

WUFI®

Leitfaden zur Bewertung des Schimmelpilzrisikos mit WUFI®

Stand: Juli 2024

Leitfaden: Bewertung des Schimmelpilzrisikos

Inhalt:

Einführung

Schimmelpilzwachstum in und auf Bauteilen [Folie 3](#)

Einflussfaktoren auf das Schimmelpilzwachstum [Folie 4](#)

WUFI® Bio

Isophleten-Bewertung [Folie 6](#)

Modellspore zur Beurteilung des Feuchteverhaltens [Folie 9](#)

Vorgehensweise [Folie 10](#)

Hinweise und Anwendungsgrenzen [Folie 11](#)

Anwendung [Folie 12](#)

Beispiele [Folie 19](#)

Geneigtes Blechdach mit moderater Dampfbremse [Folie 22](#)

Geneigtes Blechdach mit feuchtevariabler Dampfbremse [Folie 40](#)

Einführung: Schimmelpilzwachstum in und auf Bauteilen

Schimmelpilzwachstum in bewohnten Gebäuden hat für die Bewohner u.a. folgende Auswirkungen:

- Ästhetische Beeinträchtigungen
- Hygienische Beeinträchtigungen
- Potentielle Gesundheitsgefährdung aufgrund der Produktion und Verbreitung von Schadstoffen



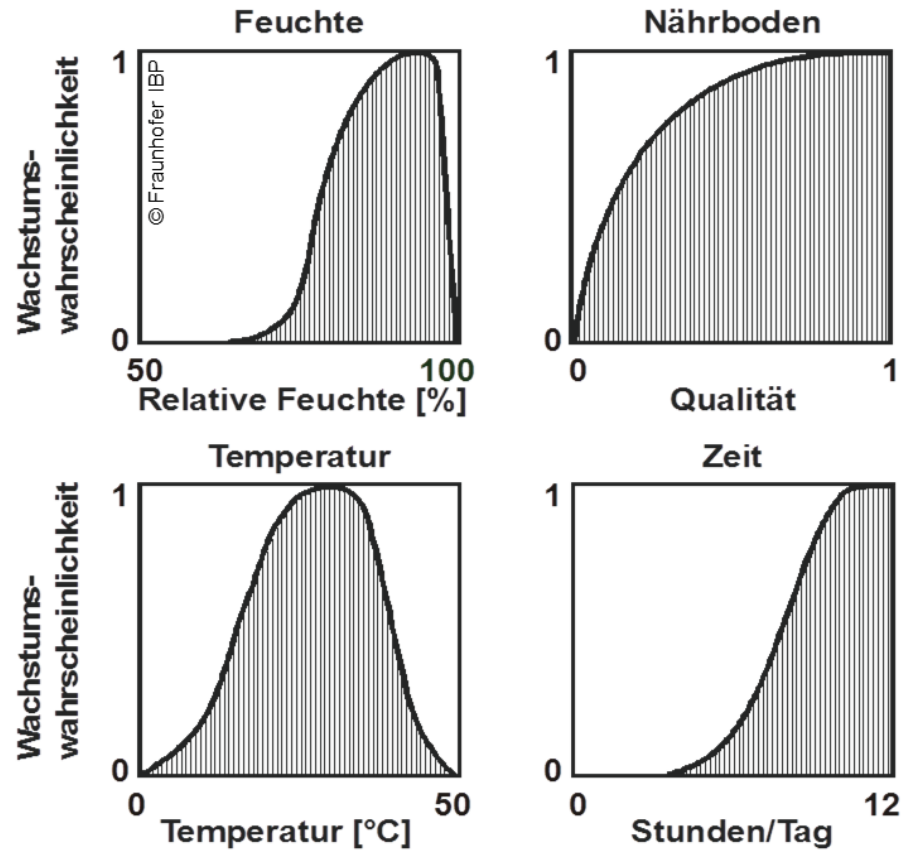
Einführung: Einflussfaktoren auf das Schimmelpilzwachstum

<u>Einflussfaktor</u>	<u>Realität</u>	<u>Berücksichtigung</u>
Feuchte	wichtigster Einfluss	<p>Können vom Planer durch Konstruktionsaufbau und Materialwahl bzw. durch Berücksichtigung der realen Nutzung beeinflusst bzw. erfasst werden.</p> <p>(Diese Faktoren werden auch in WUFI® Bio berücksichtigt)</p>
Temperatur	starker Einfluss	
Zeit	starker Einfluss	
Substrat	Nährstoffe aus Substrat und Verschmutzung	
pH-Wert	wird von den Pilzen selbst beeinflusst – schwer vorherzusagen	<p>Meist schwer vorherzusagen - sollten im Zweifel als günstig angenommen werden.</p> <p>(Diese Faktoren können in WUFI® Bio nicht berücksichtigt werden)</p>
Licht	Wachstum auch ohne Licht möglich	
Sauerstoff	normalerweise vorhanden	
Anwesenheit von Sporen	normalerweise überall vorhanden	
Oberflächenrauigkeit	Leichtere Verschmutzung	
Biologische Wechselwirkungen	unvermeidbar	

Einführung: Einflussfaktoren auf das Schimmelpilzwachstum

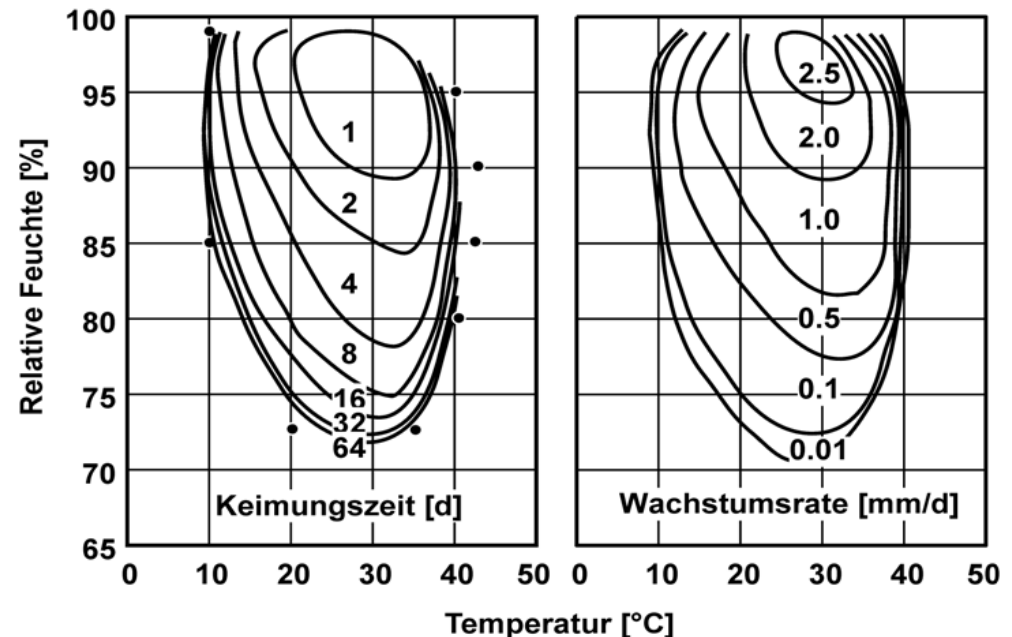
Wachstumsvoraussetzungen von Schimmelpilzen:

Reduktion auf die wesentlichen Einflussfaktoren Temperatur und Feuchte, deren kombinierte Einwirkdauer sowie die Substratqualität.



Keimungs- und Wachstumsbedingungen einzelner Schimmel-Arten:

- Temperatur-/Feuchte-Diagramme, die die Bereiche abgrenzen, in denen die Sporen eine bestimmte Zeit brauchen, bis sie ausgekeimt sind. Die Linien gleicher Keimungszeit werden Isoplethen genannt.
- Isoplethensysteme für Keimungszeit und Wachstumsrate am Beispiel des *Aspergillus restrictus* (Smith*):

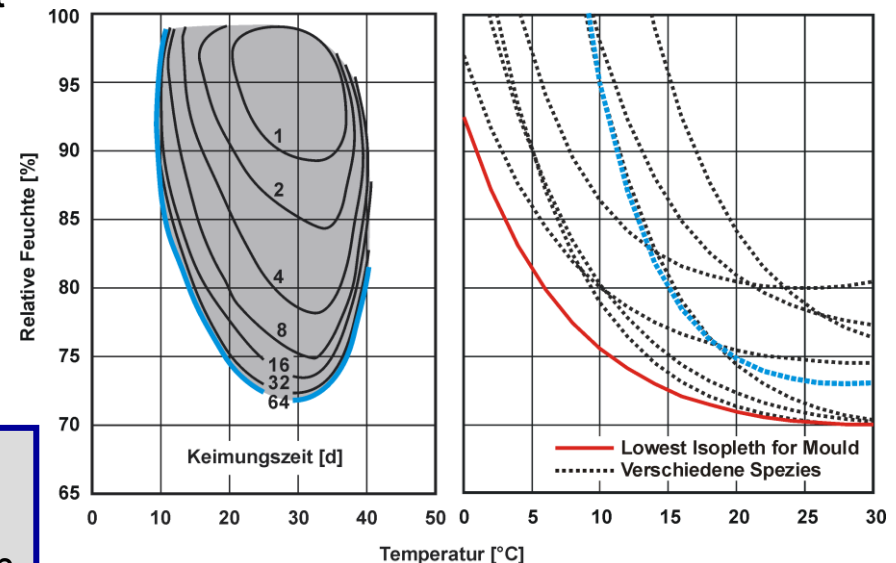


Quelle: Smith, S. L.; Hill, S. T.: Influence of temperature and water activity on germination and growth of *Aspergillus restrictus* and *Aspergillus versicolor*. Transactions of the British Mycological Society Vol. 79 (1982), H. 3, S. 558 - 560.

Zusammenfassung der minimalen Wachstumsbedingungen in LIM-Kurven:

- Die unterste Keimungsisoplethe (linkes Bild - blau) trennt den Bereich, in dem die Umgebungsbedingungen ein Auskeimen der Spore gestatten, von dem Bereich, in dem auch langfristig keine Keimung möglich ist.
- Für alle baupraktisch relevanten Schimmelpilzarten wurden die jeweils untersten Keimungsisoplethen im rechten Bild zusammengefasst und eine allgemein gültige minimale Keimungsisoplethe LIM (Lowest Isopleth for Mould) ermittelt (rechtes Bild - rot)

Substrat:
Optimales
Nährmedium



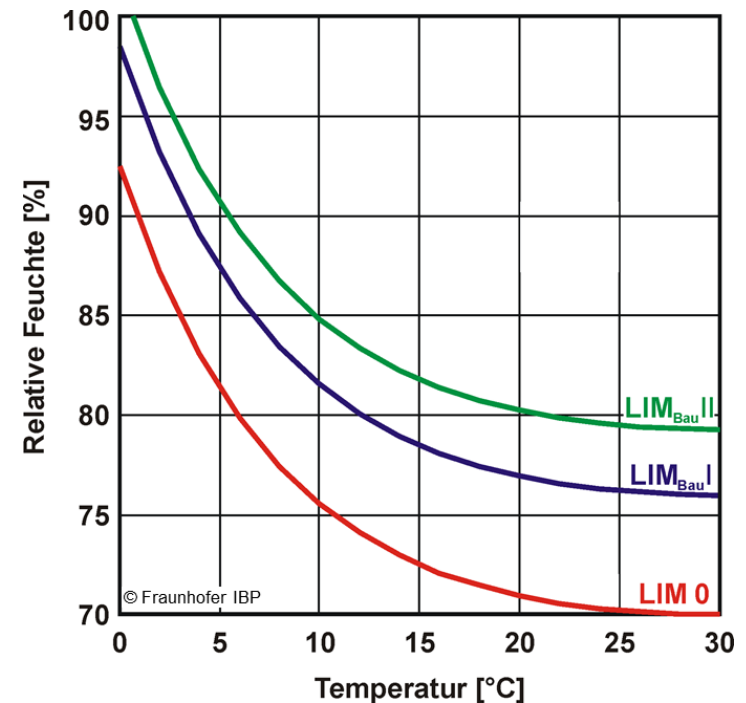
Anpassung der LIM-Kurven vom optimalen Nährboden auf Baumaterialien:

- Experimentelle Bestimmung der Isoplethensysteme bei Kultivierung der Pilze auf einem Nährboden (biologisches Vollmedium).
- In Gebäuden stehen i.d.R. nur Substrate mit geringerem Nährstoffangebot zur Verfügung → Berücksichtigung der Nährstoffqualität durch Verwendung von zwei baupraktisch relevanten Substratklassen:

II biologisch kaum verwertbare Substrate
(z.B. mineralische Baustoffe)

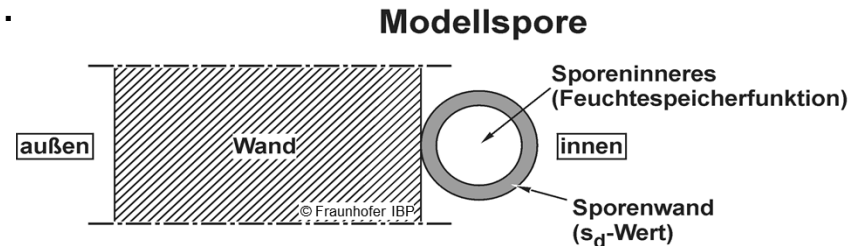
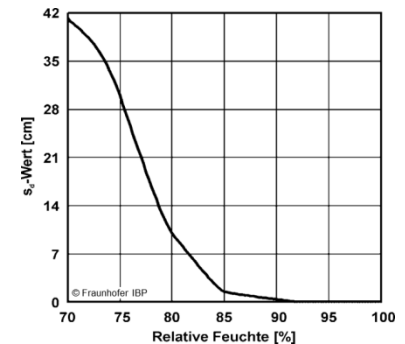
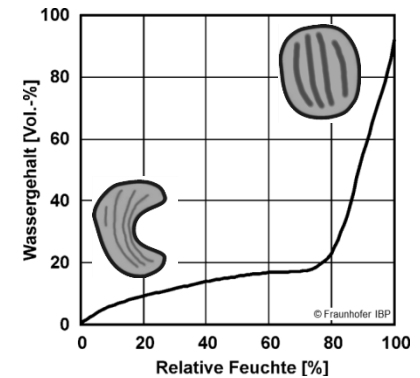
I biologisch gut verwertbare Substrate
(z.B. Tapeten, Verschmutzung)

0 optimales Substrat
(biologische Vollmedien)



Berechnung einer generischen Modell-Schimmel-Spore:

- Eine Pilzspore besitzt ein gewisses osmotisches Potential, mit dessen Hilfe sie Wasser aus der Umgebung aufnehmen kann → dieses Potential wird rechnerisch durch eine Feuchtespeicherfunktion beschrieben.
- Die Sporenwand weist einen feuchteabhängigen Diffusionswiderstand auf, welcher die Feuchteaufnahme bzw. -abgabe verzögert.
- Je nach Umgebungstemperatur und -feuchte ändert sich der Wassergehalt in der Spore → bei Erreichen des temperaturabhängigen kritischen Grenzwassergehalts keimt die Spore aus.



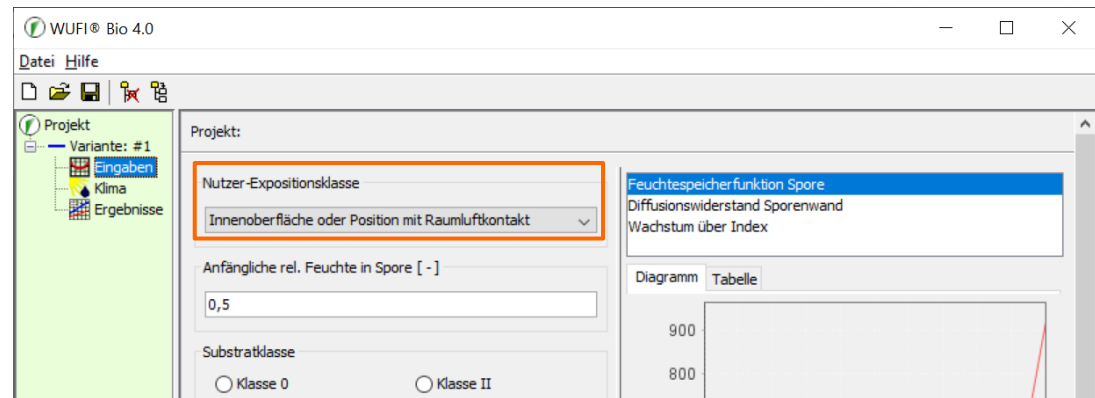
1. Vergleich der berechneten Verhältnisse mit den LIM-Kurven zeigt, ob Temperatur- und Feuchtekombinationen auftreten, bei denen langfristig mit einer Auskeimung der Spore zu rechnen wäre.
2. Falls ja, Auswertung der Position mit WUFI® Bio und Berechnung des temperaturabhängigen Wassergehalts in der Modellspore.
3. Wird der Grenzwassergehalt in der Spore überschritten, keimt die Spore aus und Myzelwachstum beginnt.
4. Das zu erwartende Wachstum wird dann entsprechend den Wachstumsisoplethen angegeben und aufsummiert.
5. Ein Ampelschema hilft bei der Bewertung des Risikos.

Download-Link: [WUFI® Zusatzprogramme | WUFI \(de\)](#)

- Das Verfahren stellt eine Bewertung des Risikos für Schimmelpilzwachstum dar, jedoch nicht unbedingt eine in allen Punkten realistische Simulation der Wachstumsvorgängen.
- Tendenziell wird etwas früher Schimmelpilzbildung vorhergesagt, als es in Realität der Fall sein wird (sichere Seite)!
- Es wird angenommen, dass in Perioden, in denen die Grenzwassergehalt wieder unterschritten wird, die Pilze das Wachstum einstellen, aber nicht absterben.
- Das biohygrothermische Modell wurde für die Vorhersage von Schimmelpilzwachstum in Räumen konzipiert. Bei davon abweichenden Randbedingungen (z.B. in der Konstruktion oder an Außenoberflächen) muss im Einzelfall überprüft werden, ob das Modell verwendet werden kann. Ggf. können andere Effekte das Wachstum behindern: Erwärmung durch Sonneneinstrahlung, Abtöten der Pilze durch UV-Strahlung oder Abwaschen durch Regen. Vergleichende Bewertungen können allerdings auch an diesen Positionen durchgeführt werden.

Eingabedaten:

- Angabe der Nutzer-Expositionsklasse. Diese gibt an, inwieweit der Nutzer in Kontakt mit der zu bewertenden Position des Bauteils (bzw. mit dem Schimmel oder der Spore) kommt.
- Folgende drei Klassen stehen zur Verfügung:
 - Innenoberfläche oder Position mit Raumluftkontakt
(z.B. *Innenwandoberfläche, in der Installationsebene...*)
 - Oberfläche im Bauteilinneren ohne Raumluftkontakt
(z.B. *ungenutzter Dachraum, in der außenseitigen Belüftungsebene einer Wand...*)
 - Kein Kontakt zum Nutzer
(z.B. *Perimeterdämmung, Hohlräume bei mehrschaligem, verputzten Mauerwerk...*)



Eingabedaten:

- Vorgabe der Anfangsfeuchte in der simulierten Spore. Diese beeinflusst nur den anfänglichen Verlauf der Simulation, nach einer Weile wird der Wassergehalt in der Spore von den Umgebungsbedingungen bestimmt. (Empfehlung: 0,5)
- Angabe der Substratklasse:
 - Klasse 0
 - Klasse I
 - Klasse II
 - Klasse K(Wachstumsanforderungen für gesundheitskritische Pilze)

The screenshot displays the WUFI Bio 4.0 software interface. The main window is titled 'WUFI® Bio 4.0' and contains a project tree on the left with 'Projekt' expanded to 'Variante: #1', which includes 'Eingaben', 'Klima', and 'Ergebnisse'. The main area is divided into several sections:

- Projekt:** A dropdown menu for 'Nutzer-Expositionsklasse' is set to 'Innenoberfläche oder Position mit Raumlufkontakt'.
- Anfängliche rel. Feuchte in Spore [-]:** A text input field containing '0,5'.
- Substratklasse:** Radio buttons for 'Klasse 0', 'Klasse I' (selected), 'Klasse II', and 'Klasse K'.
- Feuchtespeicherfunktion Spore:** A section with 'Diffusionswiderstand Sporenwand' and 'Wachstum über Index'.
- Diagramm:** A graph showing 'Relative Feuchte [-]' on the y-axis (0,0 to 1,0) and 'Temperatur [°C]' on the x-axis (0 to 60). The curve shows a minimum relative humidity of approximately 0,75 at 30°C.
- Tabelle:** A graph showing 'Wassergehalt [kg/m³]' on the y-axis (0 to 900) and 'Relative Feuchte [-]' on the x-axis (0,0 to 1,0). The curve shows an exponential increase in water content as relative humidity approaches 1,0.

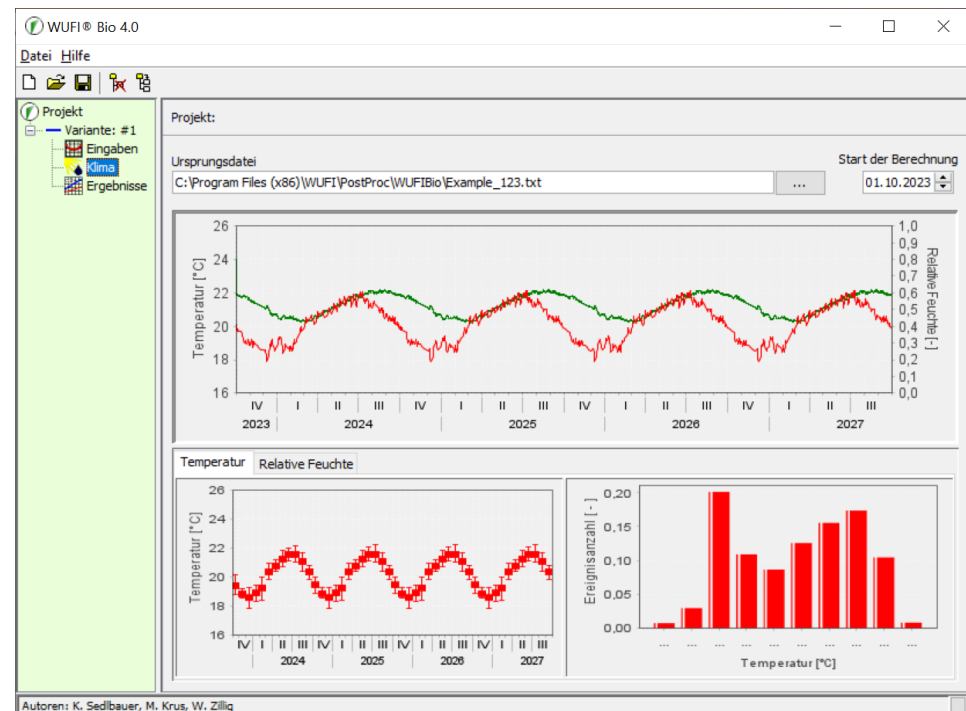
At the bottom of the window, the authors are listed: 'Autoren: K. Sedlbauer, M. Krus, W. Zillig'.

Eingabedaten:

- Angabe der Klimabedingungen, denen die Modellspore ausgesetzt ist.
- Beim Öffnen von WUFI® Bio aus WUFI® oder WUFI® Film, werden die Klimabedingungen automatisch an WUFI® Bio übergeben und angezeigt.

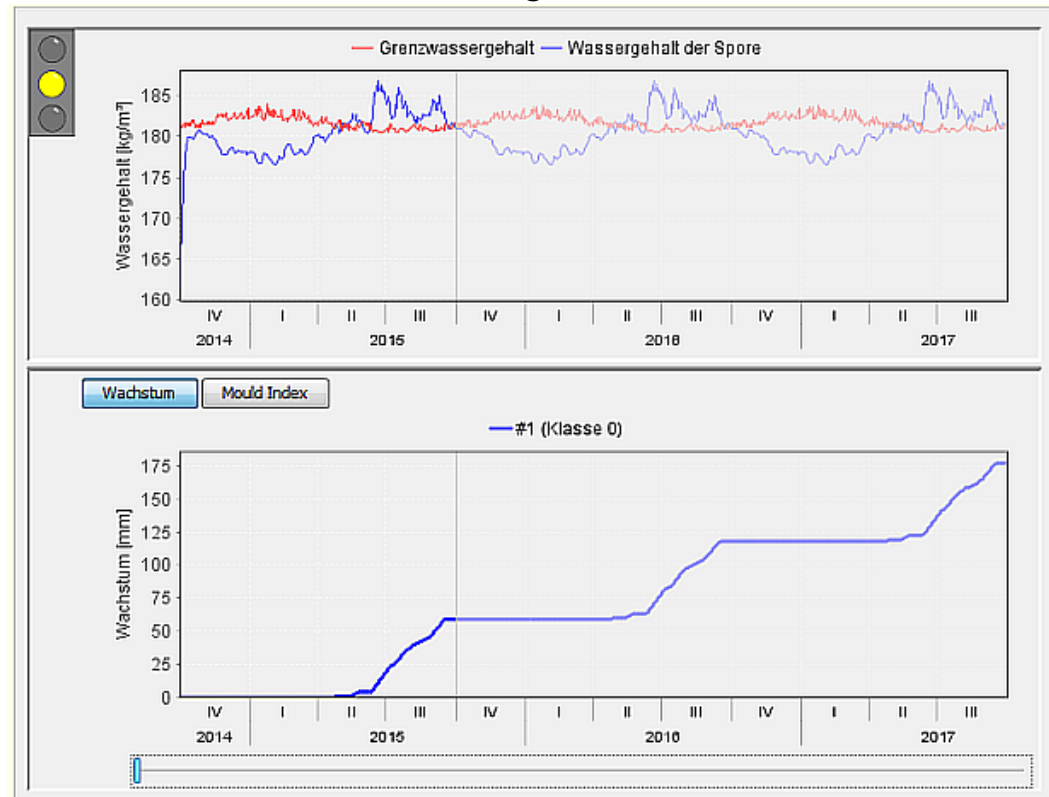
Hinweis: Wird WUFI® Bio direkt aus WUFI® geöffnet, werden nur die Klimabedingungen der Innenoberfläche gezeigt. Um andere Positionen zu bewerten muss WUFI® Bio über den WUFI® Film geöffnet werden. Hier kann jedes Gitterelement ausgewählt werden.

- Andernfalls können manuell Klimabedingungen (z.B. Messdaten) importiert werden.



Bewertung der Ergebnisse:

- Oberes Diagramm: berechneter Verlauf des Wassergehalts in der Spore (blau) und Verlauf des jeweiligen Grenzwassergehalts (rot).
- Unteres Diagramm: das nach einer eventuellen Keimung zu erwartende Myzelwachstum
- Wachstumsrate:
Beschreibt, um wie viele Millimeter sich der Rand eines fleckenförmigen Befalls pro Tag nach außen schiebt.
Gesamtwachstum entspricht dann dem Radius eines Schimmelflecks.
- Alternativ:
Bewertungsergebnis als „Mould Index“







Bewertung der Ergebnisse:

- Der „Mould Index“ nach Viitanen gibt in einer sechsstufigen halbquantitativen Bewertungsskala Intensität und Ausbreitung des Bewuchses an.
- Da der „Mould Index“ anschaulicher ist, kann das Myzelwachstum in [mm] auch in den „Mould Index“ umgerechnet werden.

Index	Beschreibung
0	kein Wachstum
1	ein wenig Wachstum unter dem Mikroskop erkennbar
2	mäßiges Wachstum unter Mikroskop erkennbar, Bedeckung mehr als 10%
3	ein wenig mit bloßem Auge sichtbares Wachstum
4	sichtbares Wachstum, Bedeckung mehr als 10%
5	Bedeckung mehr als 50%
6	Bedeckung mehr als 100%

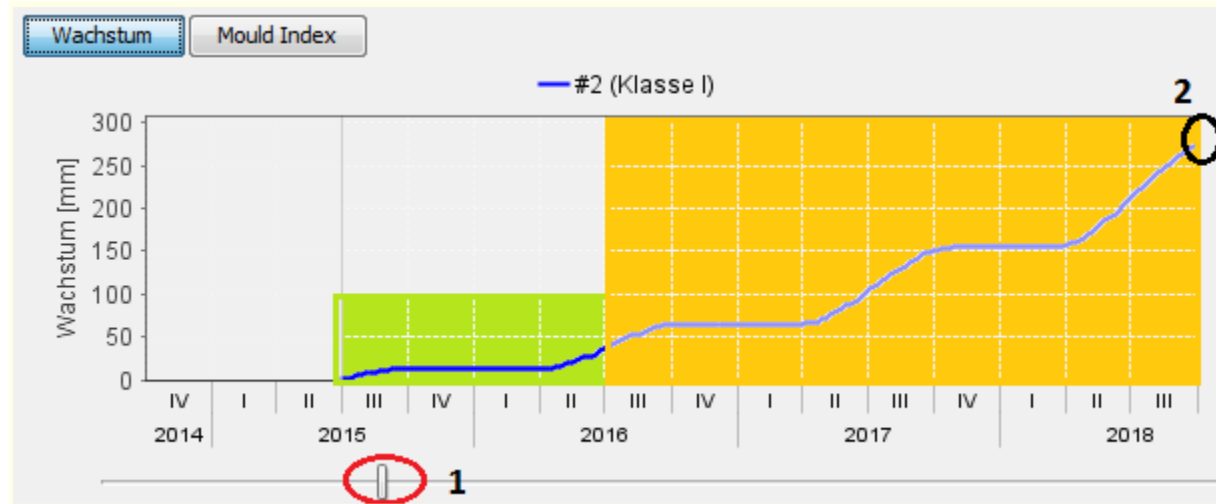
Bewertung der Ergebnisse:

- Das Ampelschema bietet eine Richtlinie zur Bewertung des Schimmelpilzrisikos.

		Nutzer-Expositionsklasse		
		Innenoberfläche oder Position mit Raumluftkontakt	Oberfläche im Bauteilinneren ohne Raumluftkontakt	Kein Kontakt zum Nutzer
	Schimmelwachstum (w_s)	< 129 mm/Jahr	< 176 mm/Jahr	< 239 mm/Jahr
	Mould-Index (MI)	≤ 1	≤ 2	≤ 3
	Beurteilung	Im Allgemeinen akzeptabel.		
	Schimmelwachstum (w_s)	$129 < w_s \leq 176$ mm/Jahr	$176 < w_s \leq 239$ mm/Jahr	> 239 mm/Jahr
	Mould-Index (MI)	$1 < MI \leq 2$	$2 < MI \leq 3$	> 3
	Beurteilung	Weitere Kriterien oder Untersuchungen sind für eine abschließende Bewertung nötig.		
	Schimmelwachstum (w_s)	> 176 mm/Jahr	> 239 mm/Jahr	
	Mould-Index (MI)	> 2	> 3	
	Beurteilung	Im Allgemeinen nicht akzeptabel.		
		Berechnungsperiode ist weniger als ein Jahr. Keine Bewertung möglich.		

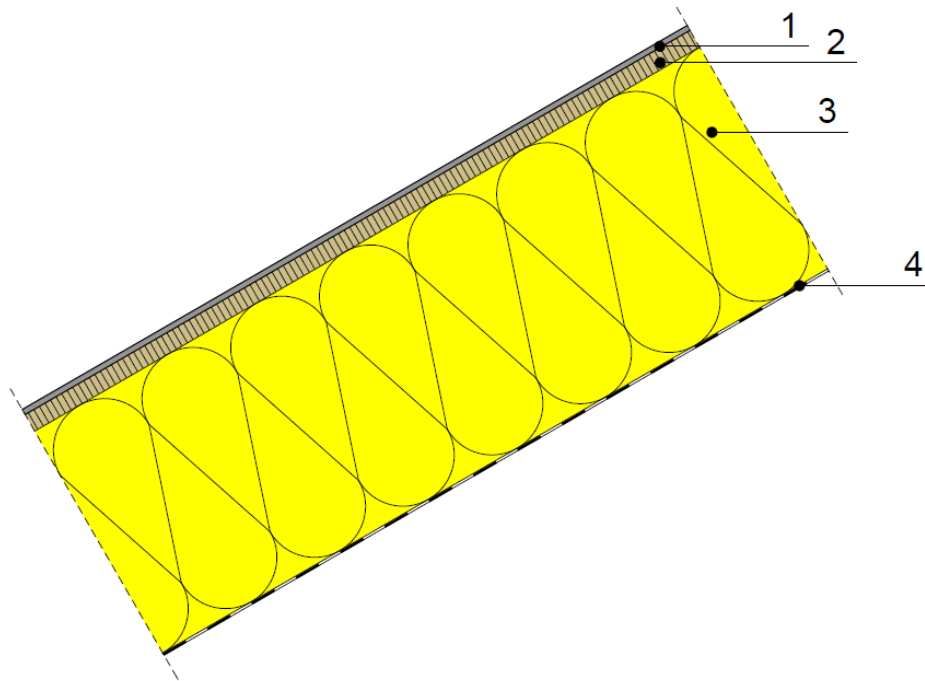
Bewertung der Ergebnisse:

- Der Auswertezeitraum beträgt jeweils ein Jahr (grüner Bereich) und kann mit dem Schieberegler (1) innerhalb des Berechnungszeitraums verschoben werden.
- Das Wachstum im darauffolgenden Zeitraum (oranger Bereich) ist eine Prognose basierend auf dem ersten betrachteten Jahr.
- Wird der Schieberegler (1) verschoben, ändern sich sowohl der Anfangszeitpunkt der Wachstumsbetrachtung als auch das maximale Wachstum am Ende des Betrachtungszeitraums (2).



Beispiele: Problembeschreibung

Am Beispiel eines Steildaches mit Blecheindeckung und zwei unterschiedlichen Dampfbremsen an der Innenseite wird die Vorgehensweise bei der Beurteilung des Schimmelpilzrisikos erläutert.



- 1 Blecheindeckung
- 2 Holzschalung
- 3 Dämmung
- 4 Dampfbremse

Hinweis: Es wird angenommen, dass die Holzschalung eine erhöhte Anfangsfeuchte aufweist!

Aufbau (von außen nach innen):

- Zinkblecheindeckung ($s_d = 50 \text{ m}$)
- Holzschalung (Weichholz) 0,02 m
- Mineralfaser (Wärmeleit.: 0,04 W/mK) 0,14 m
- Variante 1: Natronkraftpapier ($s_d = 3 \text{ m}$)
Variante 2: PA-Folie (feuchtevariabel)

Randbedingungen:

- Steildach (50° nach Norden geneigt)
- Zinkblecheindeckung ($a = 0,6$; $\varepsilon = 0,4$)
- Außenklima: Holzkirchen
- Innenklima: Bemessungsfeuchtelast nach DIN 4108-3 (bzw. EN 15026)
- Luftdichtheit der Gebäudehülle: $q_{50} = 3 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{h}$
- Höhe der Luftsäule: 5 m
- Anfangsfeuchte in der Holzschalung: 25 M.-%

Variante 1: Bauteileingabe

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

**Variante 1:
Natronkraftpapier**

WUFI Pro 6.7
Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt
Variante: 1 Zinkblech mit Natronk...
Bauteil
Aufbau/Monitorpositionen
Orientierung
Oberflächenübergangskoeff.
Anfangsbedingungen
Steuerung
Klima

Variante: Zinkblech mit Natronkraftpapier
Aufbau/Monitorpositionen | Orientierung/Neigung/Höhe | Oberflächenübergangskoeff. | Anfangsbedingungen

Schichtname: Natronkraftpapier | Dicke [m]: 0,001

Außen (linke Seite): 0,02 | Innen (rechte Seite): 0,001

Materialdaten
Quellen, Senken
Neue Schicht
Duplizieren
Löschen

Bearbeiten Aufbau
 Bild
 Tabelle

Zuordnung aus Datenbanken
Materialdatenbank
Konstruktionsdatenbank

Gitteraufbau
Automatisch (II)
100 | Fein
Aut. Unterteilung in M...

Gesamtdicke: Dicke: 0,161 m
Wärmeschutzeigenschaften
Wärmedurchlasswiderstand: 3,69 (m²K)/W
U-Wert: 0,258 W/(m²K)

Einheiten: SI | Keine Rechenergebnisse vorhanden.

**Dachaufbau ohne Zinkblecheindeckung eingeben
ggf. Schichtdicken anpassen**

Variante 1: Berücksichtigung der Infiltrationsfeuchte

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

Berücksichtigung einer Infiltrationsquelle in der Holzschalung nach DIN 68800 bzw. EN 15026.

The screenshot displays the WUFI Pro 6.7 software interface. The main window shows a cross-section of a building component with a yellow layer (Weichholz) and an orange layer (Zinkblech mit Natronkraftpapier). A green box highlights the yellow layer, with the text "Bauteilschicht markieren" overlaid. The "Quellen und Senken" (Sources and Sinks) dialog box is open, showing the "Hygrothermische Quellen" (Hygrothermal Sources) section. The "Schicht/Materialname" (Layer/Material Name) is set to "Weichholz". The "Neue Feuchtequelle..." (New Moisture Source...) button is highlighted with a green box, with the text "Neue Feuchtequelle" overlaid. The dialog box also includes buttons for "Neue Wärmequelle..." (New Heat Source...), "Neue Luftwechselquelle..." (New Air Exchange Source...), "Bearbeiten..." (Edit...), and "Löschen" (Delete). The "OK", "Abbrechen" (Cancel), and "Hilfe" (Help) buttons are at the bottom.

WUFI Pro 6.7
Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?
Projekt
Variante: 1 Zinkblech mit Natronkraftpapier
Bauteil
Aufbau/Monitorpositionen
Orientierung
Oberflächenübergangskoeff.
Anfangsbedingungen
Steuerung
Klima
Variante: Zinkblech mit Natronkraftpapier
Aufbau/Monitorpositionen Orientierung/Neigung/Höhe Oberflächenübergangskoeff. Anfangsbedingungen
Schichtname Weichholz Dicke [m] 0,02
Materialdaten
Quellen, Senken
Neue Schicht
Duplizieren
Löschen
Bearbeiten Aufbau
Bild
Tabelle
Bauteilschicht markieren
Zuordnung aus Datenbanken
Materialdatenbank
Konstruktionsdatenbank
Gitteraufbau
Automatisch (I)
100 Fein
Aut. Unterteilung in Manuelle kopieren
Gesamtdicke 0,161 m
Wärmeschutzigenschaften
Wärmedurchlasswiderstand: 3,69 (m² K/W) U-Weit 0,258 W/(m² K)
Einheiten: SI Keine Rechenergebnisse vorhanden.
Hygrothermische Quellen
Schicht/Materialname Weichholz
Hygrothermische Quellen
Nr. Typ Bezeichnung
Neue Wärmequelle ...
Neue Feuchtequelle ...
Neue Luftwechselquelle ...
Bearbeiten...
Löschen
OK Abbrechen Hilfe

Variante 1: Berücksichtigung der Infiltrationsfeuchte

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

Feuchtequelle in den inneren 5 mm der Holzschalung.

Feuchtequelle

Bezeichnung Infiltrationsquelle **Innere 5 mm der Holzschalung**

Verteilungsbereich

- Ein Element
- Mehrere Elemente
- Ganze Schicht

Quellentyp

- instationär aus Datei
- Anteil der Regenbelastung
- Luftinfiltrationsmodell IBP
- konstante monatliche Feuchtelast

Begrenzung des Quellwertes [kg/m³]

- keine Begrenzung
- Begrenzung auf max. Wassergehalt
- Begrenzung auf freie Wassersättigung
- Benutzerdefiniert

Starttiefe in Schicht [m] 0,015

Endtiefe in Schicht [m] 0,02

Durchströmung der Hülle q50 [m³/(m² h)]

3 Luftdichtigkeitsklasse B (DIN 4108 mit Prüfung <= 3 m²/m)

Höhe der Luftsäule [m] 5

Mechanischer Überdruck durch Lüftungsanlagen [Pa] 0

Infiltrationsquelle anpassen

OK Abbrechen Hilfe

Variante 1: Neigung und Orientierung des Bauteils

Eingabe: Bauteil - Orientierung

The screenshot shows the WUFI Pro 6.7 software interface. The main window title is 'WUFI Pro 6.7'. The menu bar includes 'Projekt', 'Eingaben', 'Rechnen', 'Ausgabe', 'Einstellungen', 'Datenbank', and 'Ergebnisanalyse'. The left sidebar shows a project tree with 'Projekt' expanded to 'Variante: 1 Zinkblech mit Natronkraftpapier', which includes 'Bauteil', 'Aufbau/Monitorpositionen', 'Orientierung', 'Oberflächenübergangskoeff.', 'Anfangsbedingungen', 'Steuerung', and 'Klima'. The main workspace is titled 'Variante: Zinkblech mit Natronkraftpapier' and has four tabs: 'Aufbau/Monitorpositionen', 'Orientierung/Neigung/Höhe' (selected), 'Oberflächenübergangskoeff.', and 'Anfangsbedingungen'. The 'Orientierung/Neigung/Höhe' tab contains two sub-panels: 'Orientierung' and 'Neigung'. The 'Orientierung' panel shows a compass rose with a yellow arrow pointing North (N) and a brown bar representing the component's orientation. The 'Neigung' panel shows a diagram of a brown bar at an angle, with a text box 'Neigung [°]' containing the value '50'. Below these panels is a section for 'Höhe/Schlagregenkoeffizienten' with a checkbox 'Regenbelastung nach ASHRAE Standard 160' (unchecked) and input fields for 'R1 [-]' (value 1) and 'R2 [s/m]' (value 0). A note below reads: 'Hinweis: Regenbelastung = Regen * (R1 + R2 * Vwind)'. At the bottom of the window, it says 'Einheiten: SI' and 'Keine Rechenergebnisse vorhanden.' A green callout box at the bottom right of the screenshot contains the text 'Orientierung und Neigung anpassen'.

Variante 1: Oberflächenübergangskoeffizienten

Eingabe: Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

Variante: Zinkblech mit Natronkraftpapier

Aufbau/Monitorpositionen | Orientierung/Neigung/Höhe | **Oberflächenübergangskoeff.** | Anfangsbedingungen

Außenoberfläche (linke Seite)

Wärmeübergangskoeffizient [W/(m ² K)]	19	Dach
beinhaltet langwellige Strahlungsanteile [W/(m ² K)]	6.5	
Windabhängig	<input type="checkbox"/>	...
sd-Wert [m]	50	Benutzerdefiniert
Hinweis: Dieser Wert hat keinen Einfluss auf die Regenaufnahme		
Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl [-]	0.6	Benutzerdefiniert
Langwellige Strahlungsemissionszahl [-]	0.4	
Abminderungsfaktoren wegen Verschattung:		
auf Absorptionszahl [-]	1.0	Keine Verschattung
auf Emissionszahl [-]	1.0	
Explizite Strahlungsbilanz	<input checked="" type="checkbox"/>	... Hinweis: diese Option dient u.a. zur Berücksichtigung der Unterkühlung infolge langwelliger Abstrahlung. In sensiblen Fällen sind hinreichend genaue Gegenstrahlungsdaten erforderlich.
Terrestr. kurzw. Reflexionsgrad [-]	0.2	Standardwert
Anhaftender Anteil des Regens [-]	----	Keine Regenwasserabsorption

Innenoberfläche (rechte Seite)

Wärmeübergangskoeffizient [W/(m ² K)]	8	(Dach)
sd-Wert [m]	----	Keine Beschichtung

Wärmeübergangskoeffizient für Dach = 19 W/m²K

s_d-Wert der Blecheindeckung = 50 m

Farbgebung der Blecheindeckung (a_e = 0,6)

Explizite Strahlungsbilanz einschalten (ε = 0,4)!

Keine Regenwasserabsorption!

Oberflächenübergangskoeffizienten anpassen!

Variante 1: Anfangsbedingungen

Eingabe: Bauteil - Anfangsbedingungen

The screenshot shows the WUFI Pro 6.7 software interface. The main window is titled 'Variante: Zinkblech mit Natronkraftpapier'. The 'Anfangsbedingungen' (Initial Conditions) tab is active. The 'Anfangsfeuchte im Bauteil' (Initial moisture in the component) section has two radio buttons: 'Über das Bauteil konstant' (checked) and 'In den einzelnen Schichten' (unchecked). The 'Anfangstemperatur im Bauteil' (Initial temperature in the component) section has two radio buttons: 'Über das Bauteil konstant' (checked) and 'Aus Datei einlesen' (unchecked). The 'Anfangstemperatur im Bauteil [°C]' field is set to 20. Below this is a table titled 'Anfangswassergehalt in einzelnen Schichten' (Initial moisture content in individual layers).

Nr.	Material Schicht	Dicke [m]	Wasser- gehalt [kg/m ³]
1	Weichholz	0.02	100
2	Mineralfaser (Wärmeleit: 0.04 W/mK)	0.14	1.79
3	Natronkraftpapier	0.001	1.8

Einheiten: SI Keine Rechenergebnisse vorhanden.

**Anfangswassergehalt in der Holzschalung:
25 M.-% entspricht 100 kg/m³
(bei einer Rohdichte von 400 kg/m³)**

Variante 1: Berechnungszeitraum

Eingabe: Steuerung – Zeit / Profile

The screenshot shows the WUFI Pro 6.7 software interface. The main window is titled 'Variante: Zinklech mit Natronkraftpapier'. The left sidebar shows a project tree with 'Variante: 1 Zinklech mit Natronkraftpapier' selected. The main area displays a table for 'Rechenzeitraum / Profile' with the following data:

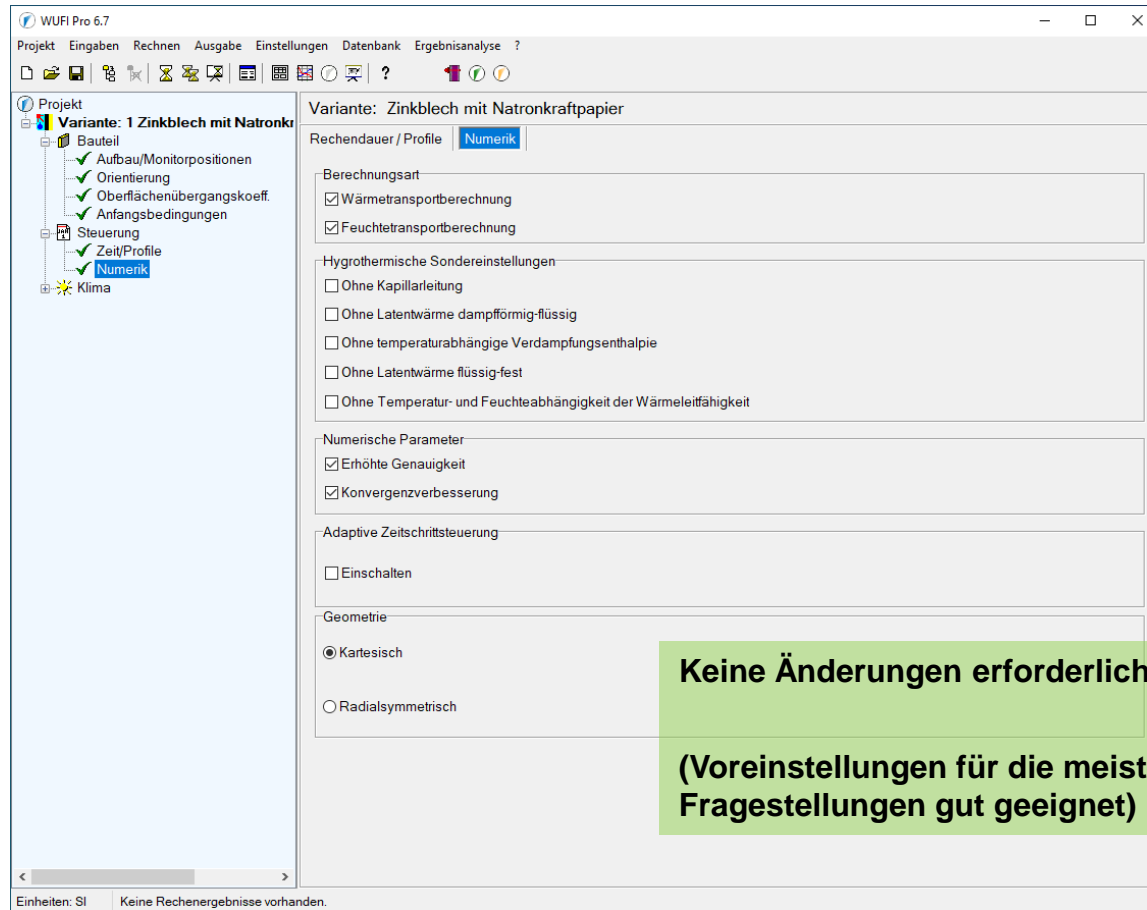
Rechnung	Profile	Datum	Stunde
Start	Profil 1	01.10.2023	00:00:00
Ende	Profil 2	01.10.2026	00:00:00

Below the table, there is a text input field for 'Rechenzeitschritt [h]' with the value '1'. The status bar at the bottom indicates 'Einheiten: SI' and 'Keine Rechenergebnisse vorhanden.'.

Keine Änderung erforderlich
(Voreinstellung von 3 Jahren ab
Anfang Oktober für diffusionsoffene
Bauteile meist ausreichend)

Variante 1: Numerische Einstellungen

Eingabe: Steuerung – Numerik



Variante 1: Außenklima

Eingabe: Klima – Außen (linke Seite)

WUFI Pro 6.7

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

- Variante: 1 Zinkblech mit Natronkraftpapier
 - Bauteil
 - Aufbau/Monitorpositionen
 - Orientierung
 - Oberflächenübergangskoeff.
 - Anfangsbedingungen
 - Steuerung
 - Zeit/Profile
 - Numerik
 - Klima
 - Außen (linke Seite)
 - Innen (rechte Seite)

Variante: Zinkblech mit Natronkraftpapier

Außenklima (linke Seite) Innenklima (rechte Seite)

Aus Karte / Datei DIN 4108 / EN 15026 / WTA 6-2 ISO 13788 ASHRAE 160 Sinuskurve

Holzkirchen; IBP, Feuchtereferenzjahr Klima wählen... Erweitert...

Temperatur / Relative Feuchte Klimaanalyse

Temperatur [°C]

Relative Feuchte [%]

Zusätzliche Diagramme

Globalstrahlung

ISGH [W/m²]

Datei-Info

Klimaort: Holzkirchen

Breite [*]: 47,88 Nord

Länge [*]: 11,73 Ost

Höhe über NN [m]: 680

Zeitzone: 1,0

Anzahl Datenzeilen: 8760

Beschreibung: ⓘ

Kommentar: ⓘ

Klimaelemente

Temperatur: TA

Relative Feuchte: HREL

Kurzwellige Strahlung: ISGH, ISD

Langwellige Strahlung: ILAH

Wind: WS, WV, WD

Regen: RN

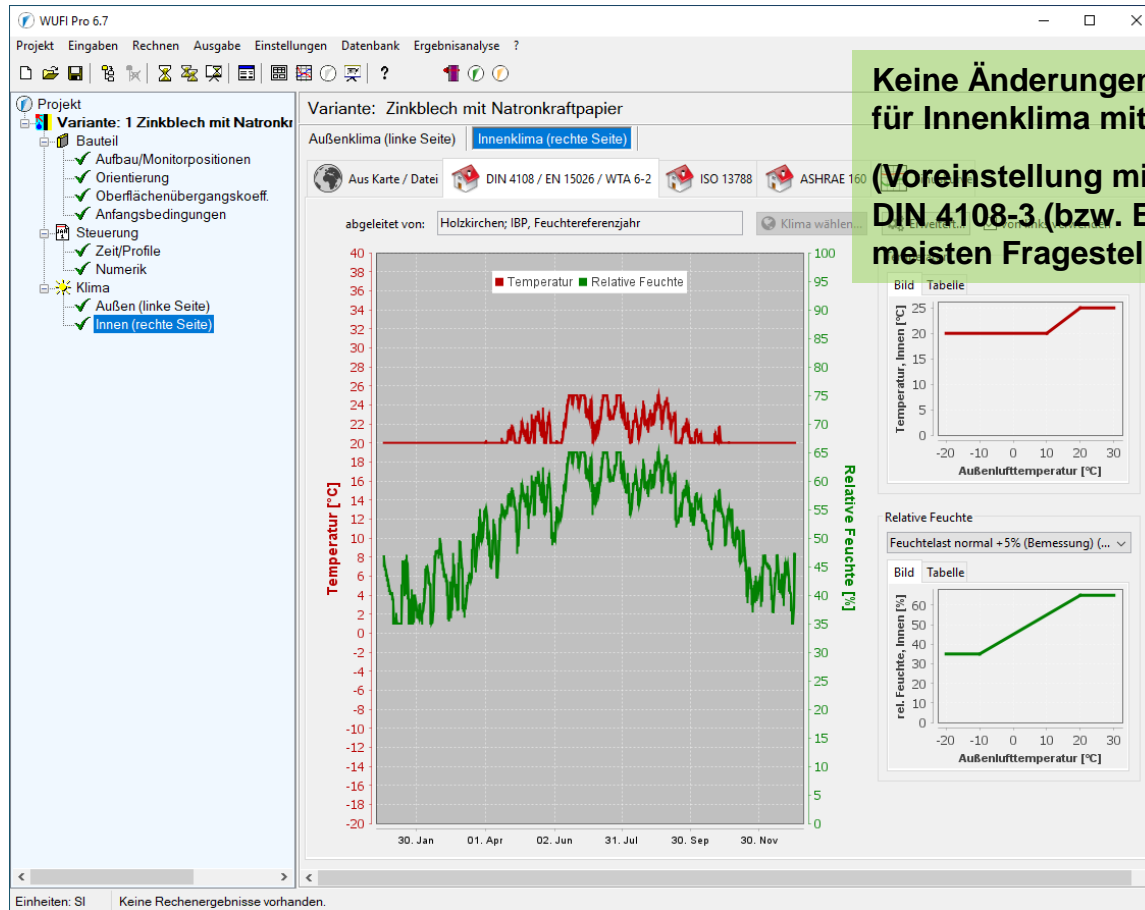
Bewölkungsgrad: —

Luftdruck: PSTA

Einheiten: SI Keine Rechenergebnisse vorhanden.

Variante 1: Raumklima

Eingabe: Klima – Innen (rechte Seite)



**Keine Änderungen erforderlich
für Innenklima mit normaler Feuchtelast +5%
(Voreinstellung mit Bemessungsklima nach
DIN 4108-3 (bzw. EN 15026) für die
meisten Fragestellungen gut geeignet!)**

Variante 1: Auswertung - Numerik

Auswertung: Numerik

Für weitere Informationen zur Bewertung der numerischen Qualität, siehe "[Auswertung und Beurteilung hygrothermischer Rechenergebnisse](#)".

Hinweis:

Langsame Berechnung und viele Konvergenzfehler weisen auf eher schwierige Konvergenz hin.

	06.05.2024 12:20:23
	0 min,47 sek
ung	01.10.2023 / 01.10.2026
Anzahl der Konvergenzfehler	50
Numerische Qualitätsprüfung	
Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m ²] 0,0 -0,18
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m ²] 0,0 0,36
Bilanz 1	[kg/m ²] -0,13
Bilanz 2	[kg/m ²] -0,17
Wassergehalt [kg/m ²]	
	Start Ende Min Max
	2,7
	Max.
	?
	Hilfe



Viele Konvergenzfehler, aber Bilanzen OK!

→ ggf. erneute Berechnung mit Adaptiver Zeitschrittsteuerung (Numerik: Adaptive Zeitschrittsteuerung einschalten). Bei guter Übereinstimmung der Bilanzen i.d.R. nicht erforderlich!

Variante 1: Auswertung - Numerik

Auswertung: Numerik – mit Adaptiver Zeitschrittsteuerung

Letzter Rechenlauf

Rechenverlauf

Datum/Zeit der Rechnung	06.05.2024 12:13:55		
Rechenzeit	0 min,53 sek		
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2023 / 01.10.2026		
Anzahl der Konvergenzfehler	0		

Numerische Qualitätsprüfung

Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,16	
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m ²]	0,0 0,37	
Bilanz 1	[kg/m ²]	-0,12	
Bilanz 2	[kg/m ²]	-0,16	

Wassergehalt [kg/m²]

	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	2,25	2,13	2,13	2,71

Wassergehalt [kg/m³]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
------------------	-------	------	------	------

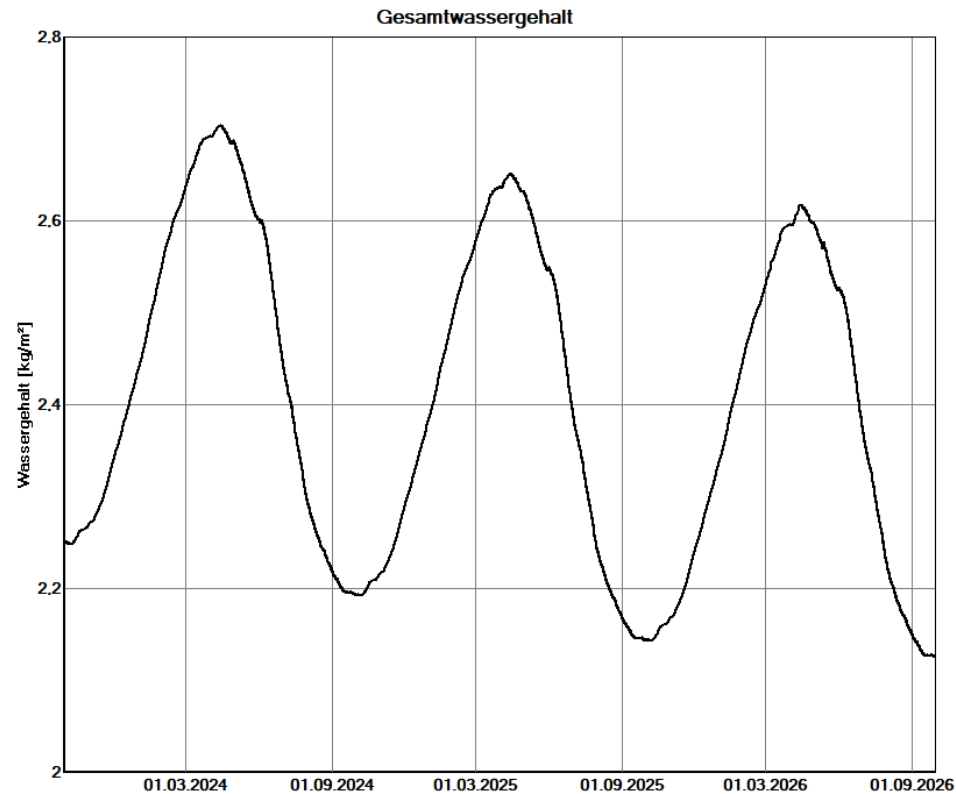
Ben ? Hilfe



Keine Konvergenzfehler und geringe Bilanzunterschiede

Variante 1: Auswertung Gesamtwassergehalt

Auswertung: Gesamtwassergehalt



Variante 1: Auswertung Holzfeuchte in der Schalung


Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach DIN 68800

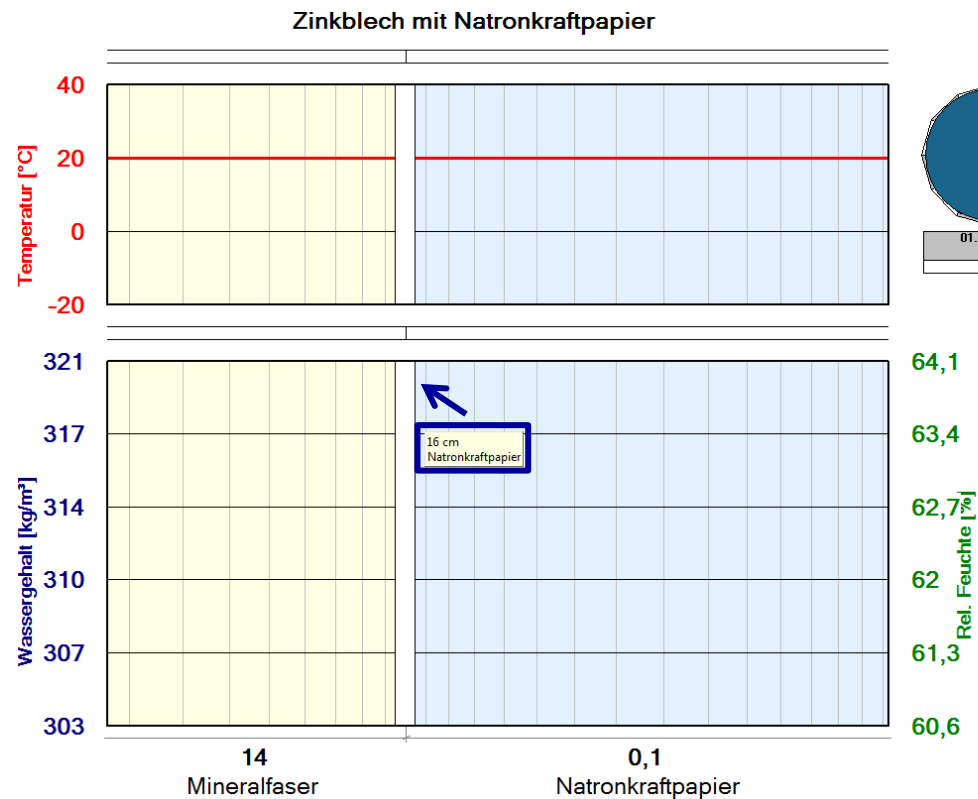


Der Wassergehalt in der Schalung überschreitet den Grenzwert von 20 M.-% deutlich!

Variante 1: Auswertung Feuchteverhältnisse an Dampfbremse

Auswertung: Schimmelpilzrisiko hinter der Dampfbremse

- WUFI® Film öffnen
- Reinzoomen in die Grenzschicht Mineralfaserdämmung / Dampfbremse (bei gedrückter linker Maustaste: Kasten von links oben nach rechts unten aufziehen)
- WUFI® Bio-Symbol  in der Taskleiste drücken und äußerste Element des Natronkraftpapiers auswählen



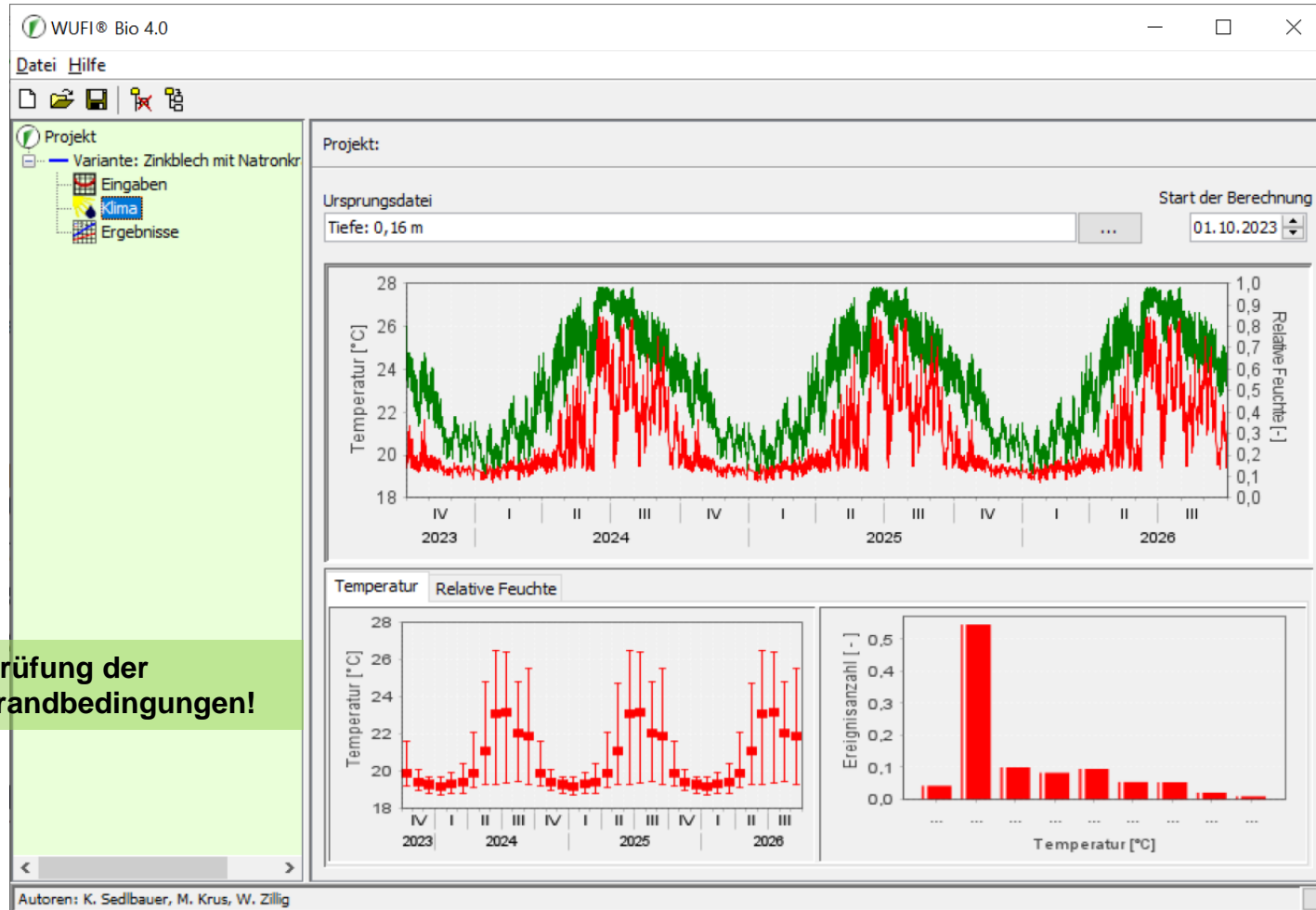
Auswertung: Schimmelpilzrisiko hinter der Dampfbremse

The screenshot shows the WUFI Bio 4.0 software interface. The main window is titled 'Projekt' and contains several sections:

- Projekt:** A tree view on the left shows 'Variante: Zinkblech mit Natronkr...' with sub-items 'Eingaben', 'Klima', and 'Ergebnisse'.
- Nutzer-Expositionsklasse:** A dropdown menu is set to 'Innenoberfläche oder Position mit Raumlufkontakt'. A green callout box above it reads: 'Auswahl Nutzer-Expositionsklasse: Innenoberfläche oder Position mit Raumlufkontakt'.
- Anfängliche rel. Feuchte in Spore [-]:** A text input field contains '0,5'.
- Substratklasse:** Four radio buttons are present: 'Klasse 0', 'Klasse II', 'Klasse I' (selected), and 'Klasse K'. A green callout box below it reads: 'Auswahl Substratklasse: Natronkraftpapier entspricht aufgrund der verwertbaren organischen Bestandteile der Substratklasse I.'
- Feuchtespeicherfunktion Spore:** A dropdown menu is set to 'Diffusionswiderstand Sporenwand'.
- Diagramm:** A line graph showing 'Wassergehalt [kg/m³]' on the y-axis (0 to 900) versus 'Relative Feuchte [-]' on the x-axis (0,0 to 1,0). The curve shows a sharp increase in water content as relative humidity approaches 1,0.
- Table:** A tab for 'Tabelle' is visible.

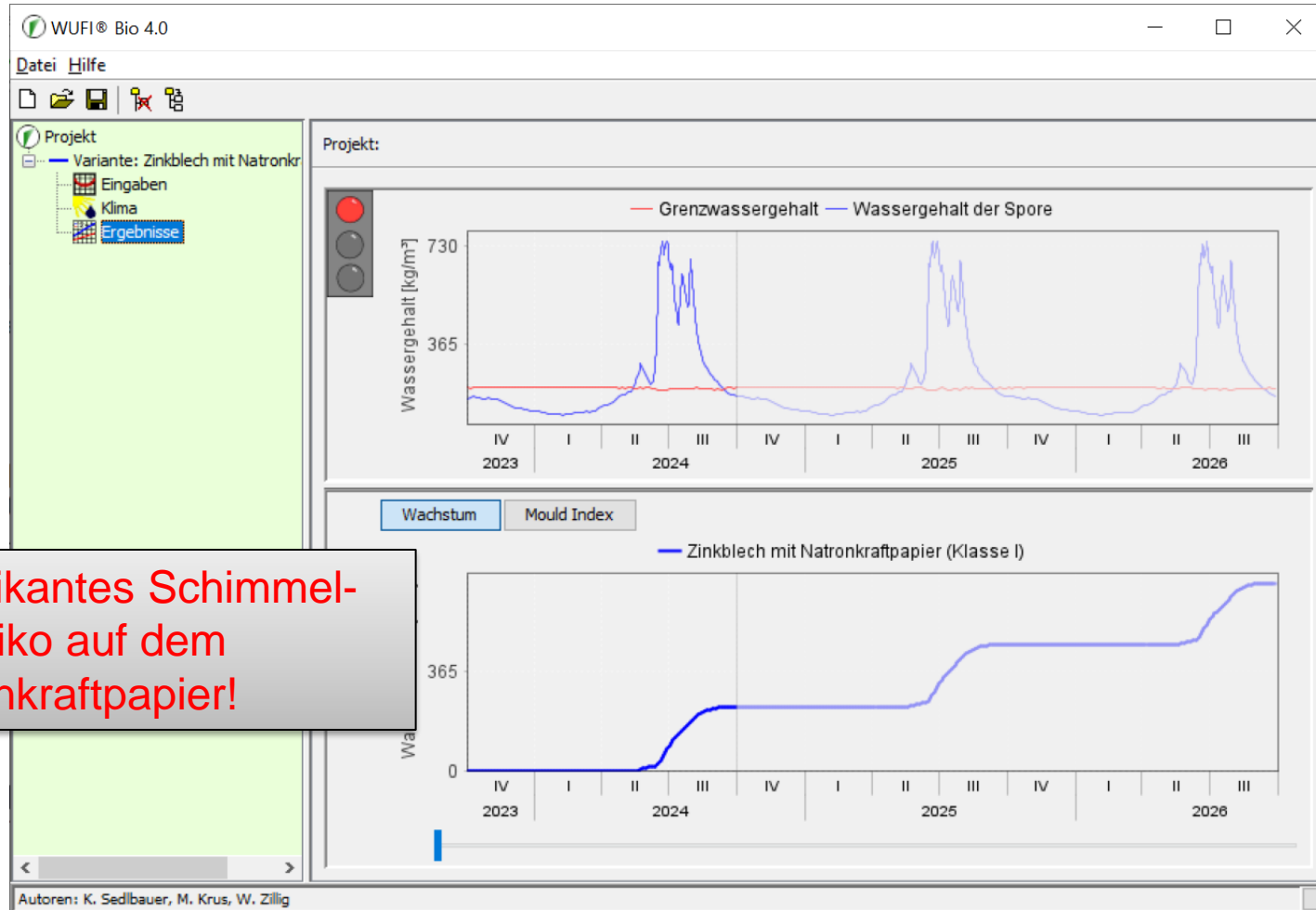
At the bottom of the window, the authors are listed: 'Autoren: K. Sedlbauer, M. Krus, W. Zillig'.

Auswertung: Schimmelpilzrisiko hinter der Dampfbremse



Variante 1: Auswertung WUFI® Bio

Auswertung: Schimmelpilzrisiko hinter der Dampfbremse



Variante 2: Austausch der Dampfbremse

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

**Variante 2:
PA-Folie**

WUFI Pro 6.7

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

- Variante: 1 Zinkblech mit Natronkraftpat
- Variante: 2 Zinkblech mit PA-Folie
 - Bauteil
 - Aufbau/Monitorpositionen
 - Orientierung
 - Oberflächenübergangskoeff.
 - Anfangsbedingungen
 - Steuerung
 - Klima

Variante: Zinkblech mit PA-Folie

Aufbau/Monitorpositionen | Orientierung/Neigung/Höhe | Oberflächenübergangskoeff. | Anfangsbedingungen

Schichtname: PA-Folie

Dicke [m]: 0,001

Außen (linke Seite): 0,02 | 0,14 | Innen (rechte Seite): 0,001

Materialdaten

Quellen, Senken

Neue Schicht

Duplizieren

Löschen

Bearbeiten Aufbau

Bild

Tabelle

Zuordnung aus Datenbanken

Materialdatenbank

Konstruktionsdatenbank

Gitteraufbau

Automatisch (II)

100 Fein

Aut. Unterteilung in Manuelle kopieren

Gesamtdicke: Dicke: 0,161 m

Wärmeschutzigenschaften

Wärmedurchlasswiderstand: 3,69 (m²K)/W

U-Wert: 0,259 W/(m²K)

Einheiten: SI | Letzte Rechnung: 06.12.2023

Variante 2: Auswertung - Numerik

Auswertung: Numerik

Letzter Rechenlauf

Rechenverlauf	
Datum/Zeit der Rechnung	06.05.2024 12:22:29
Rechenzeit	0 min,39 sek
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2023 / 01.10.2026
Anzahl der Konvergenzfehler	18

Numerische Qualitätsprüfung		
Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,07
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m ²]	0,0 1,4
Bilanz 1	[kg/m ²]	-1,1
Bilanz 2	[kg/m ²]	-1,11

Wassergehalt [kg/m ²]				
	Start	Ende	Min	Max
				2,64
				Max.

? Hilfe



Einige Konvergenzfehler, aber Bilanzen OK!
→ ggf. erneute Berechnung mit Adaptiver Zeitschrittsteuerung
(Numerik: Adaptive Zeitschrittsteuerung einschalten). Bei
guter Übereinstimmung der Bilanzen i.d.R. nicht erforderlich!

Variante 2: Auswertung - Numerik

Auswertung: Numerik – mit Adaptiver Zeitschrittsteuerung

Letzter Rechenlauf

Rechenverlauf

Datum/Zeit der Rechnung	06.05.2024 12:24:02		
Rechenzeit	0 min,40 sek		
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2023 / 01.10.2026		
Anzahl der Konvergenzfehler	0		

Numerische Qualitätsprüfung

Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m ²]	0,0 -0,09	
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m ²]	0,0 1,39	
Bilanz 1	[kg/m ²]	-1,1	
Bilanz 2	[kg/m ²]	-1,11	

Wassergehalt [kg/m²]

	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	2,25	1,13	1,0	2,65

Wassergehalt [kg/m³]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
------------------	-------	------	------	------

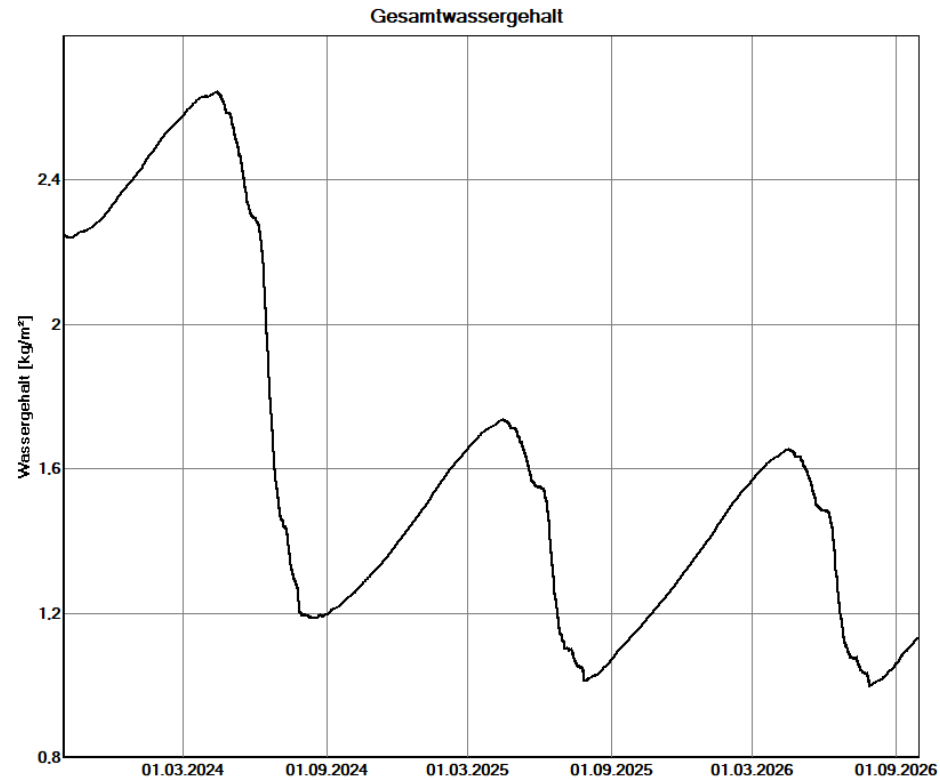
Keine Konvergenzfehler und geringe Bilanzunterschiede

Ben ? Hilfe



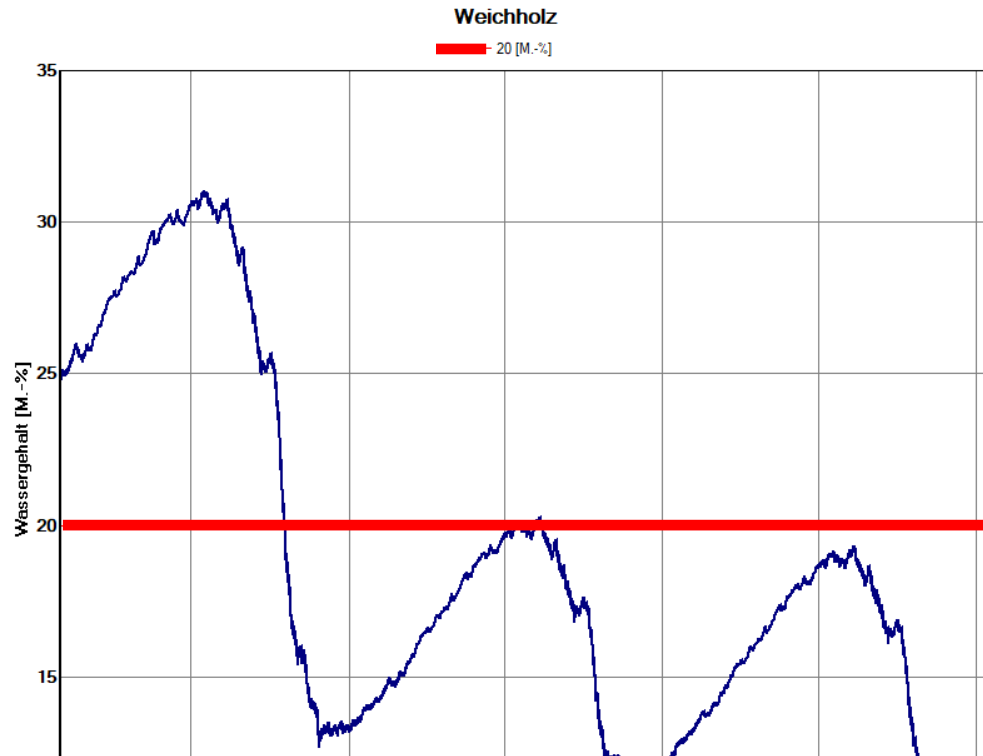
Variante 2: Auswertung Gesamtwassergehalt

Auswertung: Gesamtwassergehalt



Variante 2: Auswertung Holzfeuchte in der Schalung

Auswertung: Holzfeuchte in der Holzschalung – nach DIN 68800



Der Wassergehalt in der Schalung bleibt nach der Umverteilung der Feuchte im ersten Jahr unter dem Grenzwert von 20 M.-%!

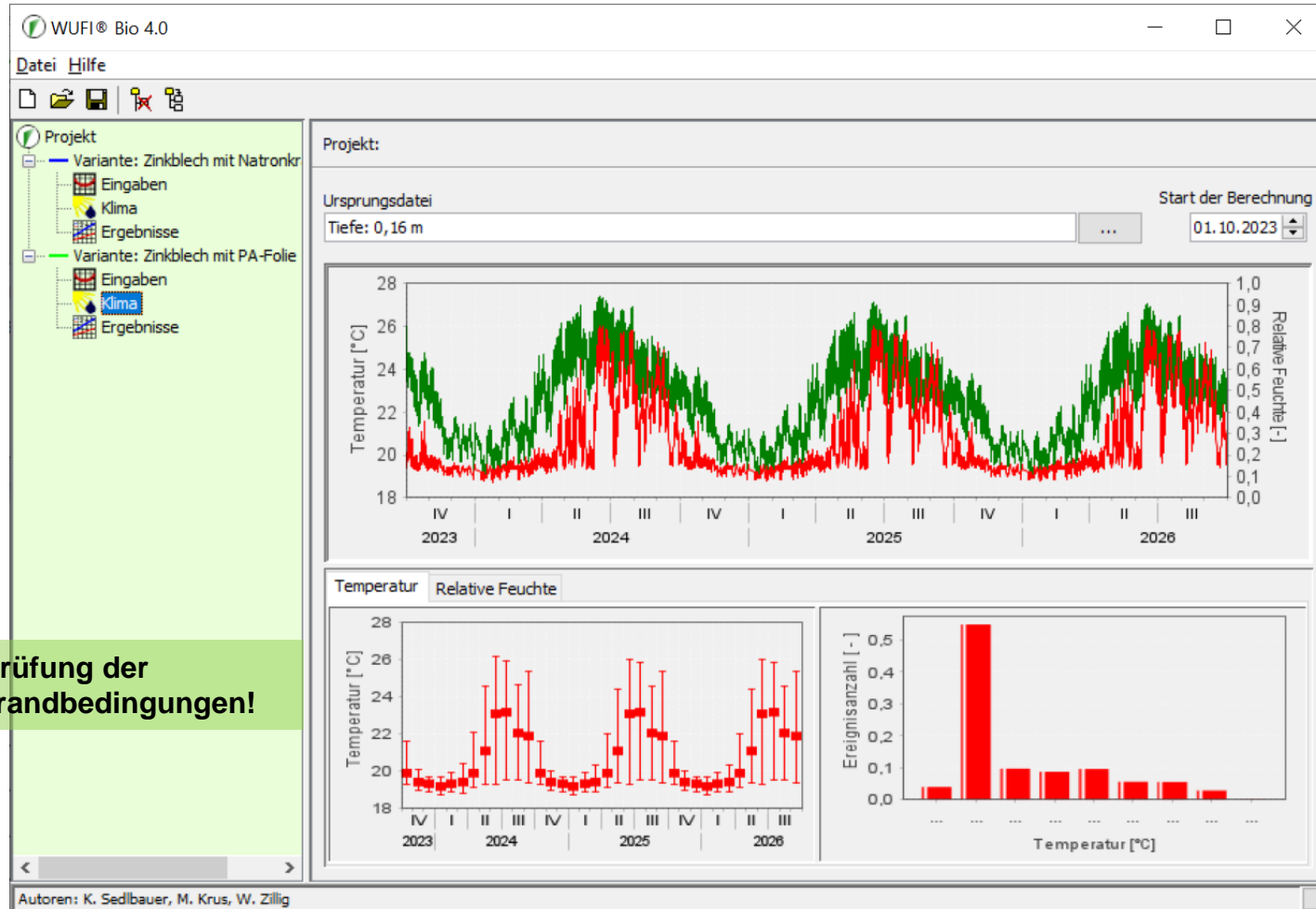
Auswertung: Schimmelpilzrisiko hinter der Dampfbremse

The screenshot shows the WUFI Bio 4.0 software interface. The main window is titled 'Projekt' and contains several sections:

- Projekt:** A tree view on the left shows two variants: 'Variante: Zinkblech mit Natronkr...' and 'Variante: Zinkblech mit PA-Folie'. The 'Eingaben' (Inputs) folder for the second variant is selected.
- Nutzer-Expositions-kategorie:** A dropdown menu is set to 'Innenoberfläche oder Position mit Raumlufkontakt'. A green callout box above it reads: 'Auswahl Nutzer-Expositions-kategorie: Innenoberfläche oder Position mit Raumlufkontakt'.
- Anfängliche rel. Feuchte in Spore [-]:** A text input field contains '0,5'.
- Substratklasse:** Radio buttons are set to 'Klasse II'. A green callout box below it reads: 'Auswahl Substratklasse: Die PA-Folie ist als nicht biologisch verwertbare Kunststoffolie der Substratklasse II zuzuordnen.'
- Feuchtespeicherfunktion Spore:** A dropdown menu is set to 'Diffusionswiderstand Sporenwand Wachstum über Index'.
- Diagramm:** A line graph showing 'Wassergehalt [kg/m³]' on the y-axis (0 to 900) and 'Relative Feuchte [-]' on the x-axis (0,0 to 1,0). The curve shows a sharp increase in water content as relative humidity approaches 1,0.
- Table:** A tab for 'Tabelle' is visible but empty.

At the bottom of the window, the authors are listed: 'Autoren: K. Sedlbauer, M. Krus, W. Zillig'.

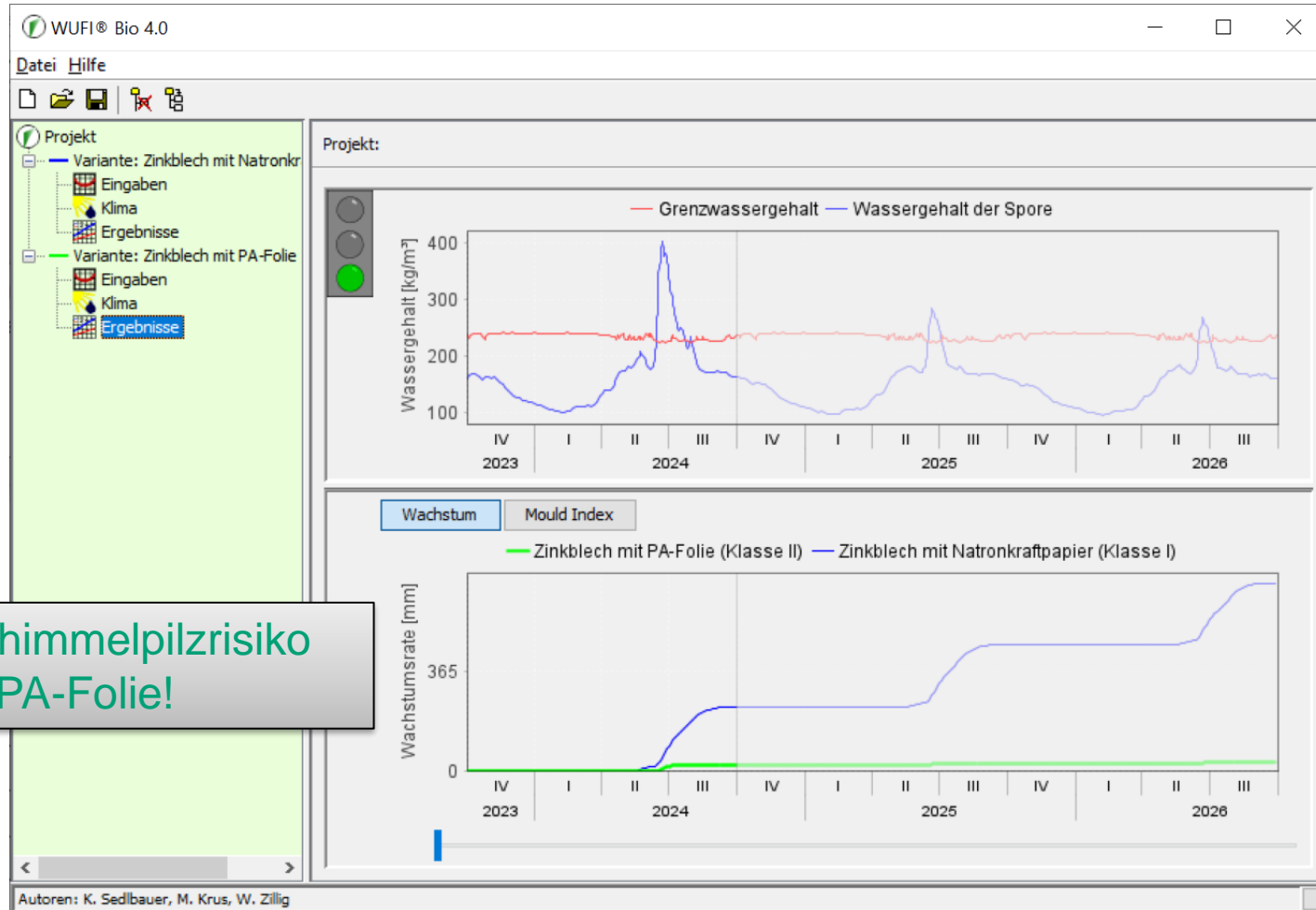
Auswertung: Schimmelpilzrisiko hinter der Dampfbremse



Überprüfung der Klimarandbedingungen!

Variante 2: Auswertung WUFI® Bio

Auswertung: Schimmelpilzrisiko hinter der Dampfbremse



Kein Schimmelpilzrisiko
auf der PA-Folie!