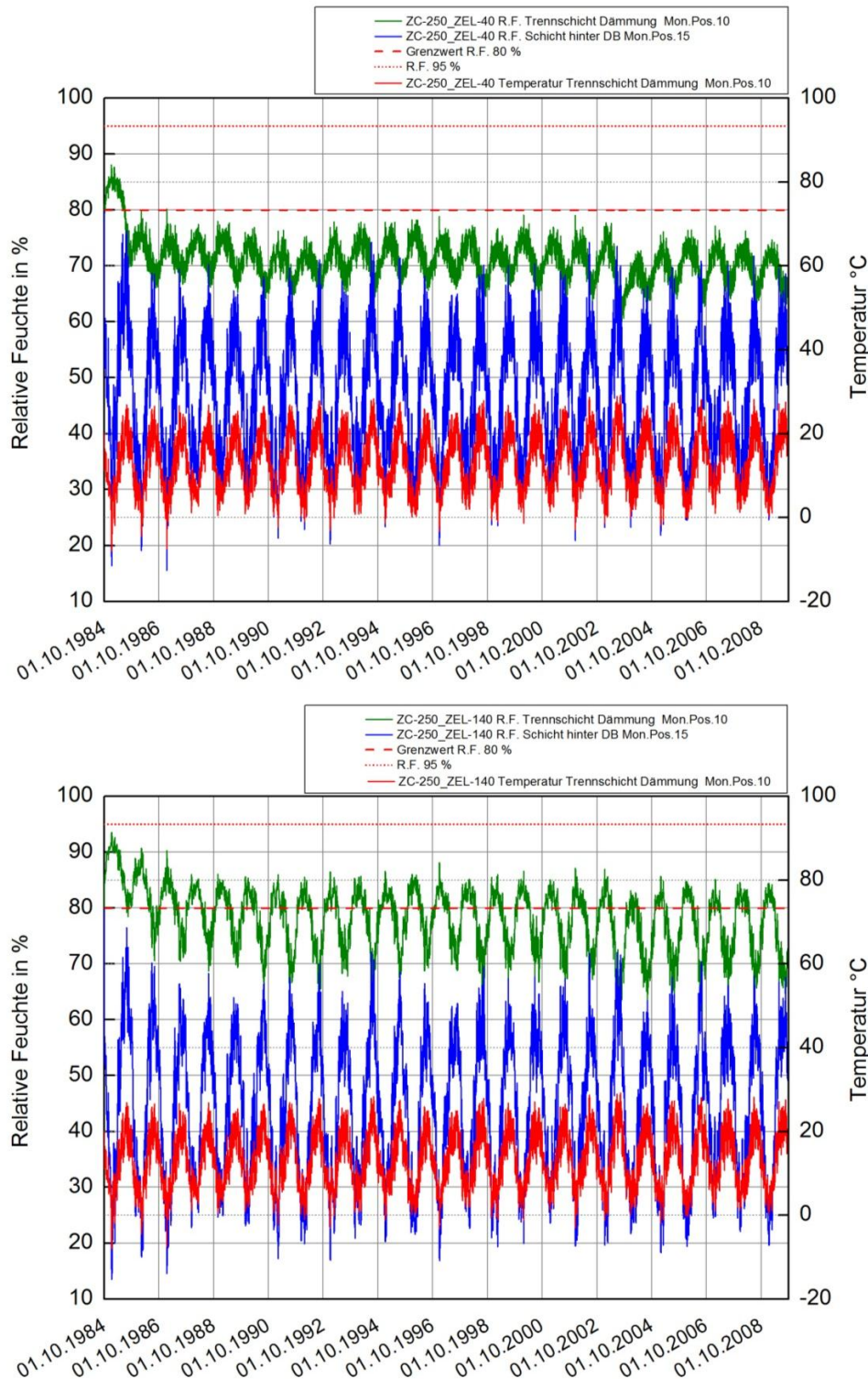
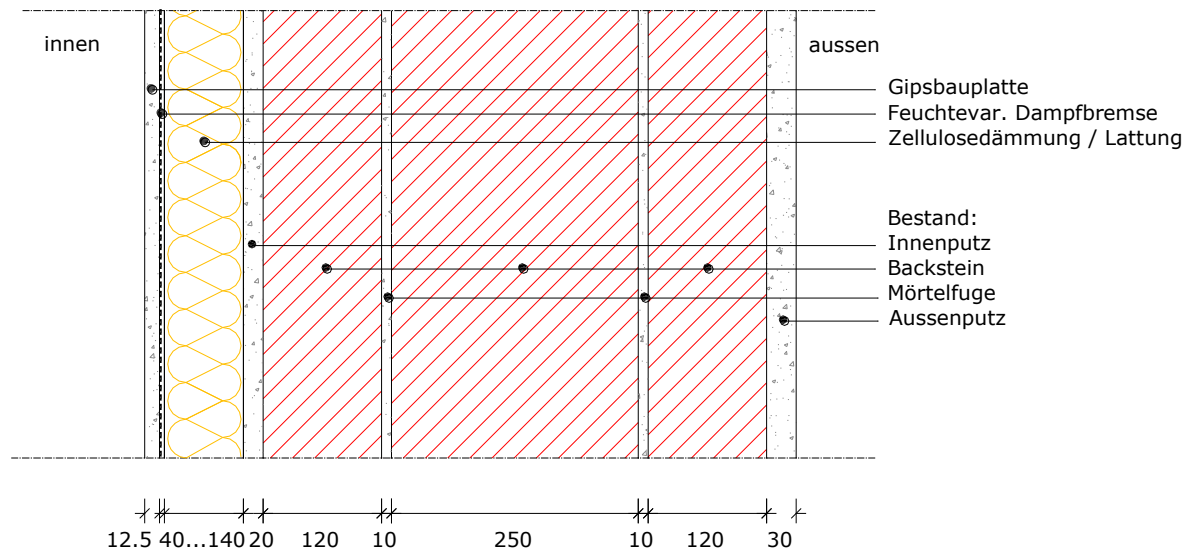


Abb. 34: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.6 IDS Zellulose (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 (Intello)	115	2500	2.4	-	-
Zellulose	50	2150	0.037	1.5	95
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	12.0	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	1.78	2.72	3.25	3.72	4.09
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	1.28	0.56	0.37	0.31	0.27	0.24

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 bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ kein Problem dar. Auch der Wassergehalt in der Dämmschicht sowie die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreiten nicht den Grenzwert. Dagegen überschreitet die relative Feuchte an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung den Grenzwert von 80 % und eine genauere Auswertung mit WUFI-BIO ergibt ein Schimmelpilzwachstum. 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
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)	✗	✗	✗	✗	✓

3.6.2 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

Das Versagenskriterium des Frost-Tau-Wechsels wurde beim Backstein ZC 250 eingehalten (vgl. Abschnitt 3.5.2) und wird in diesem Abschnitt nicht überprüft.

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 Zellosedämmung mit einer Dicke von 40 mm.

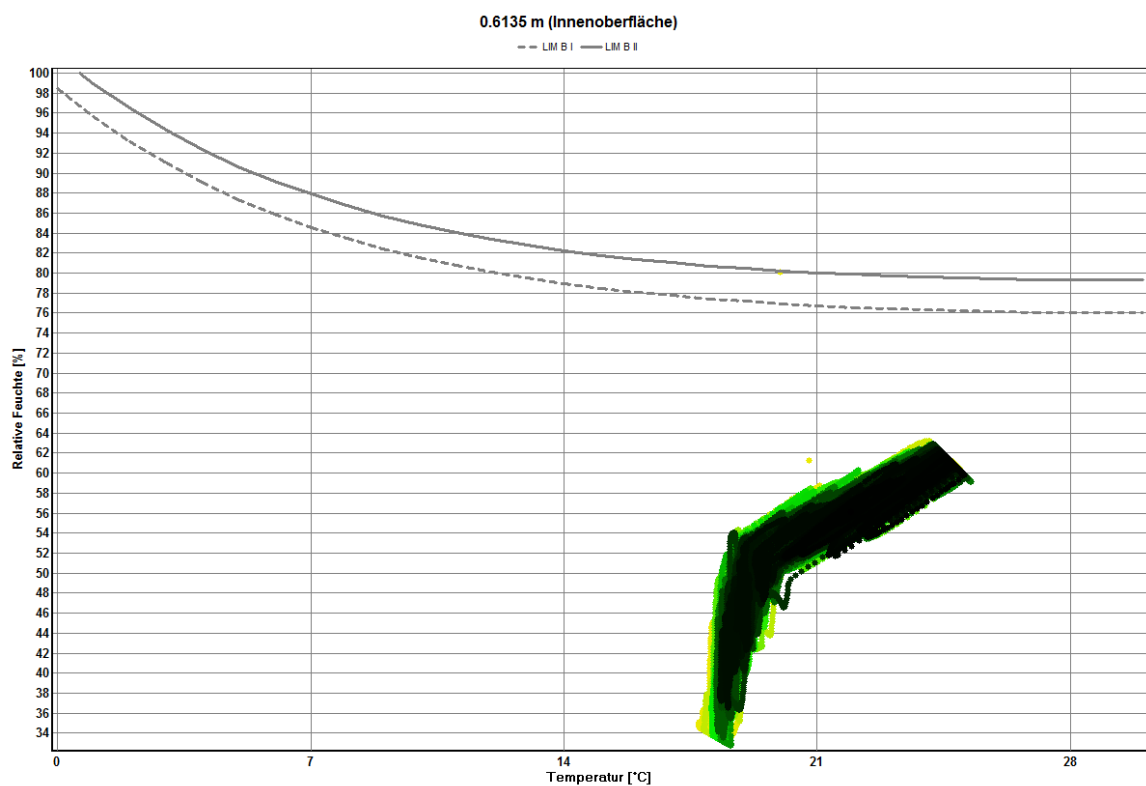


Abb. 35: Isoplethenmodell der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

c) Wassergehalt in Bauteilschicht

Bei 40 mm Innendämmung überschreitet der Wassergehalt den Grenzwert von 20 M.-% nicht (siehe Abb. 36 oben). Bei 140 mm Innendämmung überschreitet der erste Zentimeter der Dämmung den Grenzwert von 20 M.-% in den ersten 3 Jahren (siehe Abb. 36 unten).

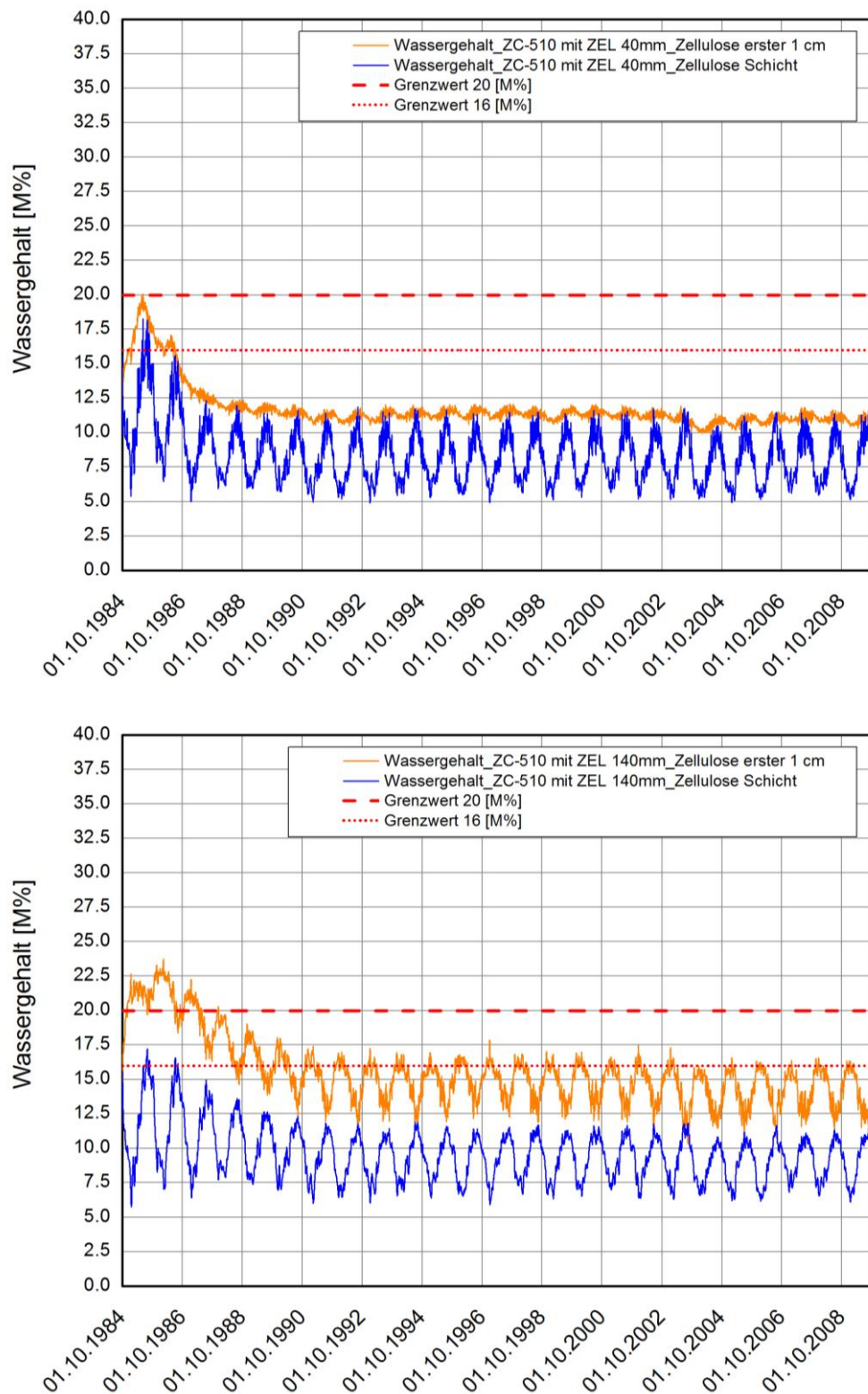


Abb. 36: Wassergehalt in Dämmschicht der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei allen Dicken nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 37).

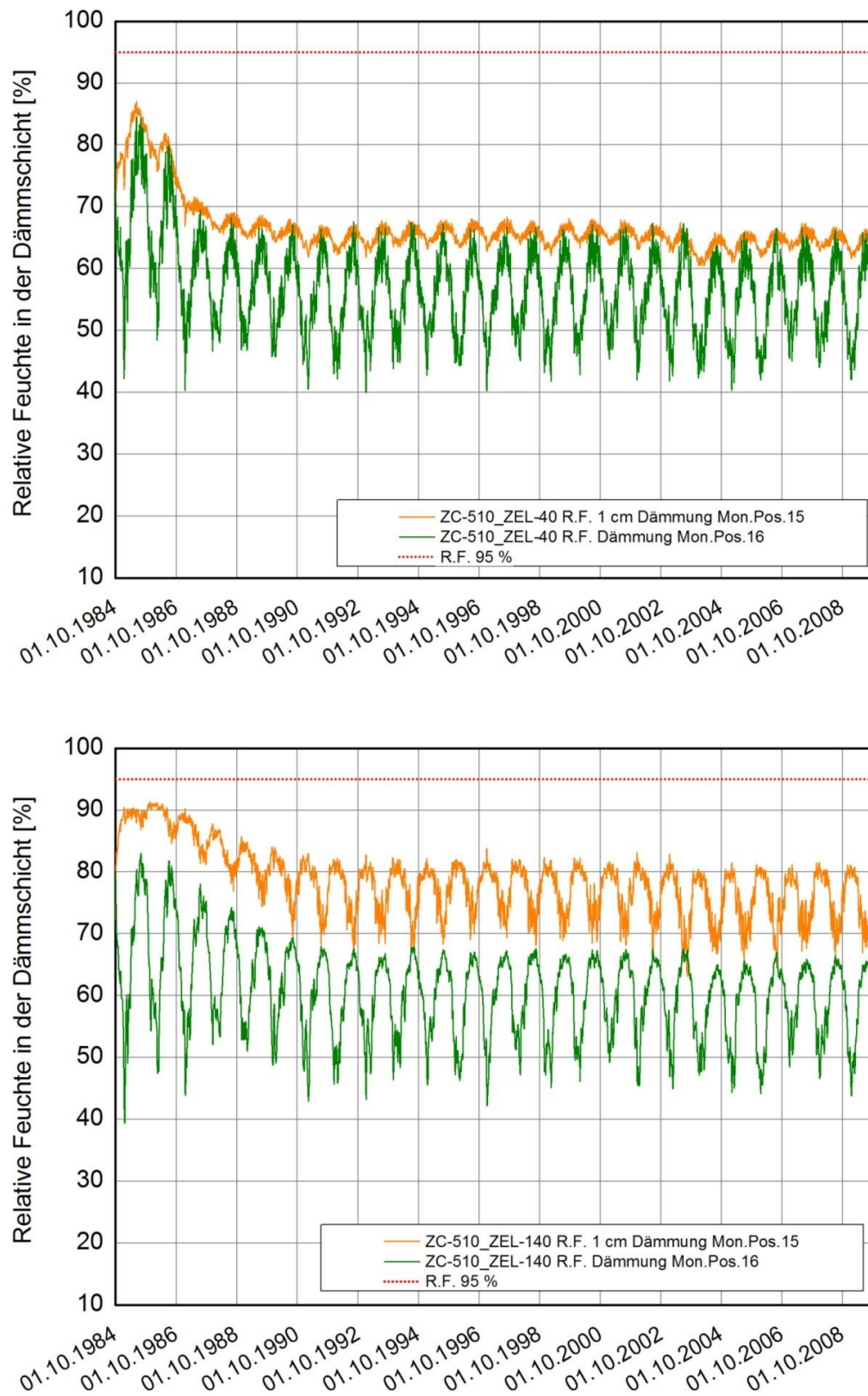


Abb. 37: Relative Feuchte in Dämmschicht der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung reduziert sich die relative Feuchte innerhalb von 2 Jahren auf unter 80 % (siehe Abb. 38 oben). Bei 140 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte um 80 % über 25 Jahre (siehe Abb. 38 unten). Eine Auswertung mit WUFI BIO der Variante Backstein ZC mit 510 mm und 40 mm Zellsulosedämmung ergibt bei Substratklasse 2 in den ersten 2 Jahren ein Schimmelpilzwachstum von über 200 mm/Jahr und nach 6 Jahren ein Schimmelpilzwachstum von unter 50 mm/Jahr.

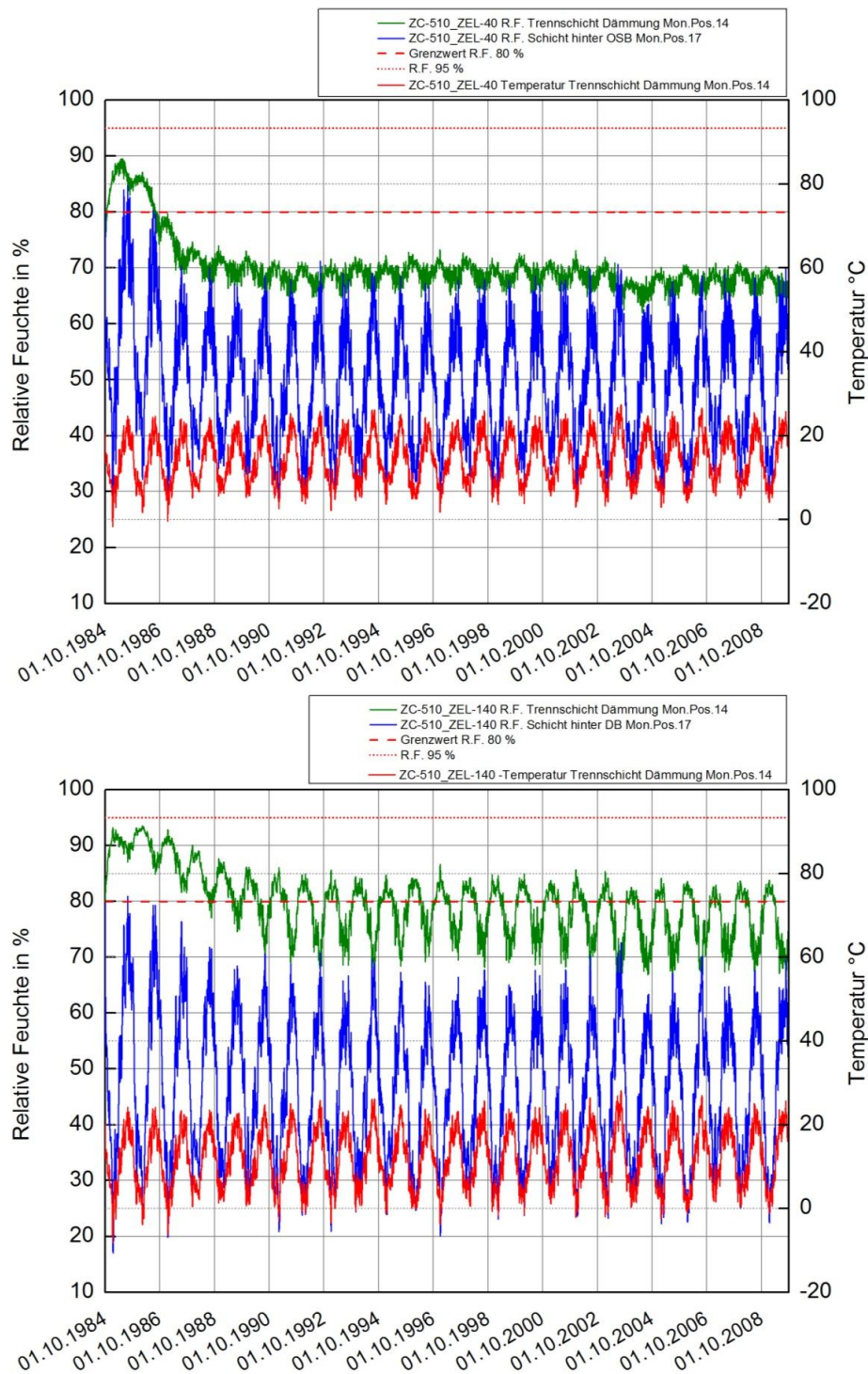
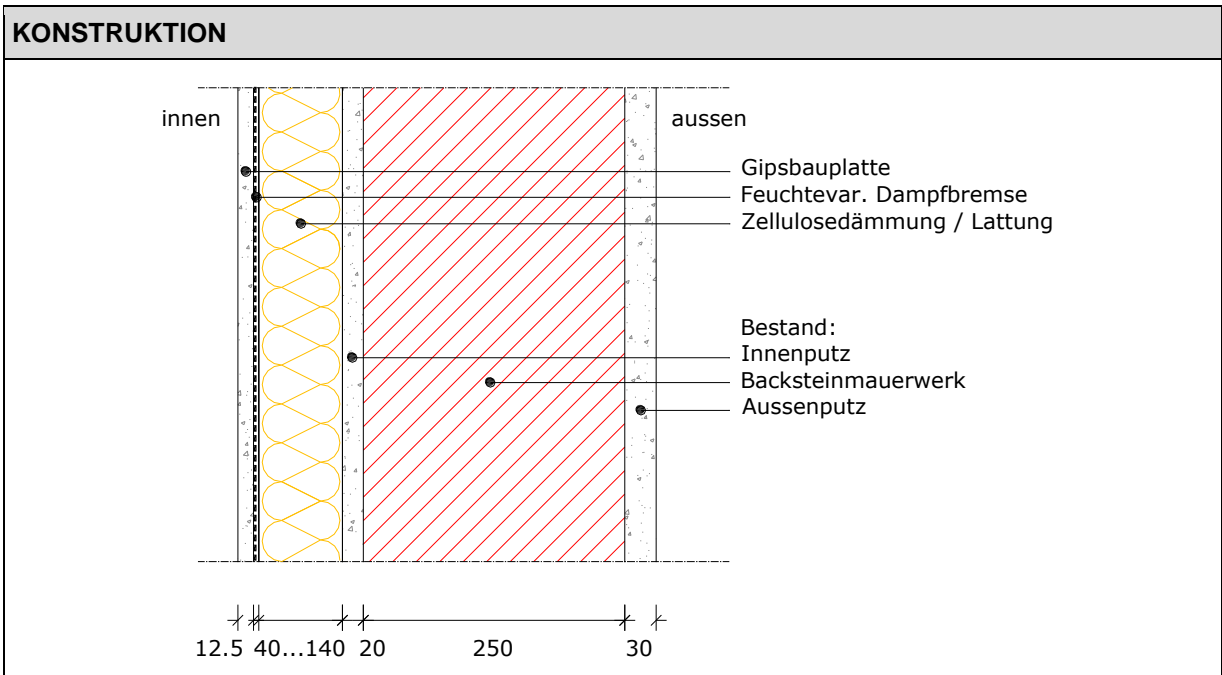


Abb. 38: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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



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 (Intello)	115	2500	2.4	-	-
Zellulose	50	2150	0.037	1.5	95
Kalkputz (Bestand)	1600	850	0.70	7.0	30
Backstein HWZ	1560	850	0.60	14.93	38
Kalkzementputz (Bestand)	1900	850	0.80	12.0	24

WÄRMESCHUTZ							
Kenngrösse	Einheit		Dicke Innendämmung				
			Bestand	40 mm	80 mm	100 mm	120 mm 140 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.45	1.63	2.57	3.10	3.57	3.94
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	1.62	0.61	0.39	0.32	0.28	0.25
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 bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ kein Problem dar. Auch der Wassergehalt in der Dämmschicht sowie die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreiten nicht den Grenzwert (ausser 140 mm Innendämmung). Dagegen überschreitet die relative Feuchte an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung den Grenzwert von 80 % und eine genauere Auswertung mit WUFI-BIO ergibt ein Schimmelpilzwachstum. 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
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 Grenzsicht 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 $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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 beim Backstein HWZ 510 eingehalten (vgl. Abschnitt 3.8.2) und wird in diesem Abschnitt nicht überprüft.

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 Zelloosedämmung mit einer Dicke von 40 mm.

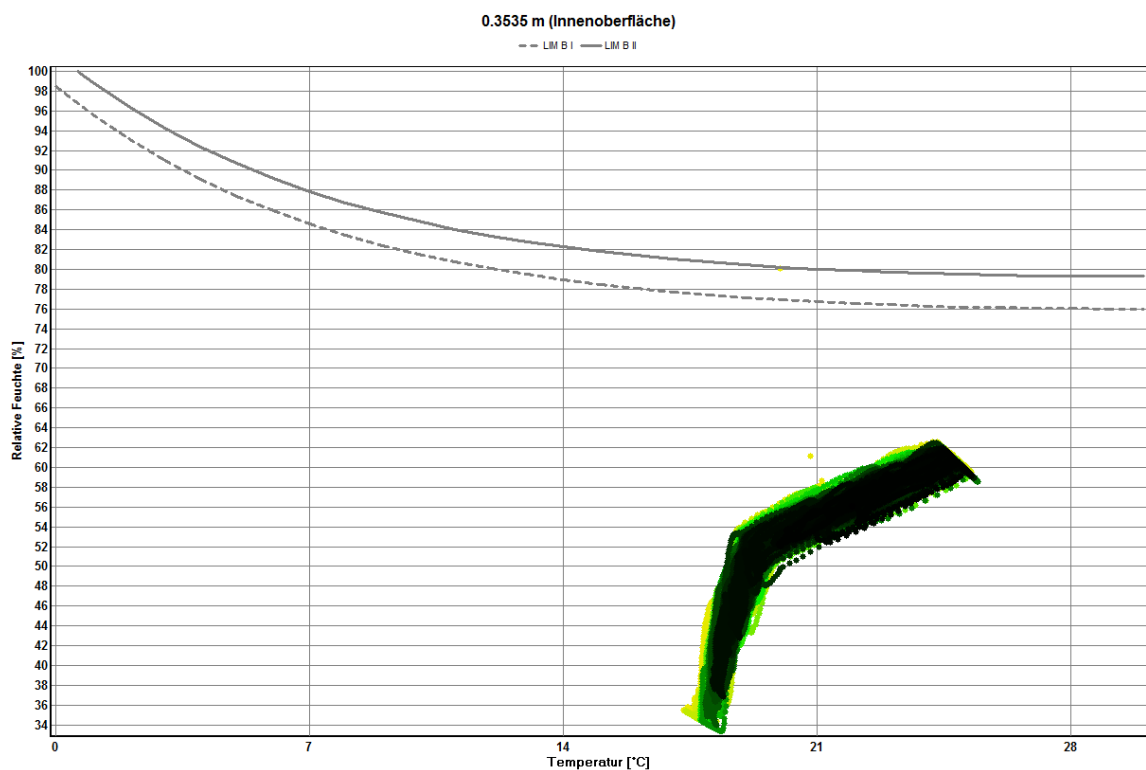


Abb. 39: Isoplethenmodell der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

c) Wassergehalt in Bauteilschicht

Bei 40 mm Innendämmung überschreitet der Wassergehalt in der Dämmschicht den Grenzwert von 20 M.-% in den ersten 2 Jahren (siehe Abb. 40 oben). Bei 140 mm Innendämmung überschreitet der erste Zentimeter der Dämmschicht den Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-% in den ersten 3 Jahren (siehe Abb. 40 unten).

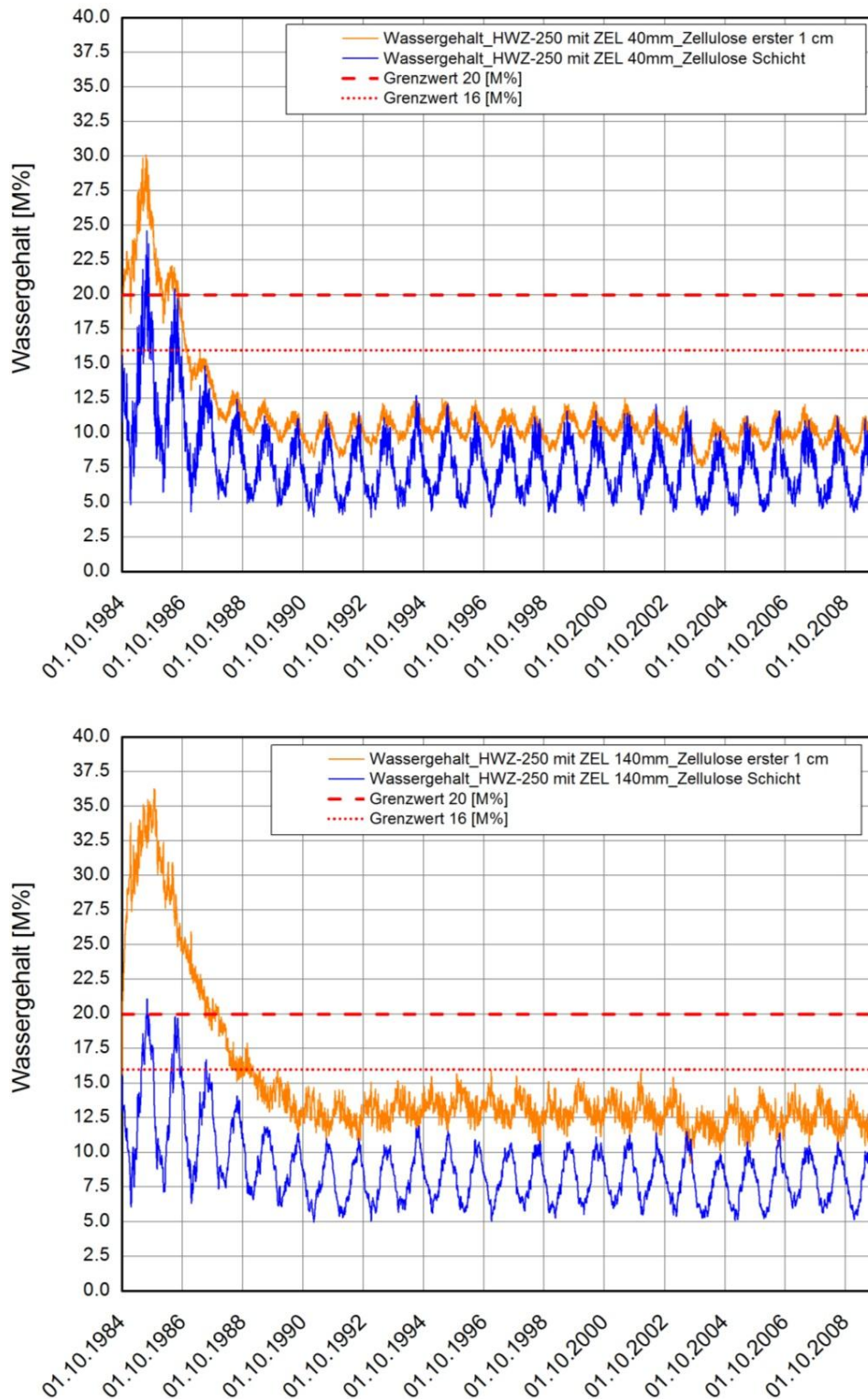


Abb. 40: Wassergehalt der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

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

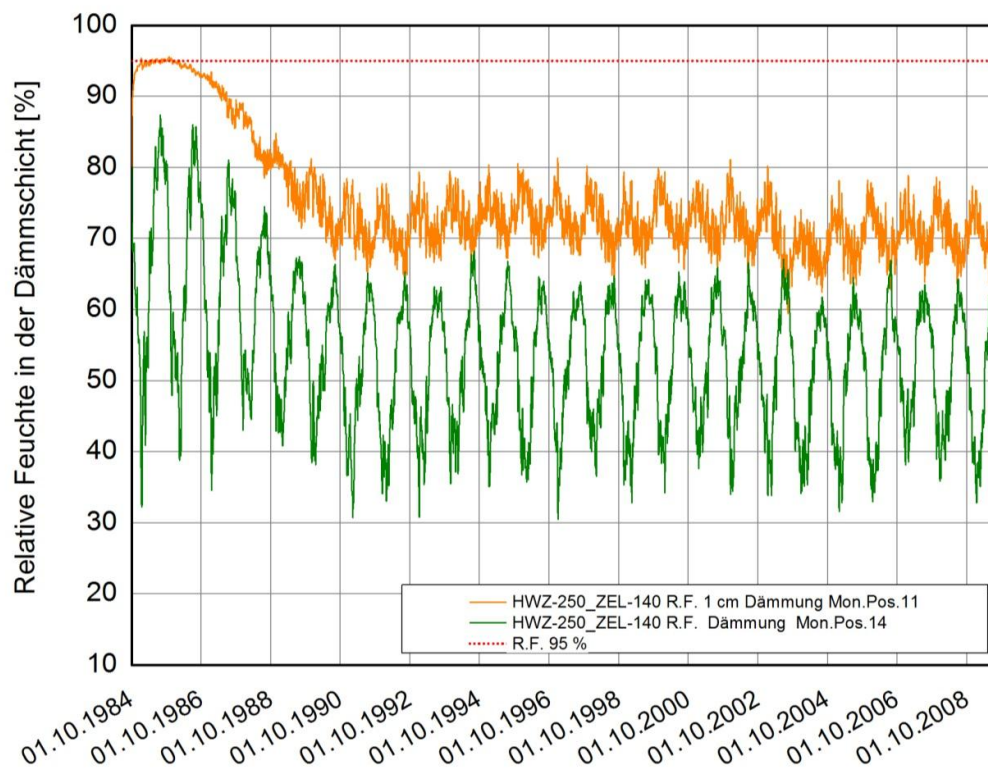
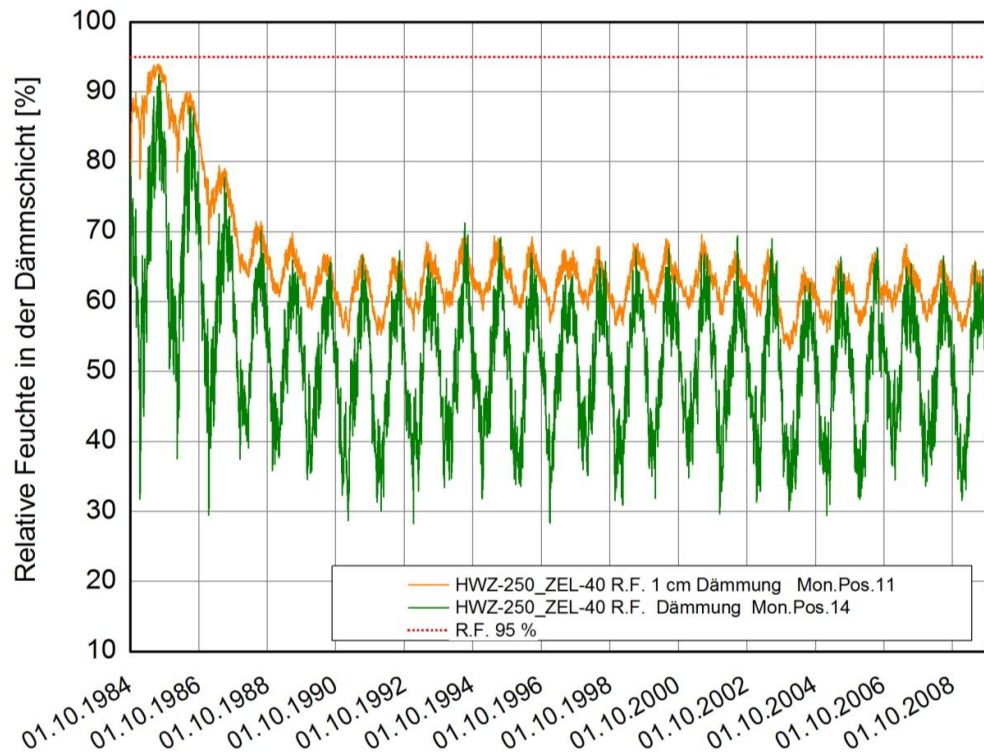


Abb. 41: Relative Feuchte in Dämmschicht der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Außenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung reduziert sich die relative Feuchte innerhalb von 3 Jahren auf unter 80 % (siehe Abb. 42 oben). Bei 140 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte knapp unter 80 % über 25 Jahre (siehe Abb. 42 unten). Ein Auswertung mit WUFI BIO der Variante Backstein HWZ mit 250 mm und 40 mm Zellulosedämmung ergibt bei Substratklasse 2 in den ersten 7 Jahren ein Schimmelpilzwachstum von über 200 mm/Jahr und danach zwischen 50 - 200 mm/Jahr.

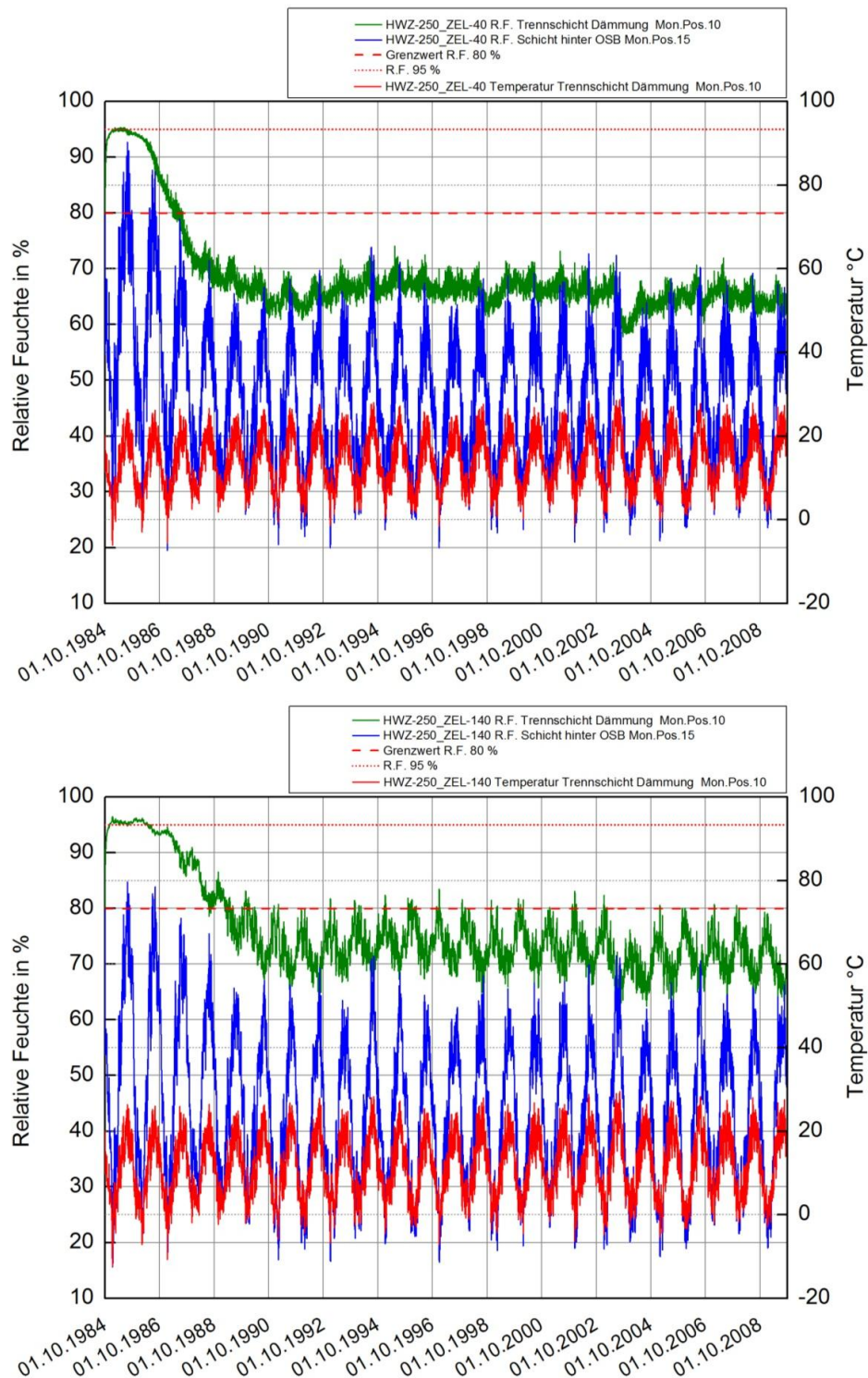
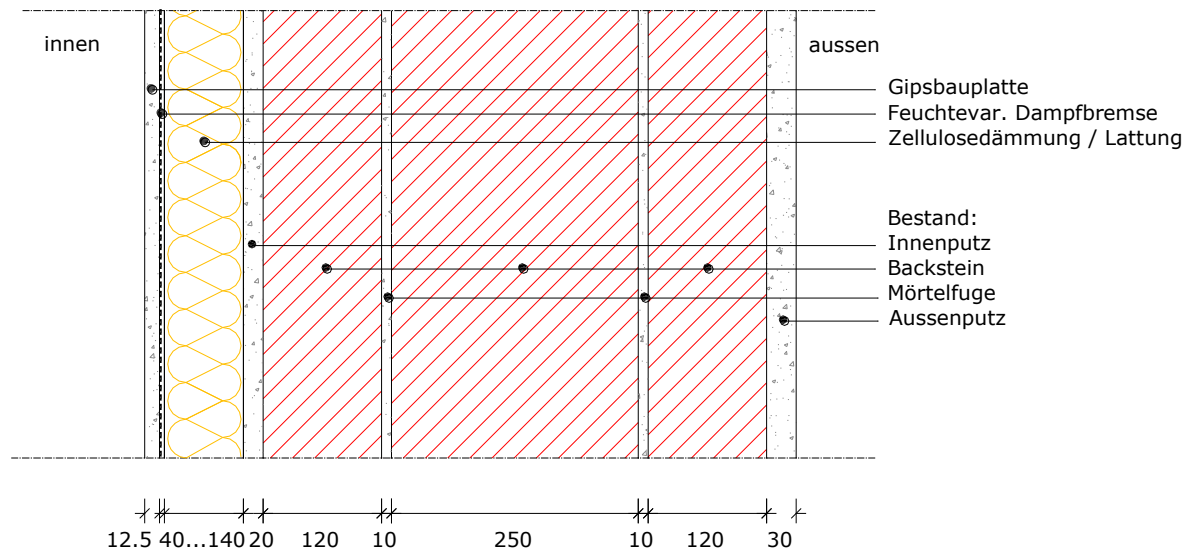


Abb. 42: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

3.8 IDS Zellulose (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 (Intello)	115	2500	2.4	-	-
Zellulose	50	2150	0.037	1.5	95
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	12.0	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	2.07	3.02	3.55	4.02	4.39
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	0.98	0.48	0.33	0.28	0.25	0.23

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 bei einem Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ kein Problem dar. Dagegen überschreiten der Wassergehalt in der Dämmschicht sowie die relative Feuchte in der Dämmschicht den Grenzwert. Auch die relative Feuchte an der Trennschicht zwischen Bestand und Innendämmung überschreitet den Grenzwert von 80 % und eine genauere Auswertung mit WUFI-BIO ergibt ein Schimmelpilzwachstum. 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
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)	✗	✗	✗	✓	✓

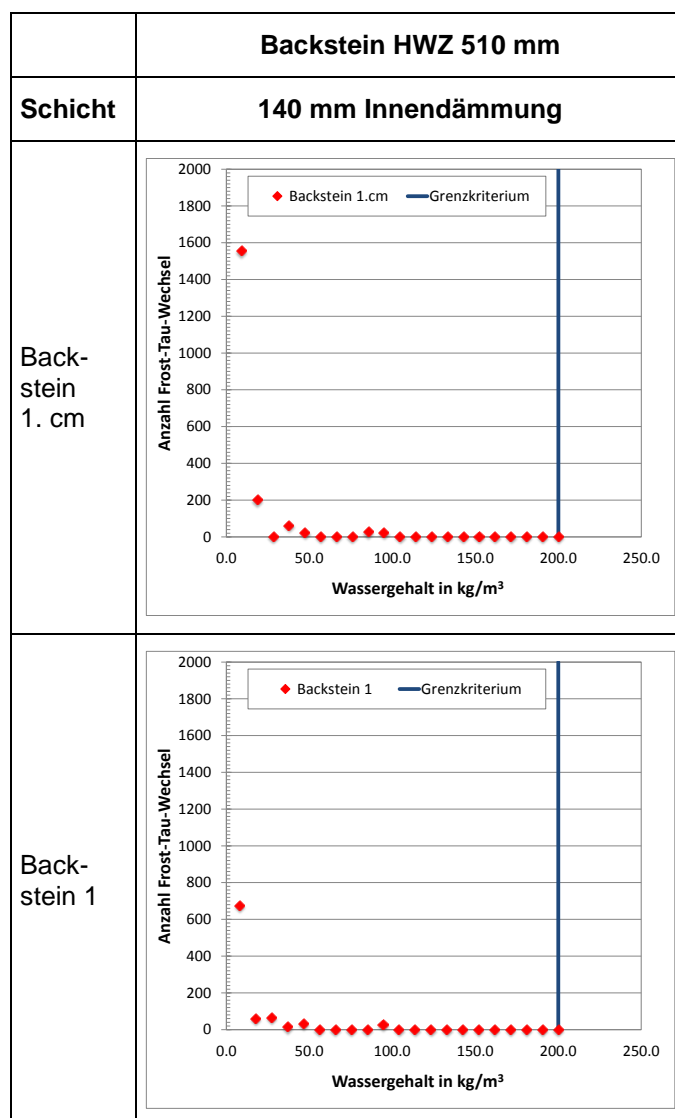
3.8.2 Simulationsergebnisse (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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

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. Bei alle Dicken der Innendämmung treten keine Frost-Tauwechsel bei Wassergehalten auf, die grösser als der kritische Wassergehalt des Backsteins sind. Es ist nur die maximale Dicke dargestellt.

Tabelle 8: 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 8

	Backstein HWZ 510 mm
Schicht	140 mm Innendämmung
Backstein 2	<p>Graph for Backstein 2: The y-axis is 'Anzahl Frost-Tau-Wechsel' (0 to 2000) and the x-axis is 'Wassergehalt in kg/m³' (0.0 to 250.0). A vertical blue line at 200.0 represents the 'Grenzkriterium'. Red diamonds represent data points for 'Backstein 2'. Most points are near the x-axis, with one outlier at approximately (10, 150).</p>
Backstein 3	<p>Graph for Backstein 3: The y-axis is 'Anzahl Frost-Tau-Wechsel' (0 to 2000) and the x-axis is 'Wassergehalt in kg/m³' (0 to 250). A vertical blue line at 200 represents the 'Grenzkriterium'. Red diamonds represent data points for 'Backstein 3', which are clustered near the x-axis.</p>
Backstein letzter cm	<p>Graph for Backstein letzter cm: The y-axis is 'Anzahl Frost-Tau-Wechsel' (0 to 2000) and the x-axis is 'Wassergehalt in kg/m³' (0 to 250). A vertical blue line at 200 represents the 'Grenzkriterium'. Red diamonds represent data points for 'Backstein letzter cm', which are clustered near the x-axis.</p>

b) Wassergehalt in Bauteilschicht

Bei 40 mm Innendämmung überschreitet der Wassergehalt den Grenzwert von 20 M.-% in den ersten 6 Jahren (siehe Abb. 43 oben). Bei 140 mm Innendämmung überschreitet der Wassergehalt Grenzwert von 20 M.-% in den ersten 14 Jahren (siehe Abb. 43 unten).

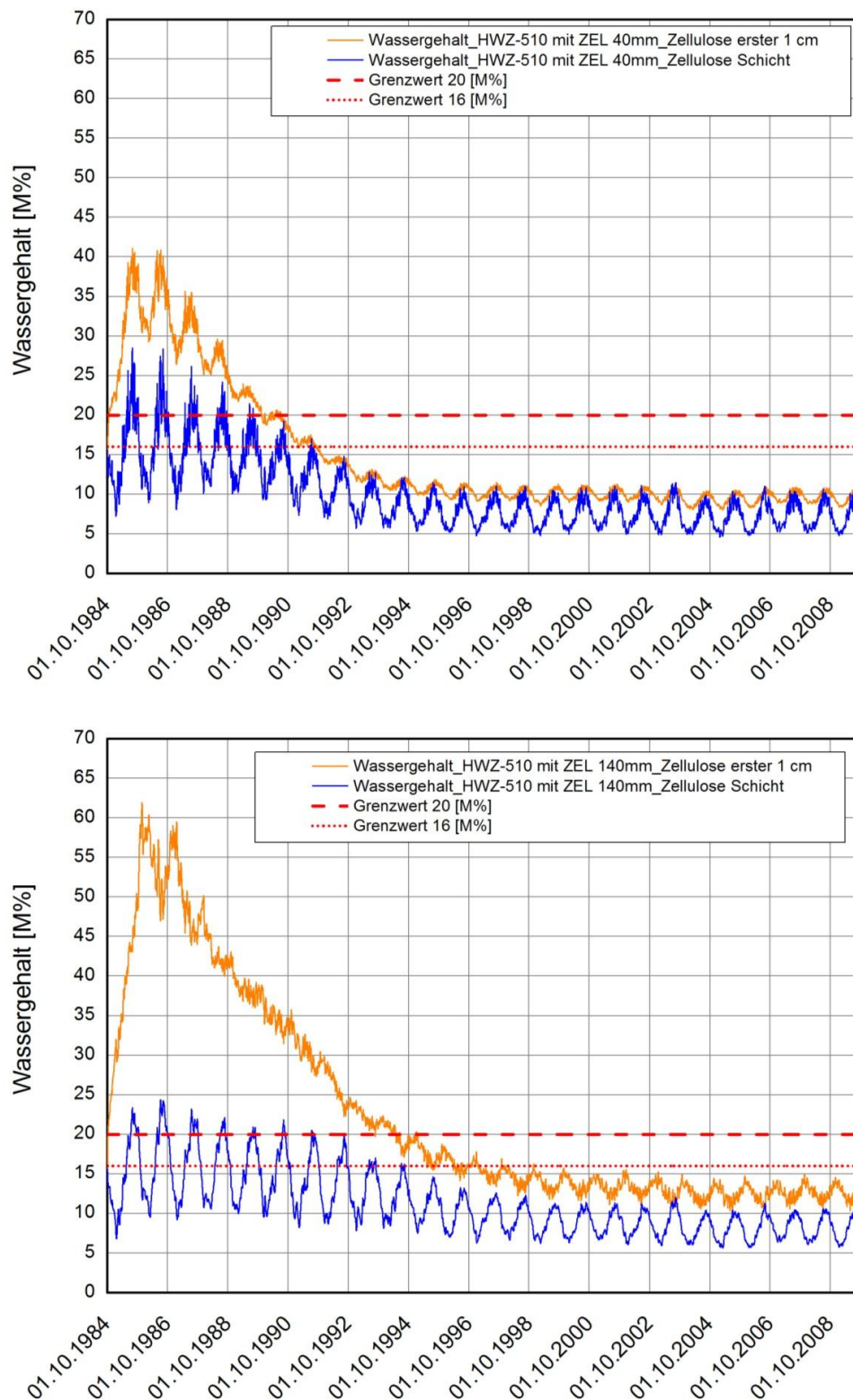


Abb. 43: Wassergehalt der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

c) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in dem ersten Zentimeter der Dämmschicht überschreitet bei 40 mm Innendämmung den Grenzwert von 95 % in den ersten 2 Jahren (siehe Abb. 44 oben), ab 80 mm in den ersten 5 Jahren (nicht abgebildet), bei 140 mm Innendämmung den Grenzwert in den ersten 6 Jahren (siehe Abb. 44 unten).

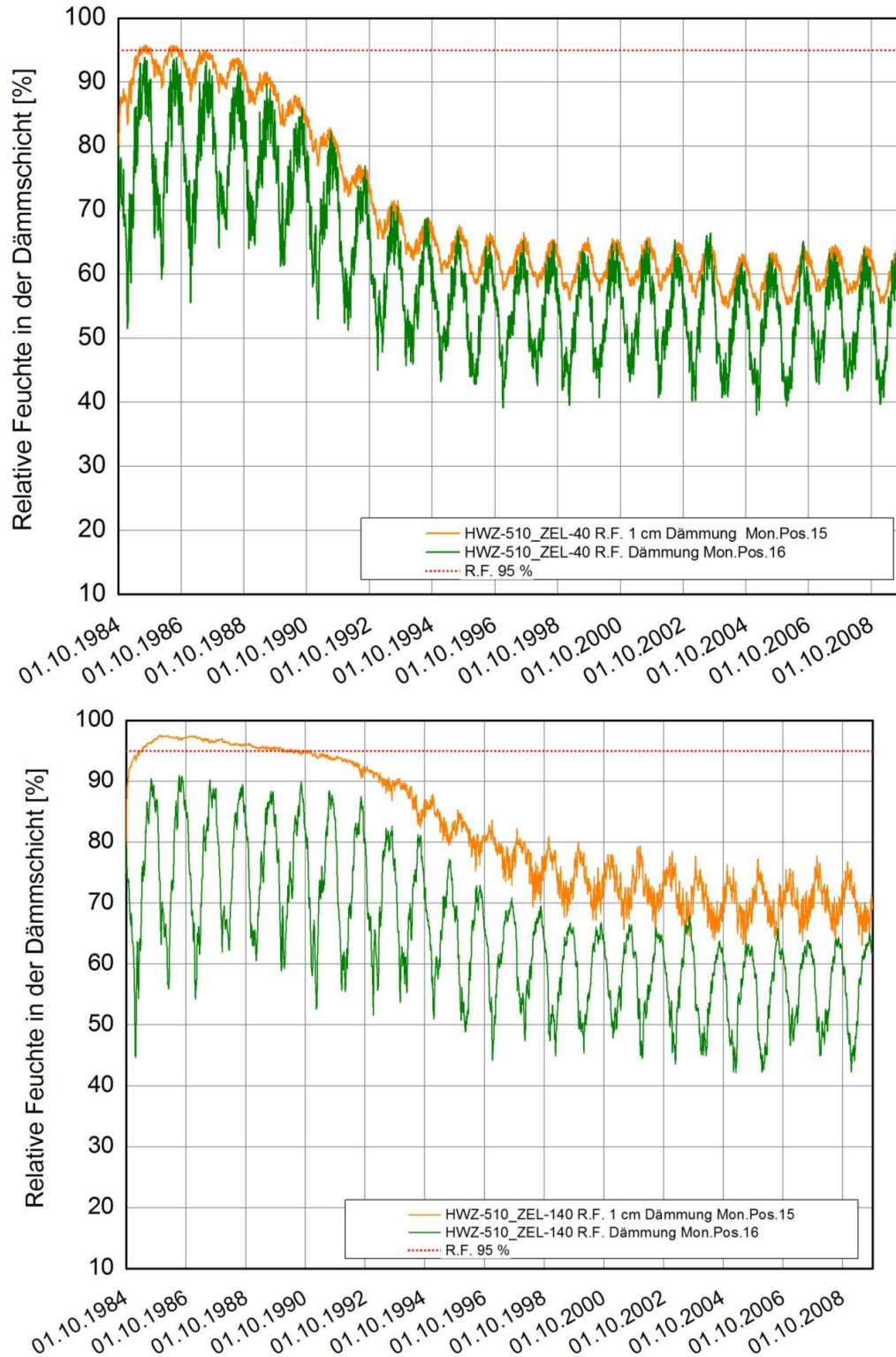


Abb. 44: Relative Feuchte in Dämmschicht der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aus-senputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 40 mm Innendämmung reduziert sich die relative Feuchte erst nach 10 Jahren auf unter 80 % (siehe Abb. 45 oben), bei 140 mm Innendämmung erst nach 14 Jahren (siehe Abb. 45 unten). Ein Auswertung mit WUFI BIO der Variante Backstein HWZ mit 510 mm und 40 mm Zellulosedämmung ergibt bei Substratklasse 2 über 25 Jahre ein Schimmelpilzwachstum von über 200 mm/Jahr.

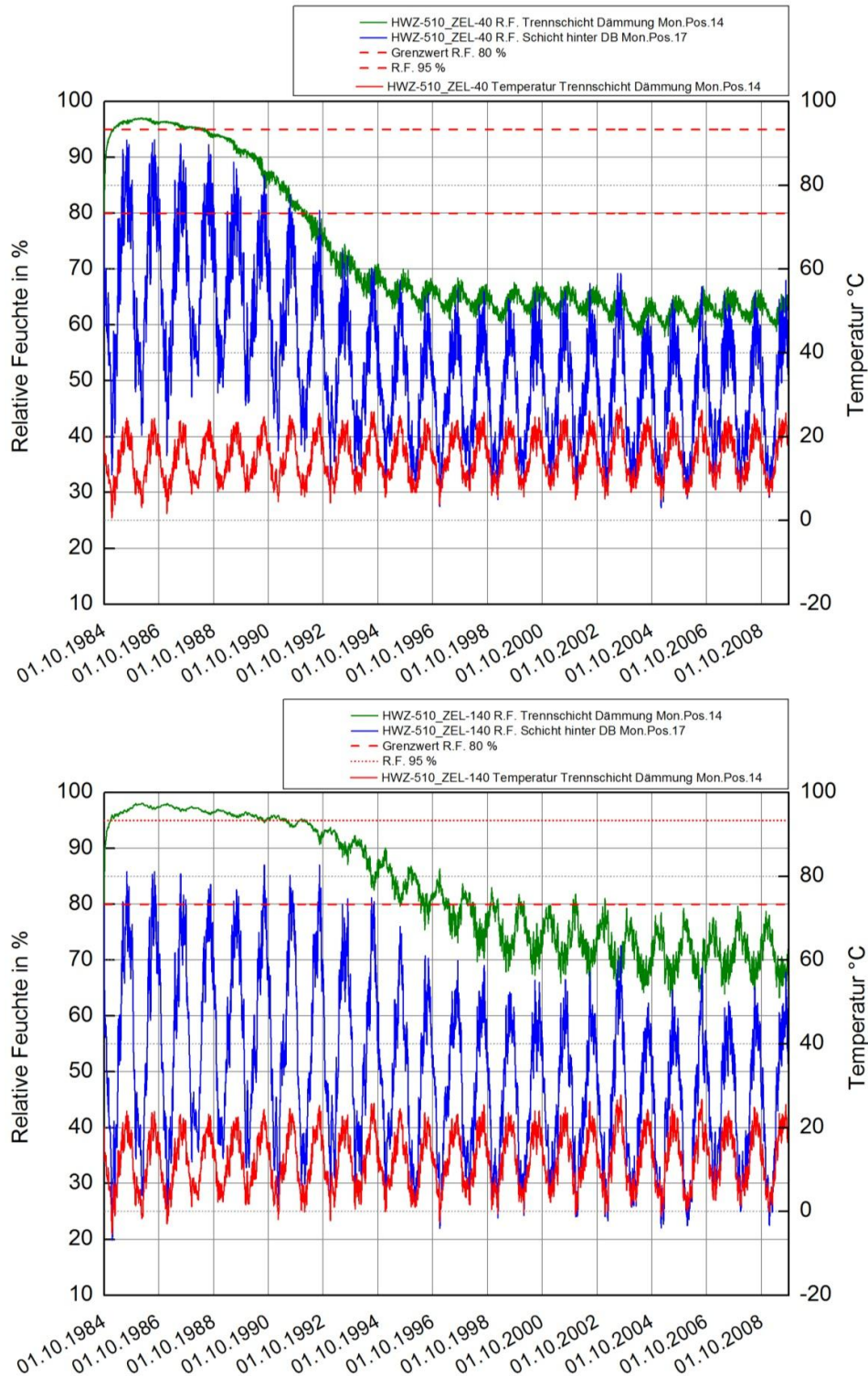


Abb. 45: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

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 Zelloosedämmung mit einer Dicke von 40 mm.

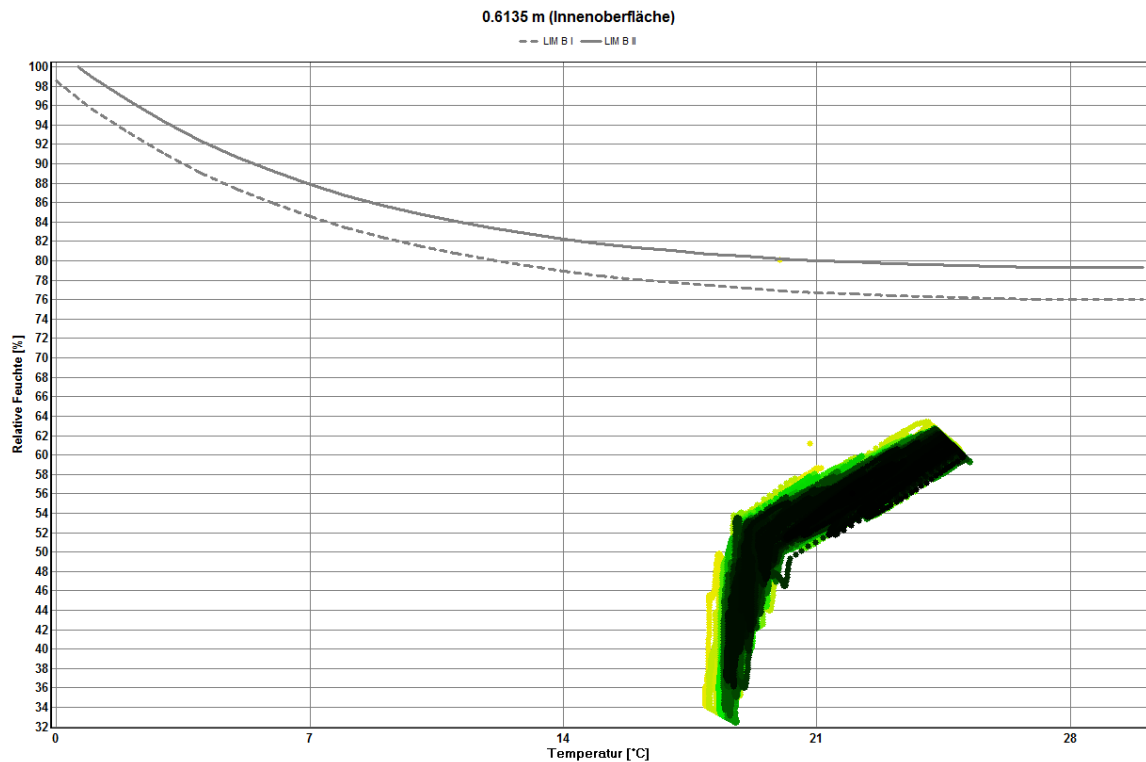
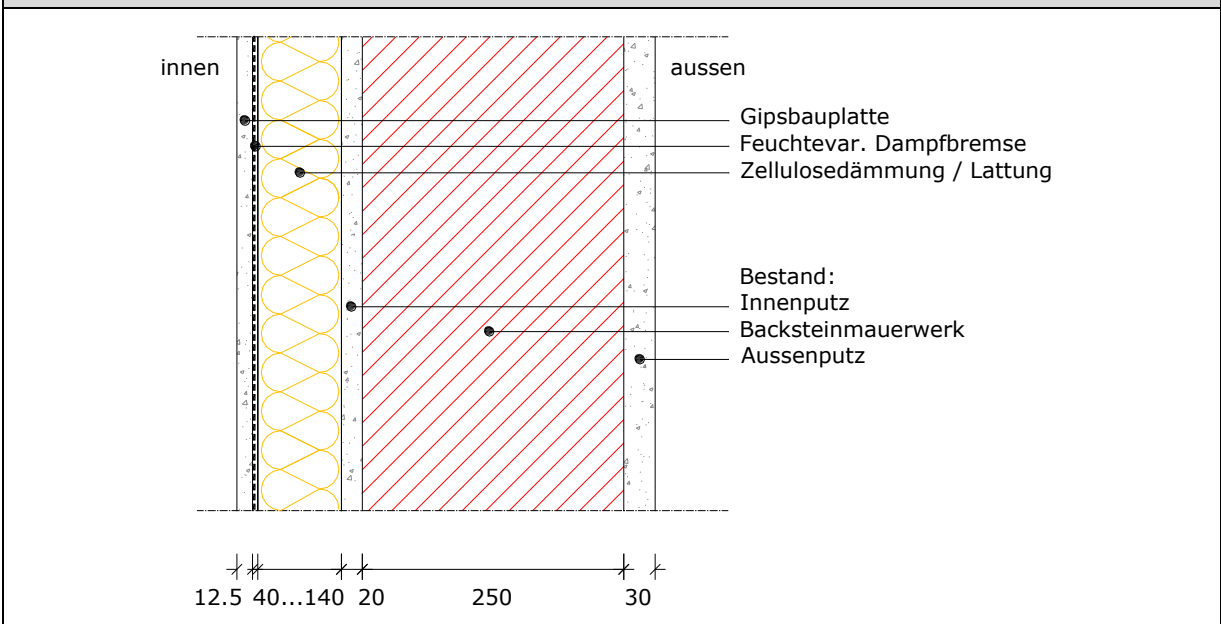


Abb. 46: Isoplethenmodell der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

4 ERGEBNISKATALOG (ANFANGSFEUCHTE PROFIL 2)

4.1 IDS Zellulose (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 (Intello)	115	2500	2.4	-	-
Zellulose	50	2150	0.037	1.5	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	12.0	24

WÄRMESCHUTZ

Kenngrösse	Einheit	Dicke Innendämmung					
		Bestand	40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.33	1.48	2.42	2.95	3.42	3.78
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	2.01	0.67	0.41	0.34	0.29	0.26

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

4.1.1 Zusammenfassung

Bei 140 mm Zelloosedämmung 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 Aussenputz von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ und einer Anfangsfeuchte von 80 % 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 140 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 Bauteilschicht

Bei einer Dicke von 140 mm Innendämmung überschreitet nur der erste Zentimeter der Dämmung den Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-% im ersten Jahr (siehe Abb. 47).

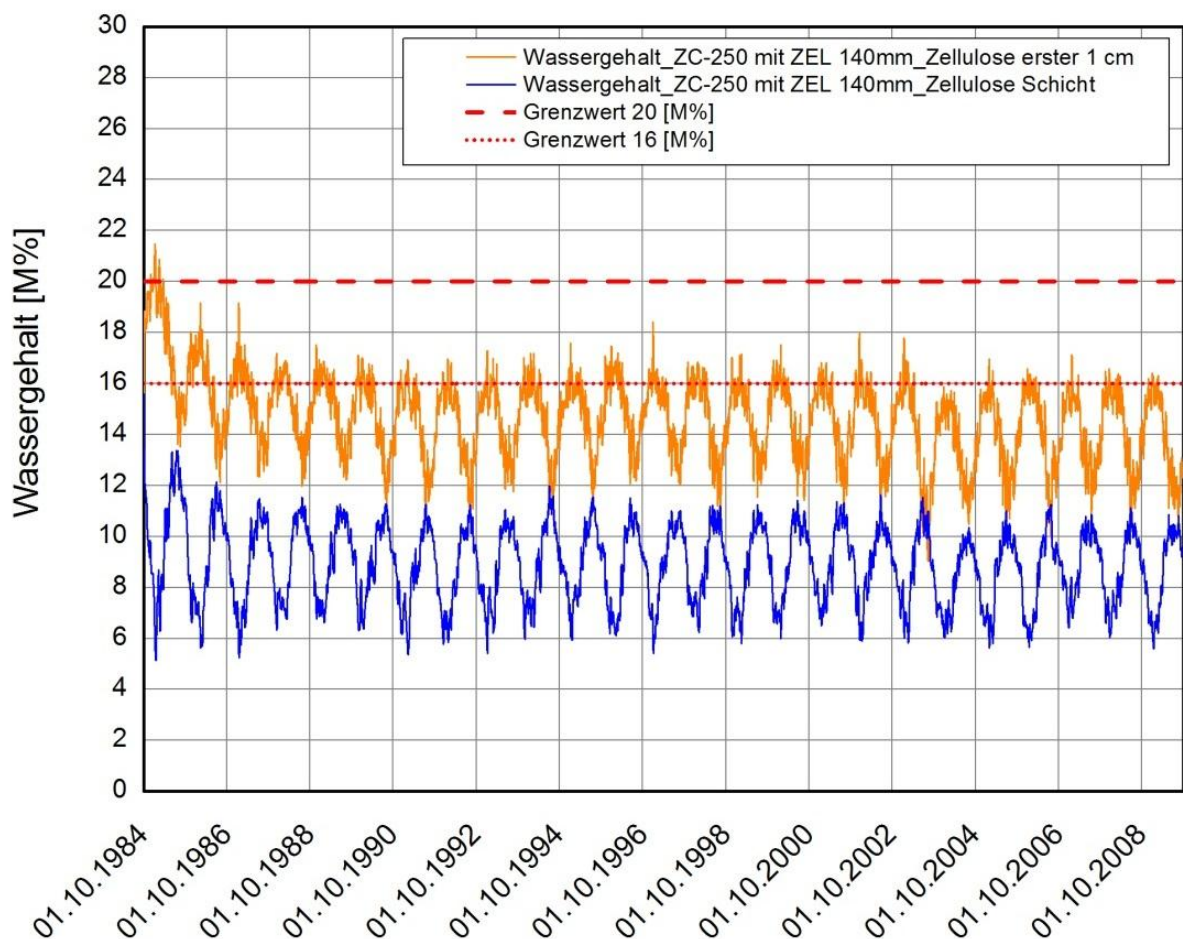


Abb. 47: Wassergehalt der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei einer Innendämmung mit 140 mm Dicke nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 48).

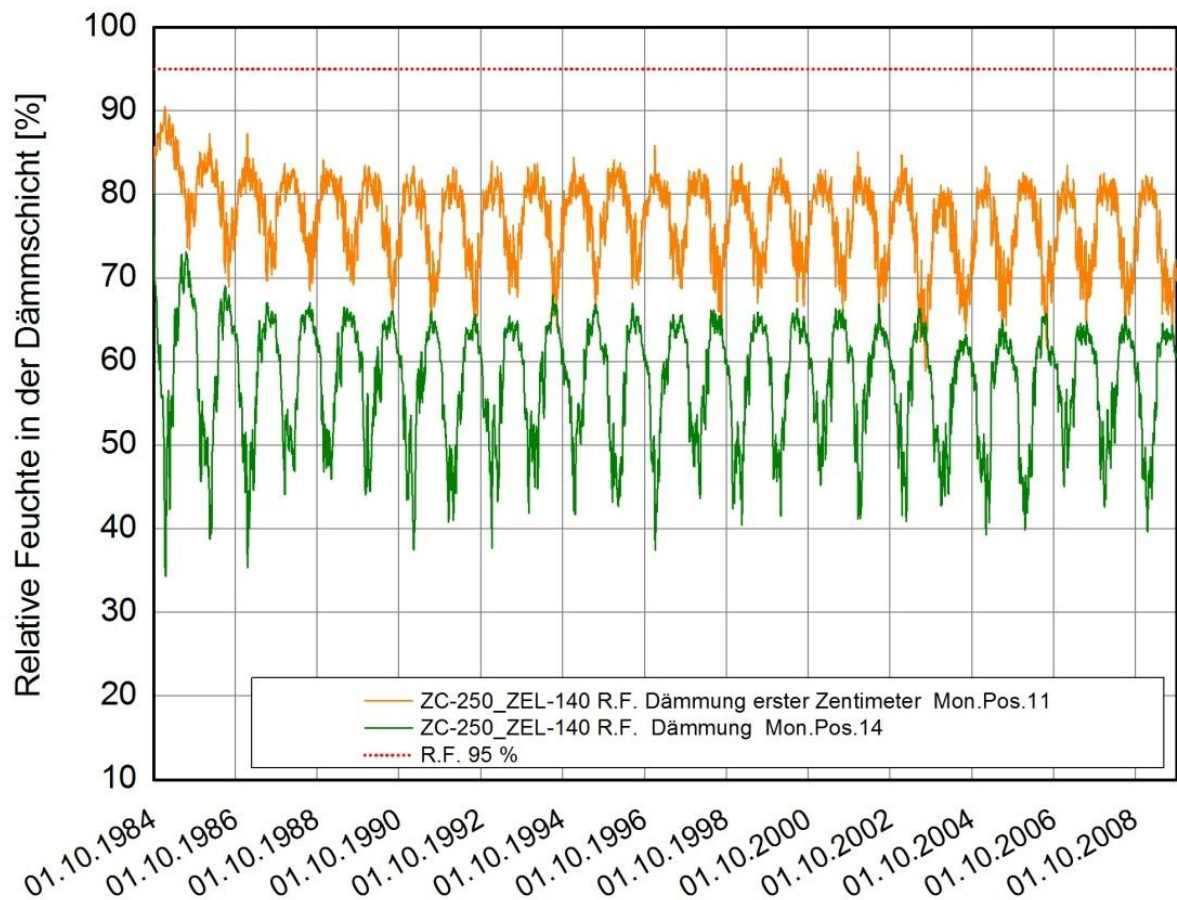


Abb. 48: Relative Feuchte in Dämmschicht der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 140 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte um 80 % (siehe Abb. 49). Bei der Variante Backstein ZC 250 mm mit 140 mm Zellulosedämmung und feuchtevariabler Dampfbremse (Intello) mit Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputz von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ entsteht bei einer Auswertung mit WUFI BIO nach 6 Jahren ein Schimmelpilzwachstum unter 50 mm/Jahr bei Substratklasse 1.

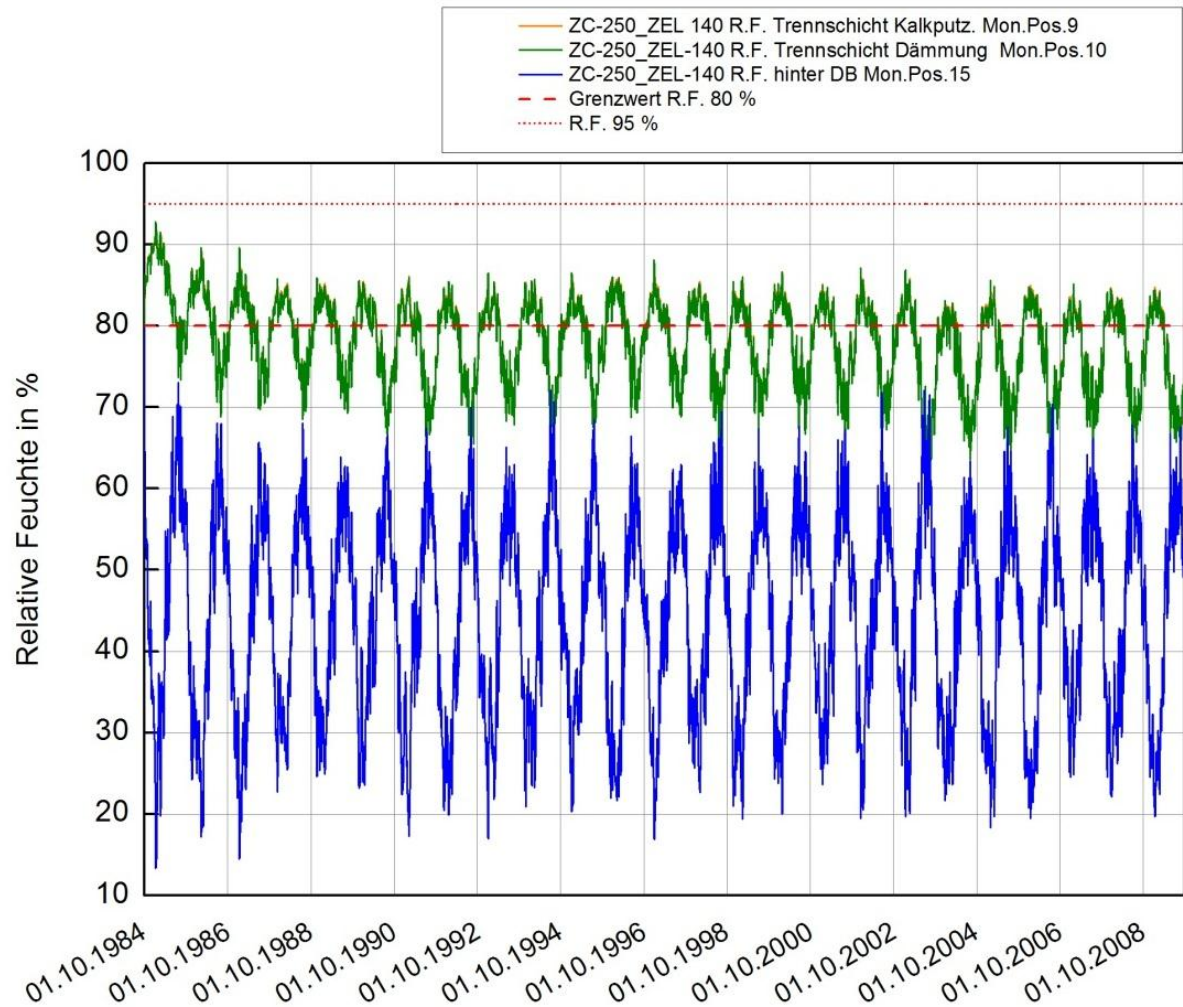
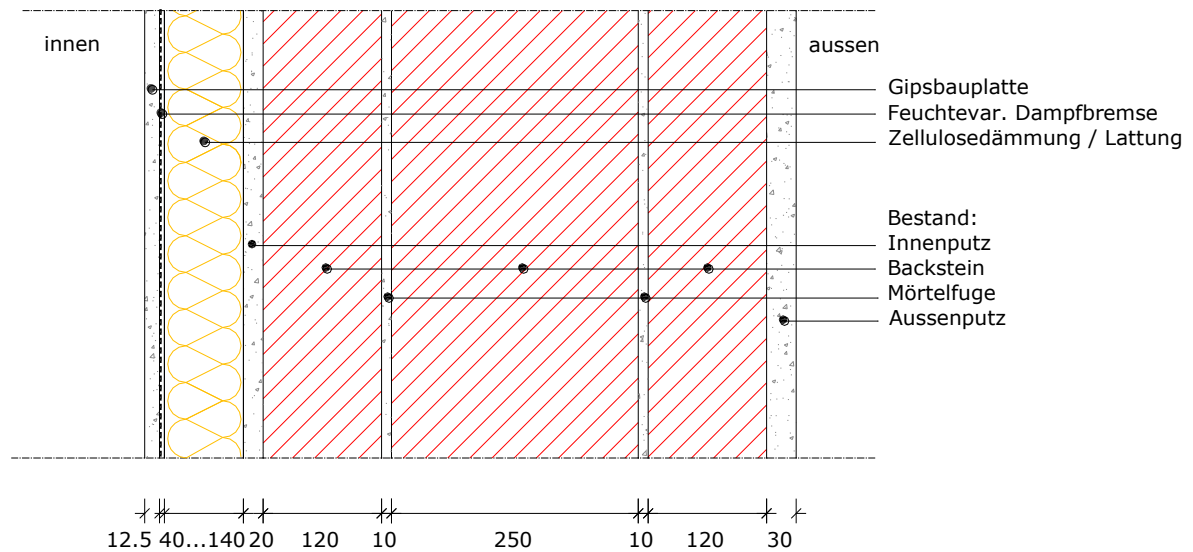


Abb. 49: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

4.2 IDS Zellulose (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 (Intello)	115	2500	2.4	-	-
Zellulose	50	2150	0.037	1.5	95
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	12.0	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	1.78	2.72	3.25	3.72	4.09
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	1.28	0.56	0.37	0.31	0.27	0.24

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

4.2.1 Zusammenfassung

Bei 140 mm Zelloosedämmung 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 $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ und einer Anfangsfeuchte von 80 % 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 140 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 Bauteilschicht

Bei einer Dicke von 140 mm Innendämmung überschreitet nur der erste Zentimeter der Dämmung den Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-% im ersten Jahr (siehe Abb. 50).

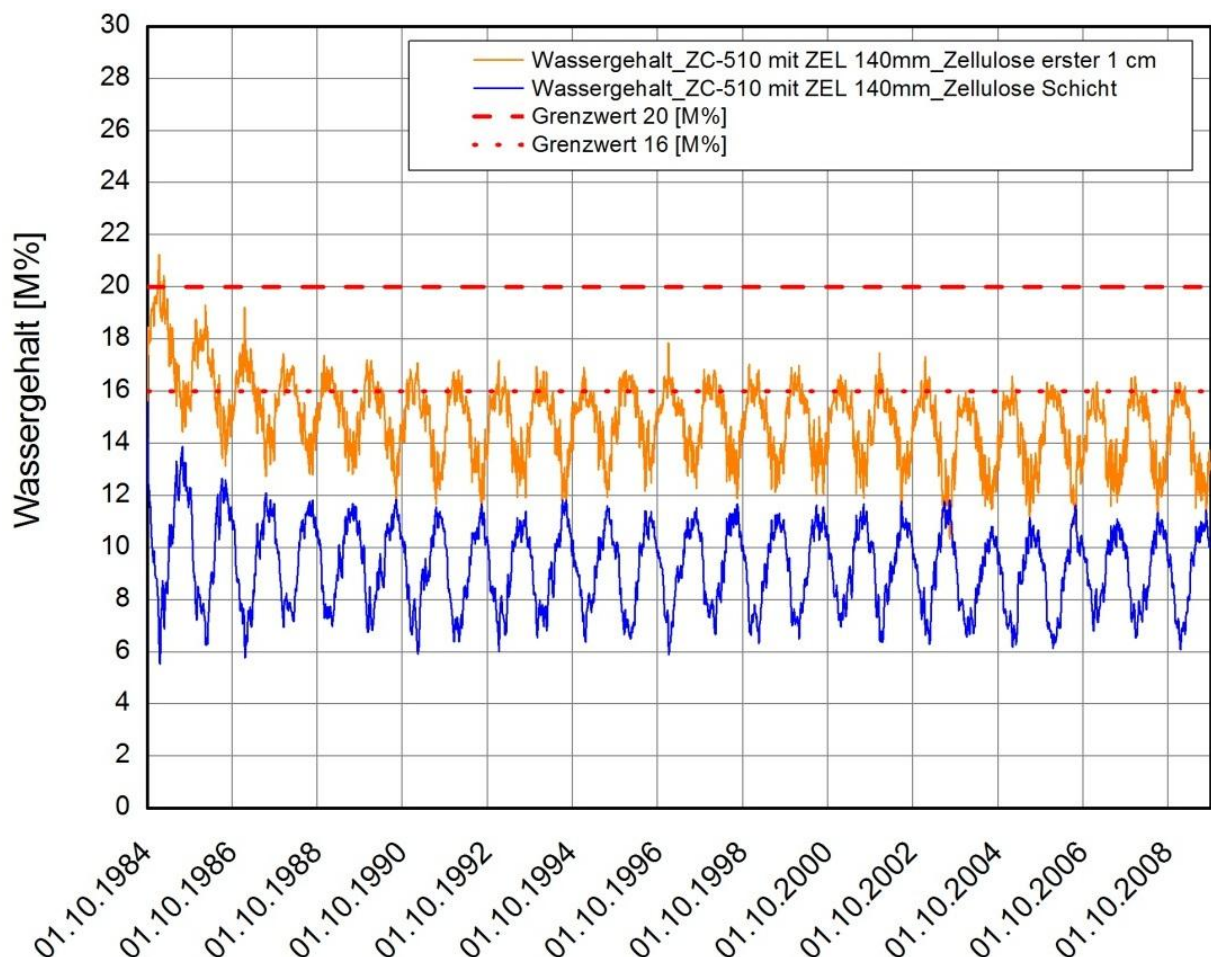


Abb. 50: Wassergehalt der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei einer Innendämmung mit 140 mm Dicke nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 51).

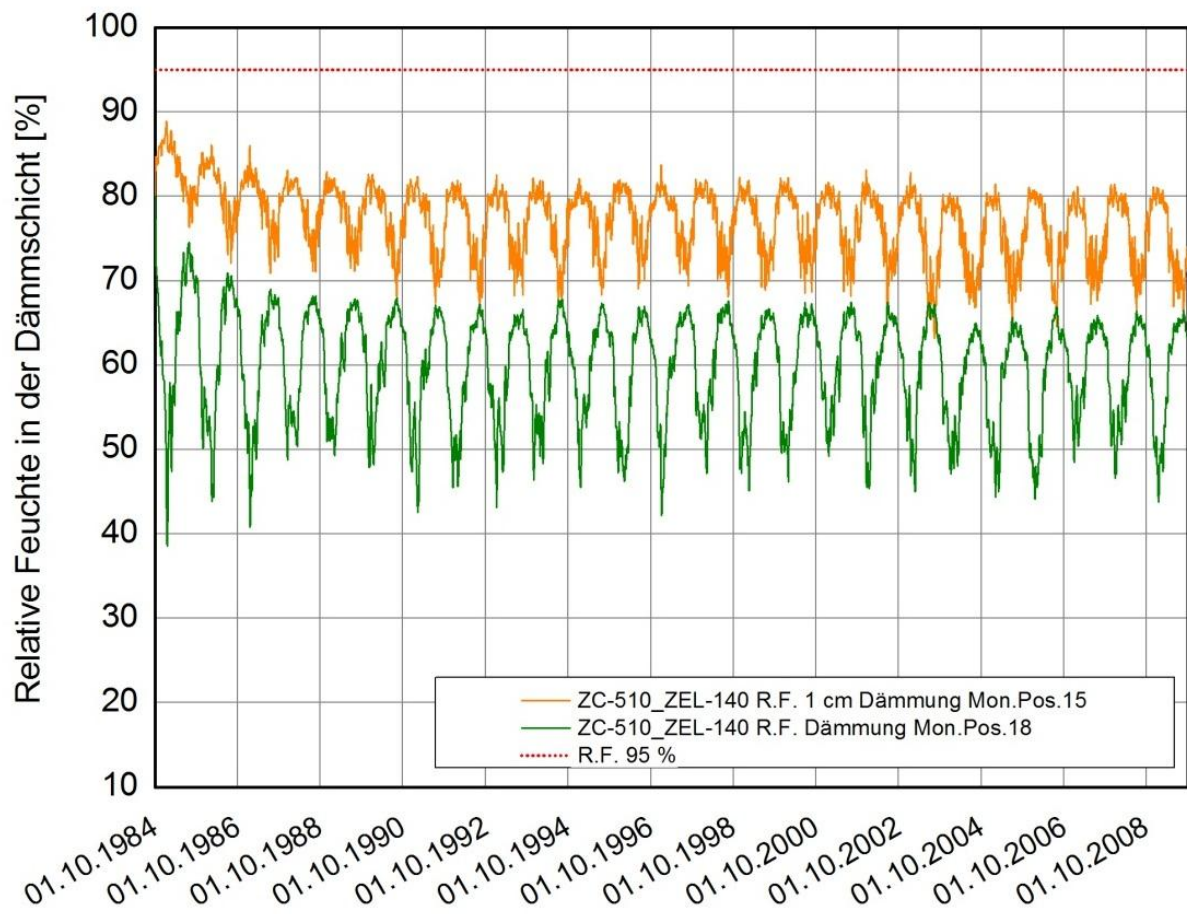


Abb. 51: Relative Feuchte in Dämmschicht der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 140 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte um 80 % (siehe Abb. 52). Bei der Variante Backstein ZC 510 mm mit 140 mm Zellulosedämmung und feuchtevariabler Dampfbremse (Intello) mit Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ entsteht bei einer Auswertung mit WUFI BIO nach 7 Jahren ein Schimmelpilzwachstum unter 50 mm/Jahr bei Substratklasse 1.

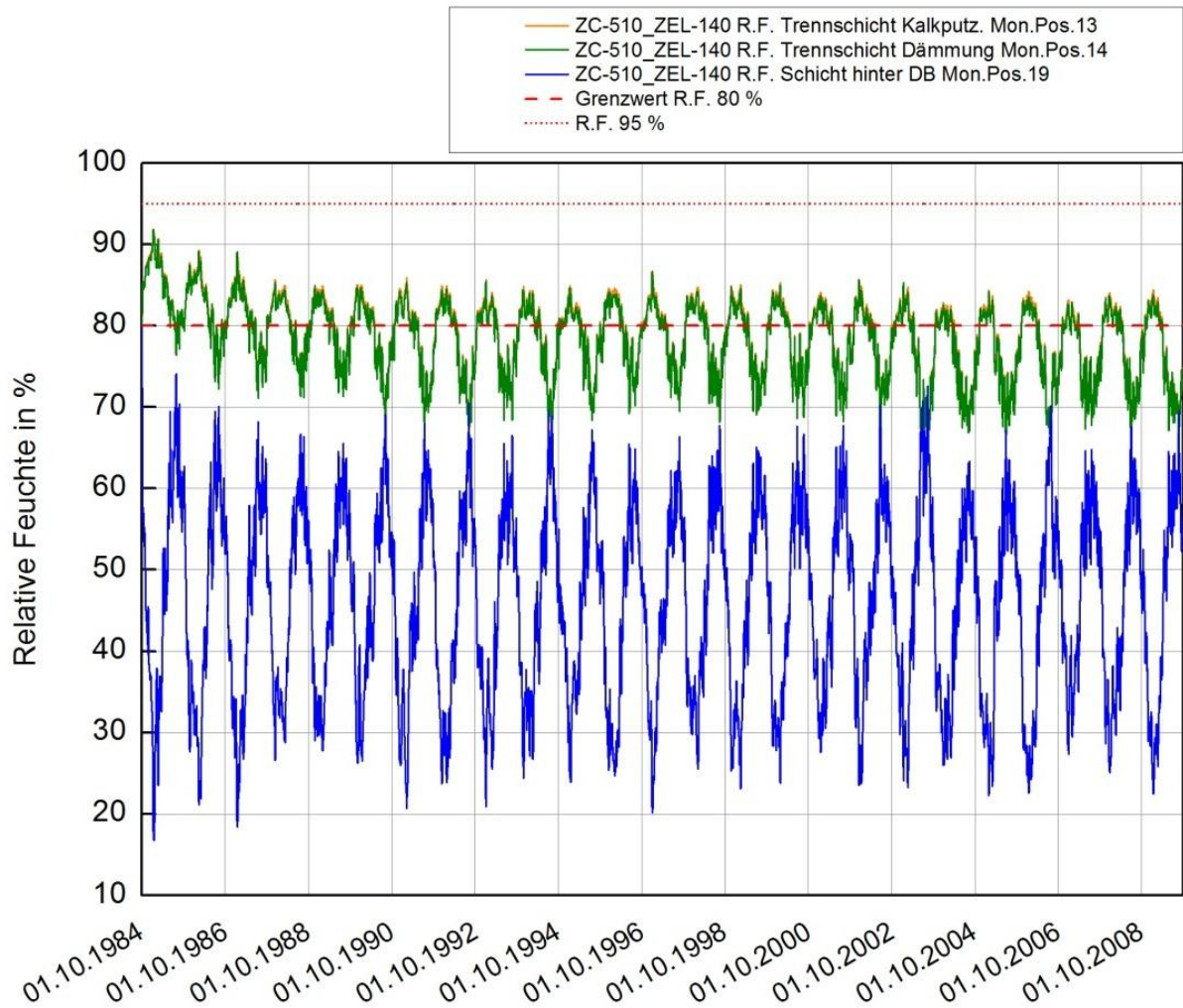
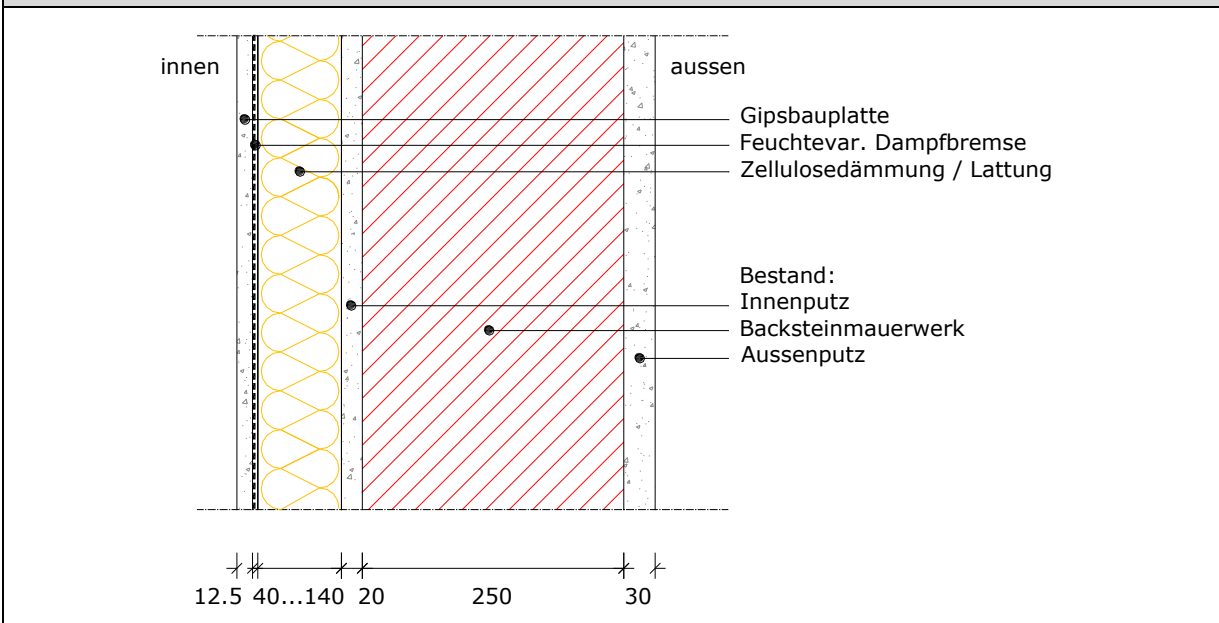


Abb. 52: Relative Feuchte der Variante Backstein ZC mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

4.3 IDS Zellulose (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 (Intello)	115	2500	2.4	-	-
Zellulose	50	2150	0.037	1.5	95
Kalkputz (Bestand)	1600	850	0.70	7.0	30
Backstein HWZ	1560	850	0.60	14.93	38
Kalkzementputz (Bestand)	1900	850	0.80	12.0	24

WÄRMESCHUTZ

Kenngrösse	Einheit	Dicke Innendämmung					
		Bestand	40 mm	80 mm	100 mm	120 mm	140 mm
Wärmedurchlasswiderstand R	m ² K/W	0.45	1.63	2.57	3.10	3.57	3.94
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	1.62	0.61	0.39	0.32	0.28	0.25
Bemerkung: Kennwerte inkl. Holzlattung der Unterkonstruktion in der Wärmedämmebene berechnet							

4.3.1 Zusammenfassung

Bei 140 mm Zelloosedämmung 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 $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ und einer Anfangsfeuchte von 80 % 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 140 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 Bauteilschicht

Der Wassergehalt in der Dämmschicht überschreitet bei einer Innendämmung mit 140 mm Dicke nicht den Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-% (siehe Abb. 53).

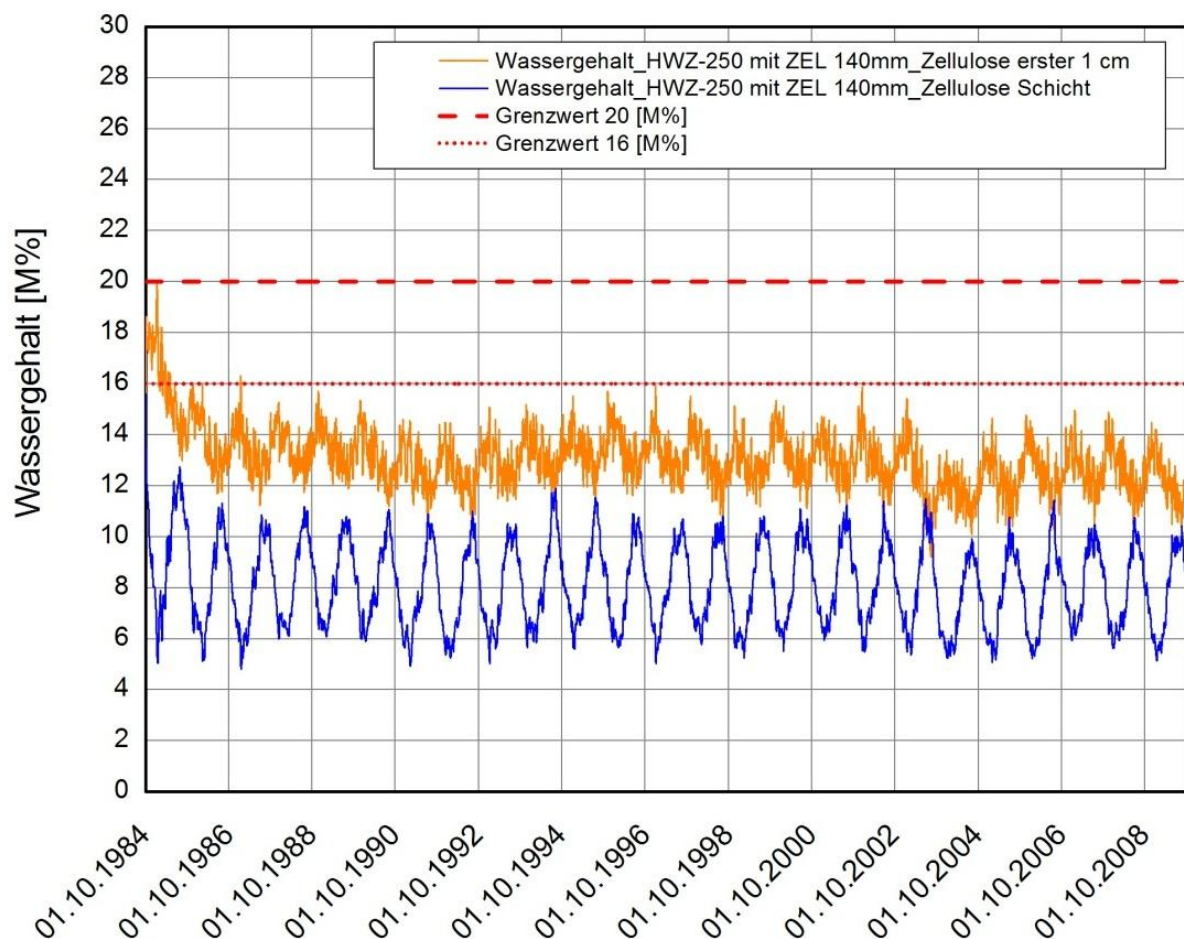


Abb. 53: Wassergehalt der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei einer Innendämmung mit 140 mm Dicke nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 54).

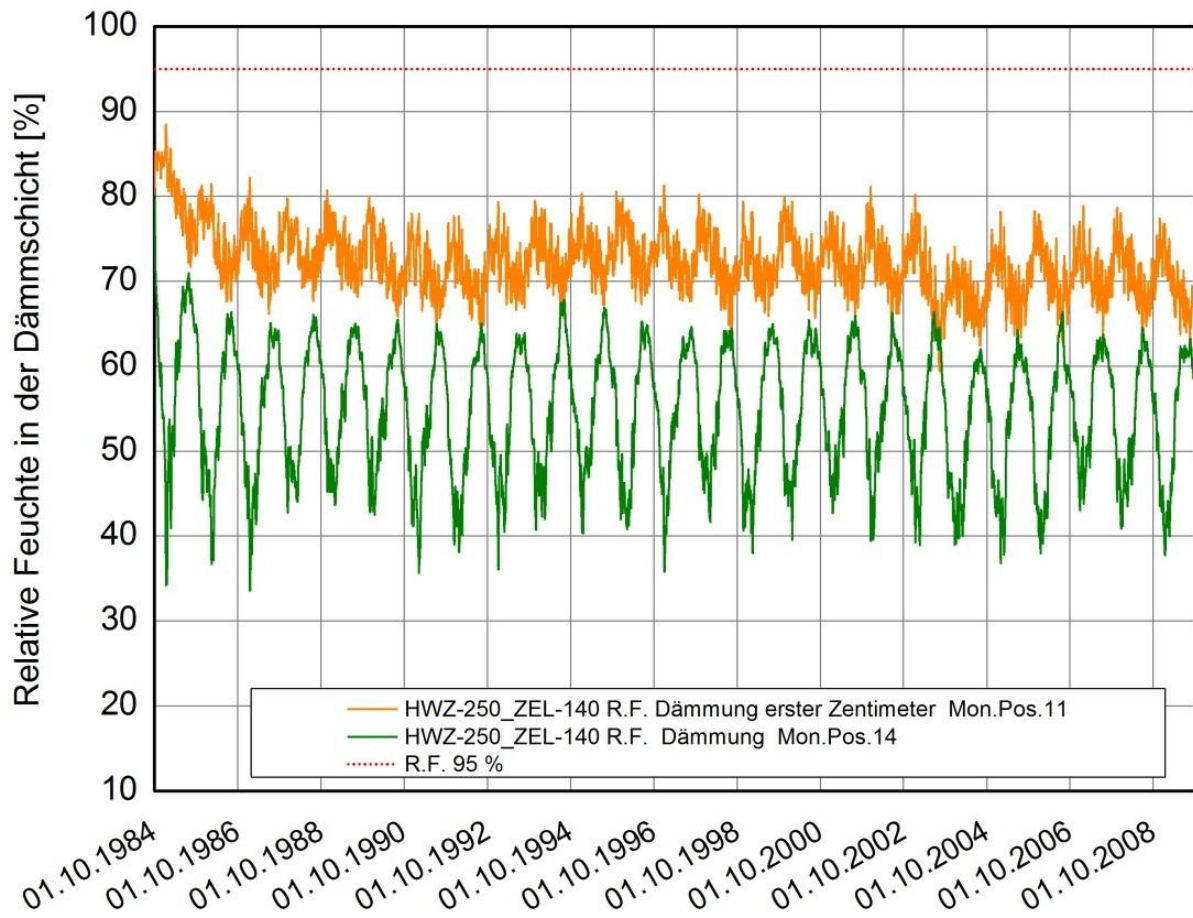


Abb. 54: Relative Feuchte in Dämmschicht der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aus-senputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 140 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte unter 80 % (siehe Abb. 55). Bei der Variante Backstein HWZ 250 mm mit 140 mm Zellsulosedämmung und feuchtevariabler Dampfbremse (Intello) mit Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ entsteht bei einer Auswertung mit WUFI BIO kein Schimmelpilzwachstum über 50 mm/Jahr bei Substratklasse 1.

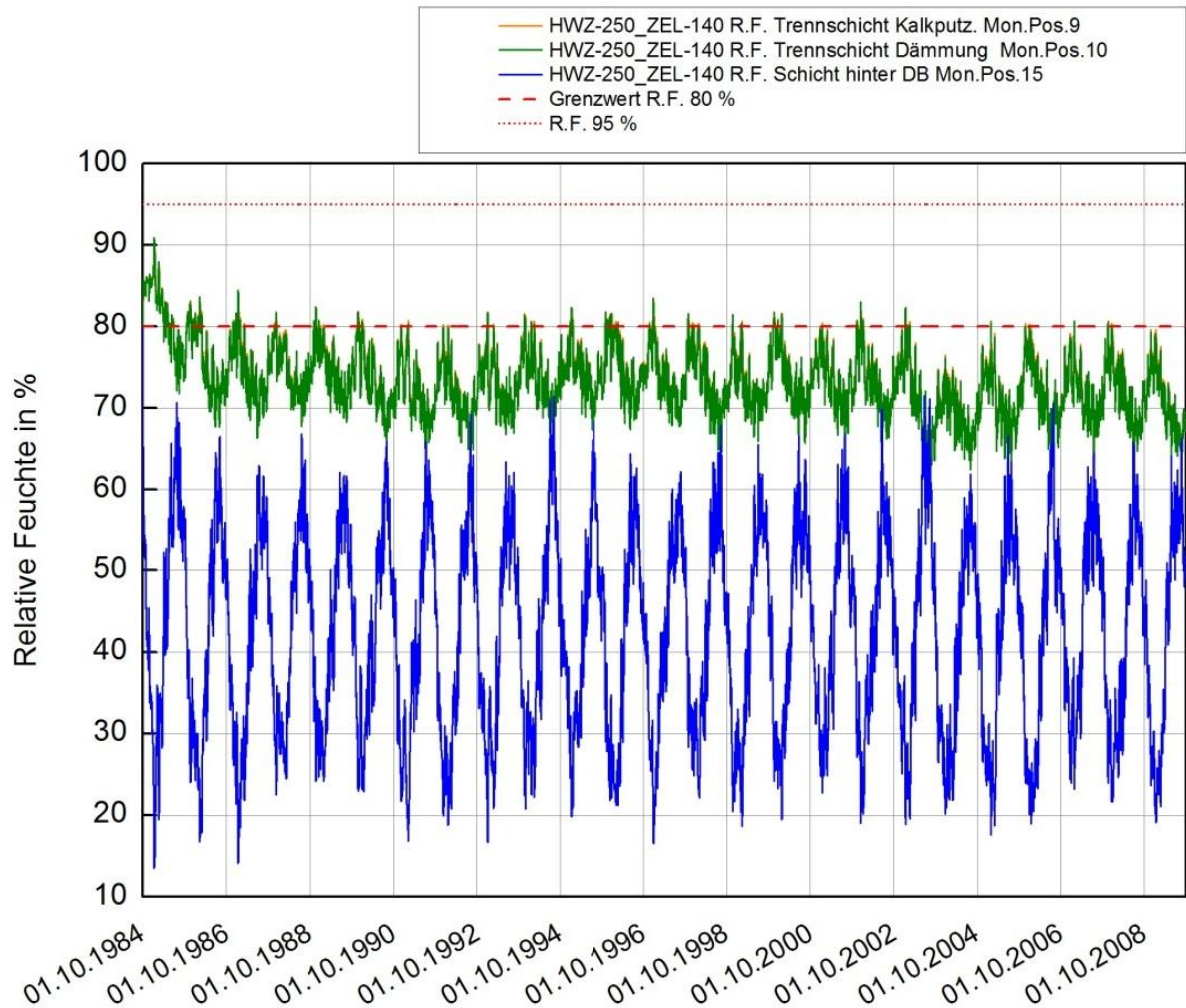
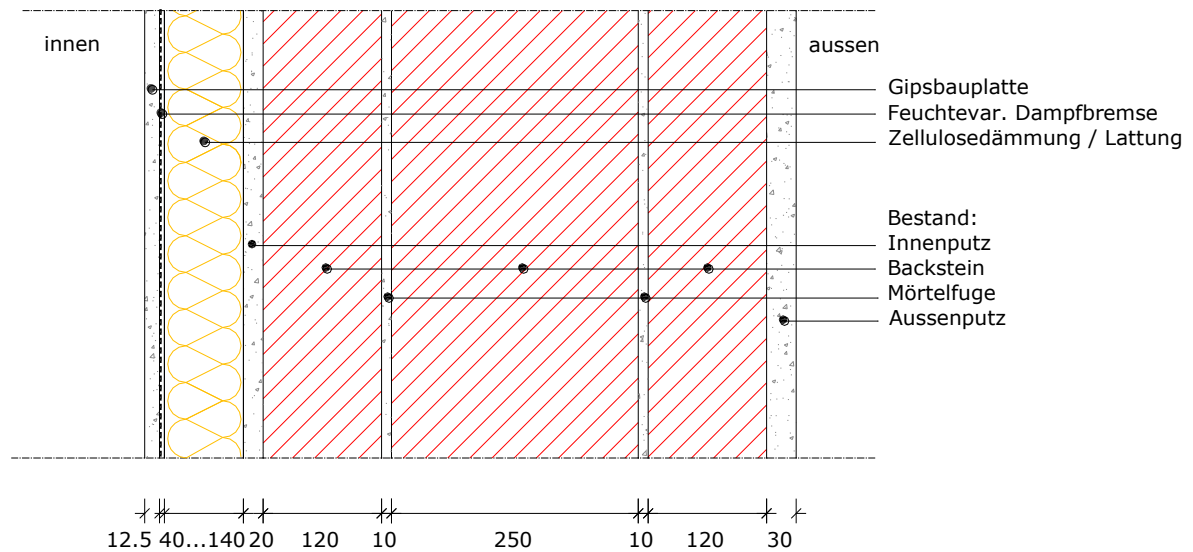


Abb. 55: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 250 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

4.4 IDS Zellulose (mit feuchtevar. DB) mit historischen 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 (Intello)	115	2500	2.4	-	-
Zellulose	50	2150	0.037	1.5	95
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	12.0	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	2.07	3.02	3.55	4.02	4.39
Wärmedurchgangskoeffizient U	W/m ² K	0.98	0.48	0.33	0.28	0.25	0.23

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

4.4.1 Zusammenfassung

Bei 140 mm Zelloosedämmung 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 $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ und einer Anfangsfeuchte von 80 % 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 140 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 Bauteilschicht

Der Wassergehalt in der Dämmschicht überschreitet bei einer Innendämmung mit 140 mm Dicke nicht den Grenzwert des Wassergehaltes von 20 M.-% (siehe Abb. 56).

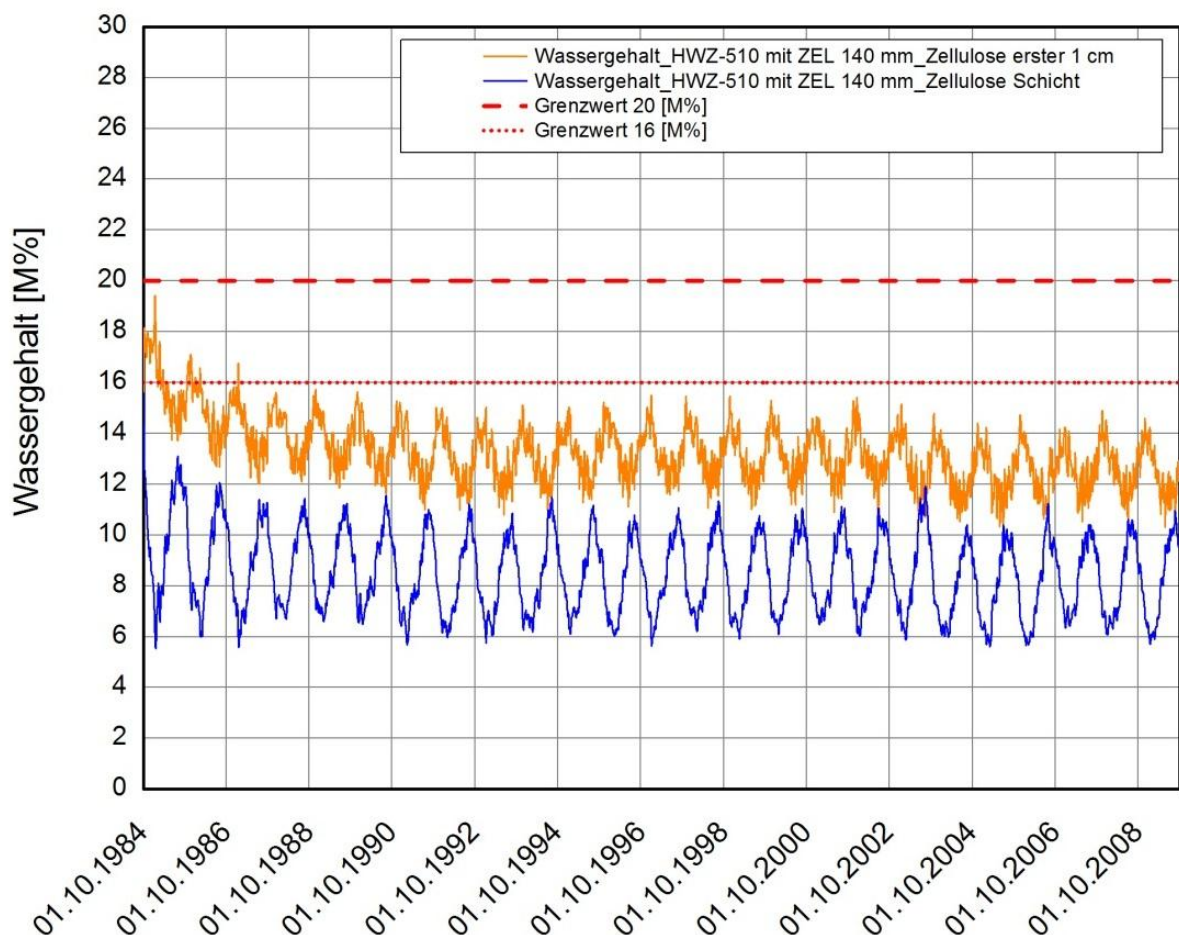


Abb. 56: Wassergehalt der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

d) Relative Feuchte in Bauteilschicht

Die relative Feuchte in der Dämmschicht überschreitet bei einer Innendämmung mit 140 mm Dicke nicht den Grenzwert von 95 % (siehe Abb. 57).

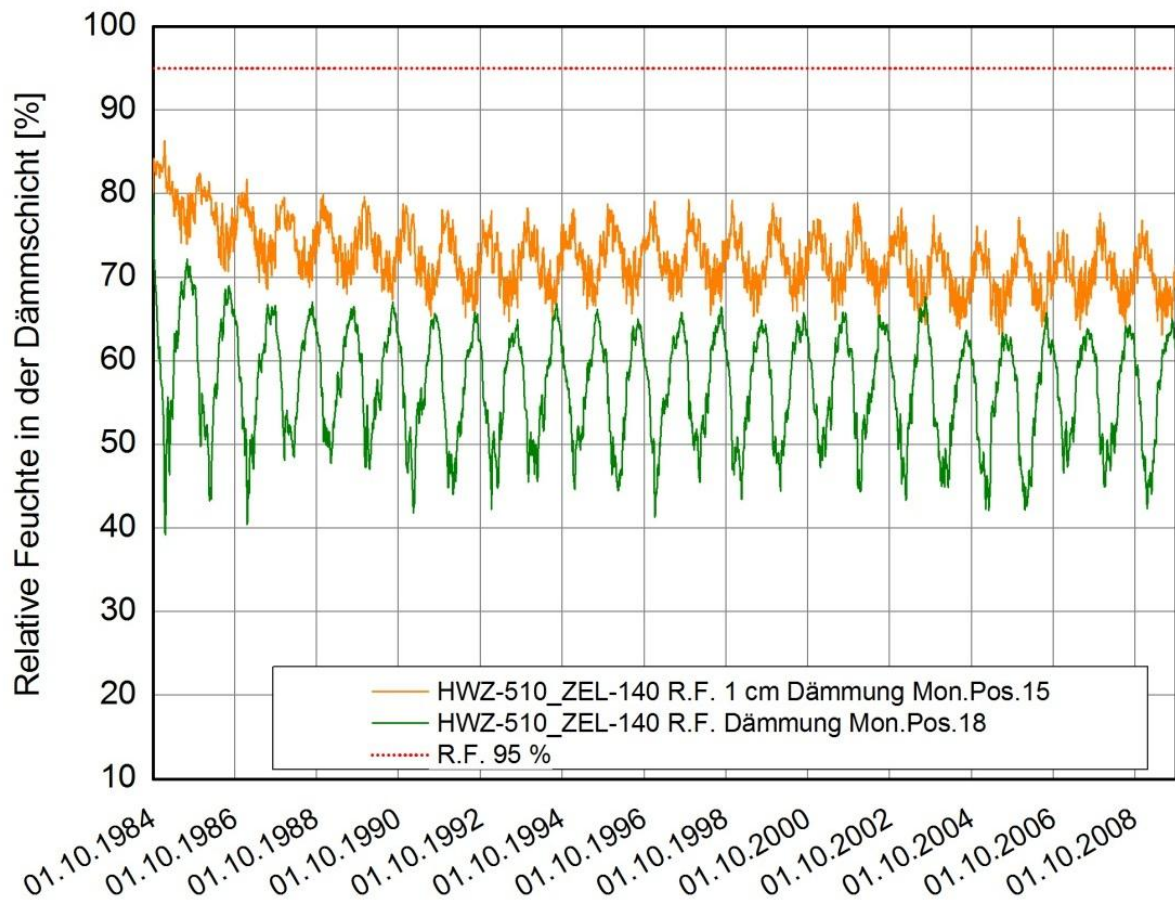


Abb. 57: Relative Feuchte in Dämmschicht der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 40 und 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aus-senputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)

e) Relative Feuchte in Trennschicht

Bei 140 mm Innendämmung schwankt die relative Feuchte unter 80 % (siehe Abb. 58). Bei der Variante Backstein HWZ 510 mm mit 140 mm Zellsulosedämmung und feuchtevariabler Dampfbremse (Intello) mit Wasseraufnahmekoeffizient des Aussenputzes von $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ entsteht bei einer Auswertung mit WUFI BIO kein Schimmelpilzwachstum über 50 mm/Jahr bei Substratklasse 1.

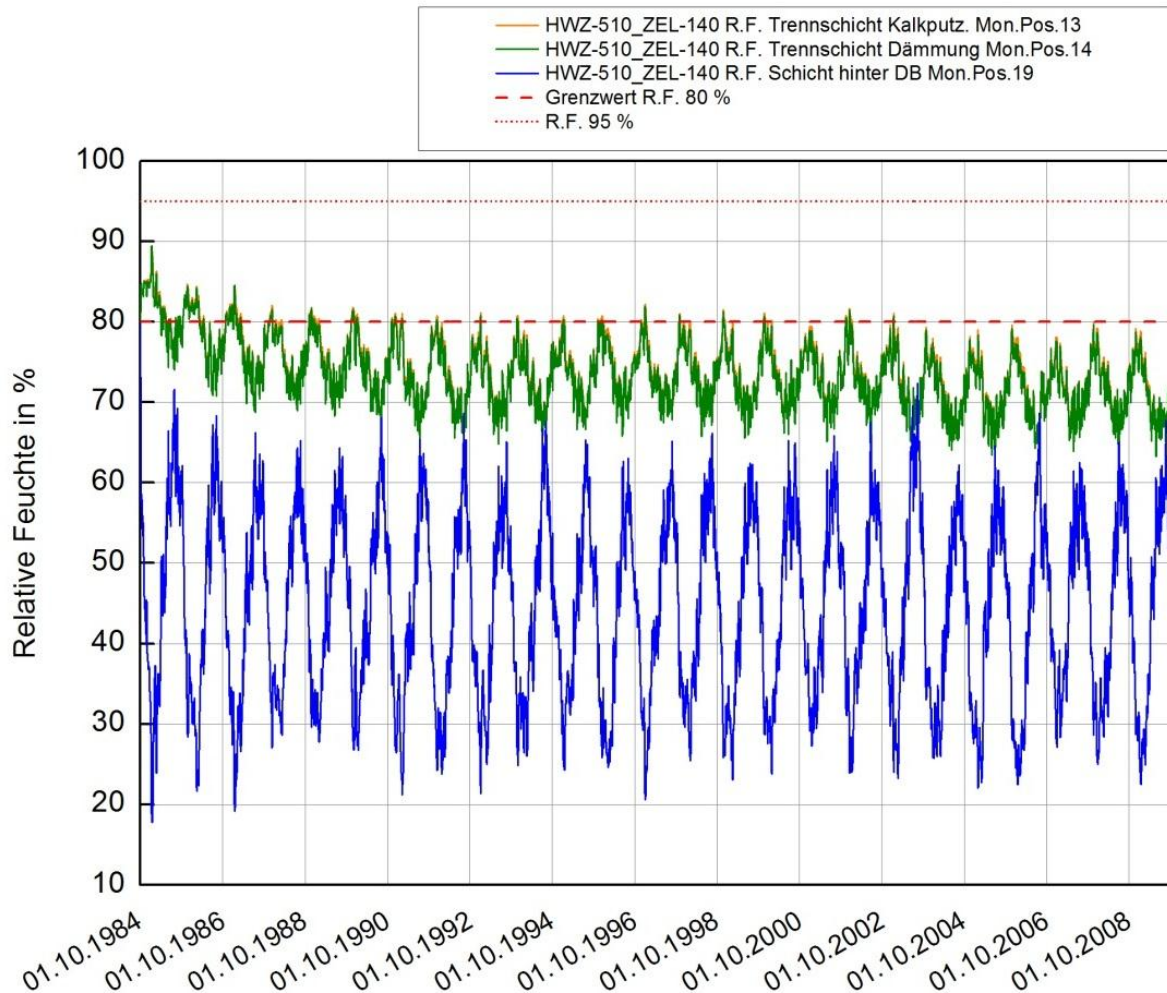


Abb. 58: Relative Feuchte der Variante Backstein HWZ mit 510 mm Backsteindicke und Innendämmung Zellulose mit einer Dicke von 140 mm (Wasseraufnahmekoeffizient Aussenputz $w = 0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$)