



Bewertung kritischer Feuchte- und Temperatur-Situationen unter Einsatz numerischer Simulationsprogramme

IGBP-Tagung Fachtagung Holzbau 1: Umbau und Sanierung

Empa Akademie Dübendorf, 21.09.2021, Thomas Stahl



Themen des Vortrags

Feuchtigkeitsansprüche verschiedener Pilze und Insekten

Numerische Simulation als Planungswerkzeug

Beispiel 1

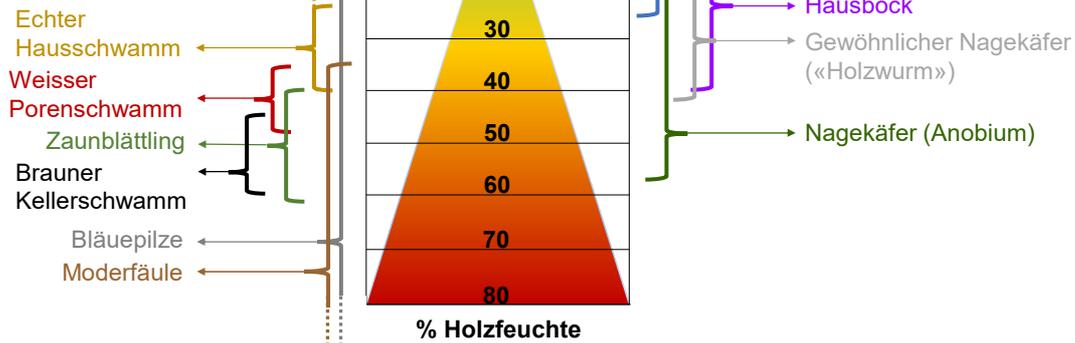
Beispiel 2

Beispiel 3

Das Beste kommt zum Schluss

Feuchtigkeitsansprüche verschiedener Pilze und Insekten

Deshalb als sicherer
Grenzwert für Holzfeuchte
<20 M-% (Einbau & Betrieb)



Themen des Vortrags

Feuchtigkeitsansprüche verschiedener Pilze und Insekten

Numerische Simulation als Planungswerkzeug

Beispiel 1

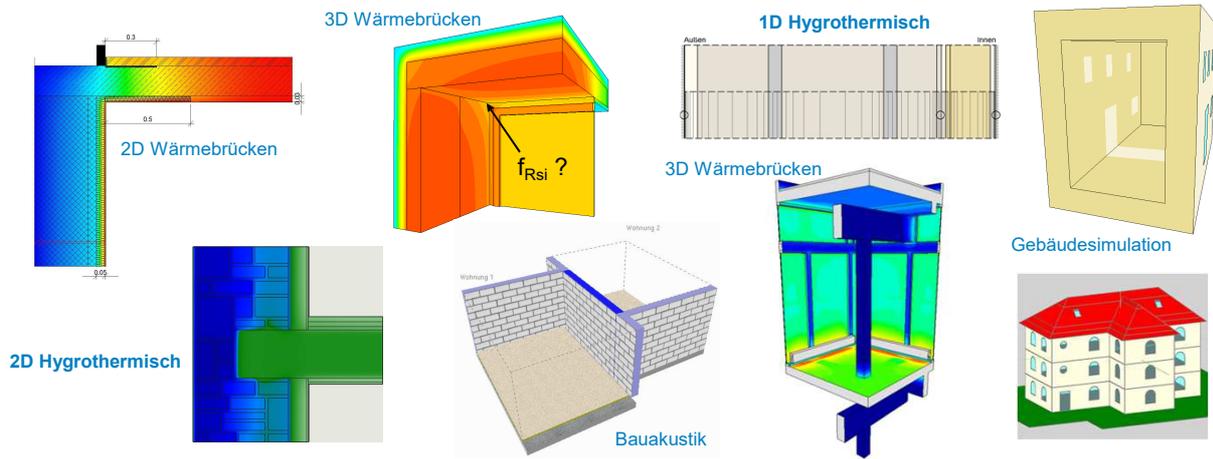
Beispiel 2

Beispiel 3

Das Beste kommt zum Schluss

Numerische Simulation als Planungswerkzeug

Beispiele numerischer Simulationen in der Bauphysik:



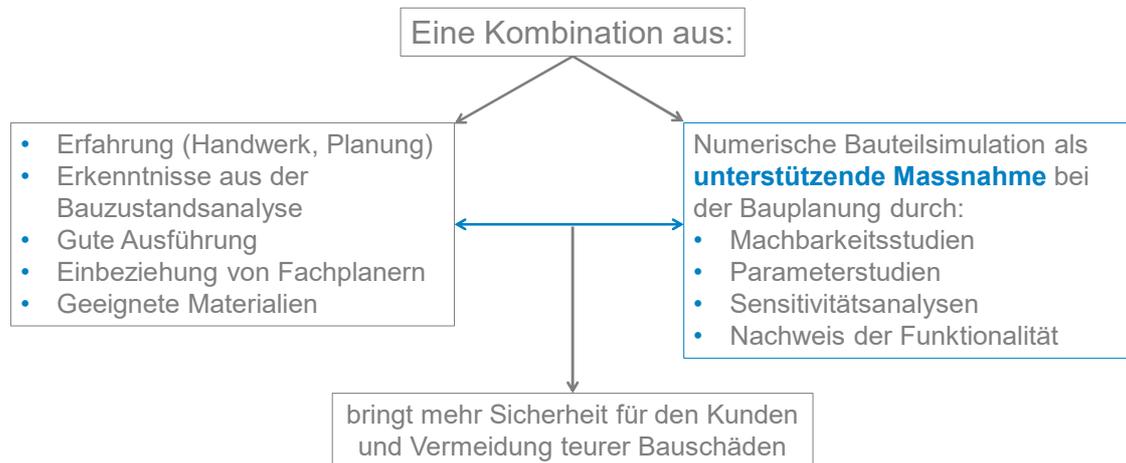
Numerische Simulation als Planungswerkzeug

Der Grundsatz jeder numerischen Bauteilsimulation lautet:

Shit in = Shit out

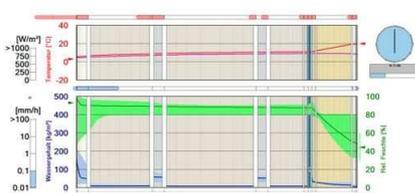
(gilt sowohl für die Anfangsbedingungen, Randbedingungen und Materialparameter)

Numerische Simulation als Planungswerkzeug

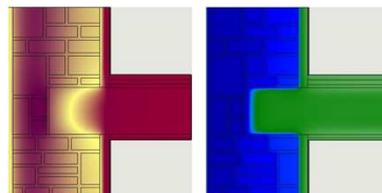


Numerische Simulation als Planungswerkzeug

Je nach Fragestellung gibt es unterschiedliche Simulationsmöglichkeiten:



1D Bauteilsimulation



2D Bauteilsimulation



Hygrothermische Gebäudesimulation

Komplexität der Simulation und Zeitaufwand nehmen zu

Numerische Simulation als Planungswerkzeug

Wann eindimensional und wann zweidimensional?

- Immer dann wenn die Anisotropie (Richtungsabhängigkeit) der Materialien eine Rolle spielt (z.B. bei Holz, Natursteine, Ziegel, Holzwerkstoffe) → **2D**
- Berücksichtigung mehrerer Randbedingungen gleichzeitig → **2D**
- Gebäudeecken, Bauteilanschlüsse, Fensteranschlüsse, Kellerwände (aufsteigende Feuchte) → **2D**
- Nachträgliche Dachdämmung (Verlegung der DB um die Sparren) → **2D**
- Berücksichtigung von Fehlstellen in der Konstruktion / Dämmung → **2D**
- Abbildung von Wandtemperierung (z.B. Rücklauf im Bodenbereich) → **2D**
- Je nach Fragestellung bei Innendämmung → **2D**

Numerische Simulation als Planungswerkzeug

Unterschiede zwischen stationärer und instationärer Betrachtung

Stationäre Betrachtungsweise:

- Hygrothermische Eigenschaften der Materialien spielen (fast) keine Rolle
- Randbedingungen bleiben über den gesamten Betrachtungszeitraum gleich
- Sehr vereinfachte Betrachtungsweise
- Bildet die Realität nicht ab
- Nur begrenzte Aussagekraft
- ...

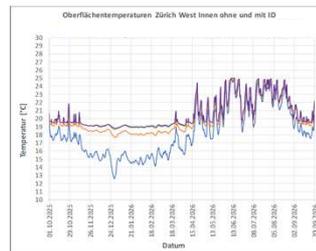
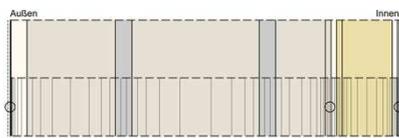
Instationäre Betrachtungsweise:

- Hygrothermische Eigenschaften der Materialien kommen zum Tragen
- Reales Innenklima und Aussenklima können verwendet werden → Langzeitverhalten
- Komplexe, mathematische Berechnungen
- Bildet die realen Verhältnisse gut ab
- Bei richtiger Anwendung hohe Aussagekraft
- Je mehr Informationen zur Baugeschichte und Bauweise, desto besser
- ...

Numerische Simulation als Planungswerkzeug

Erfahrung bei der Interpretation der Ergebnisse ist Voraussetzung!

Selbstkritisch immer wieder hinterfragen: Kann das sein?



Themen des Vortrags

Feuchtigkeitsansprüche verschiedener Pilze und Insekten

Numerische Simulation als Planungswerkzeug

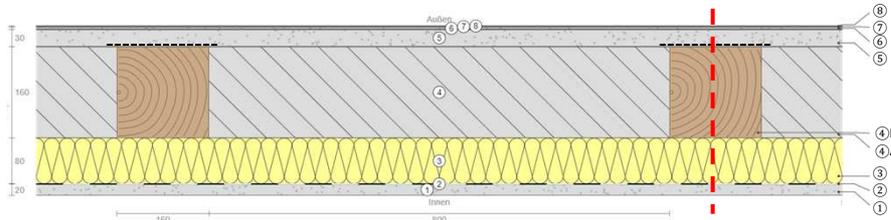
Beispiel 1

Beispiel 2

Beispiel 3

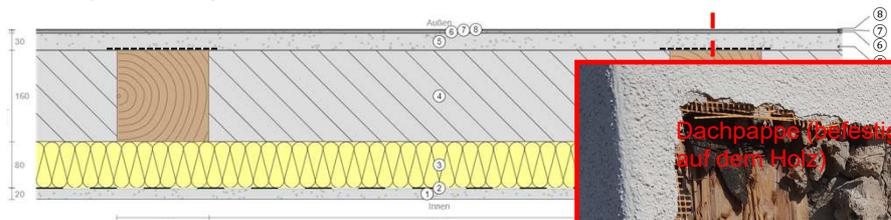
Das Beste kommt zum Schluss

Beispiel 1 (Was könnte für den Schaden ursächlich sein?)



- ① Gipsfaserplatte ca. 20mm
- ② Dampfbremse
- ③ Steinwolle ca. 80mm
- ④ Bruchstein Ausfachung / Holzfachwerk ca. 160mm
- ⑤ Zementputz ca. 30mm
- ⑥ Armierungsmörtel mit Gewebe ca. 4mm
- ⑦ Silikonharzputz ca. 2mm
- ⑧ Silikonharzfarbe

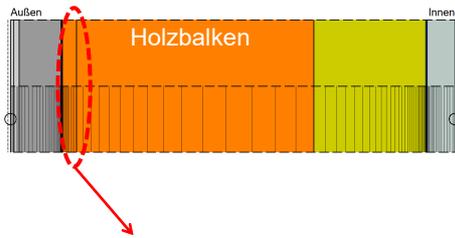
Beispiel 1 (Was könnte für den Schaden ursächlich sein?)



erk ca. 160mm
mm

Beispiel 1 (Was könnte für den Schaden ursächlich sein?)

Betrachtung mittels einer hygrothermischen 1D Bauteilsimulation des Holzbalken



Im Winter hohe rel. Luftfeuchte (14°C / 70%) im Treppenhaus. Konvektiver Feuchteintrag führt zu Aufwechtung und Quellung (ca. 4 – 5 V-%). Im Laufe der Jahre passiert folgendes:
 → Der starre Putz reisst.
 → Eintritt von Wasser über Risse / Undichtigkeiten
 → Ergebnis wäre auf Dauer Holzfäule wie vorgefunden

Welche Umstände erklären die Holzfäule?

- Hygrothermische Bauteilsimulation ermöglicht **Ausschlussprinzip**
- Häufig eine Verkettung von Einflüssen



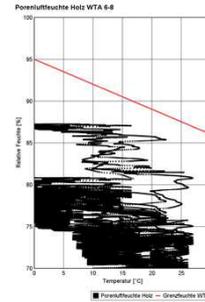
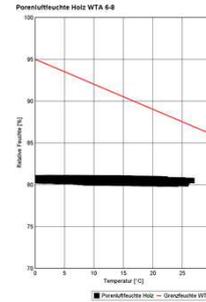
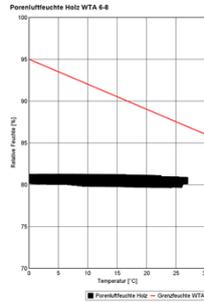
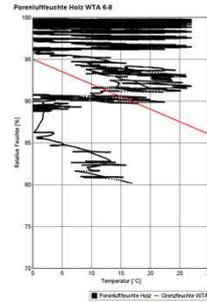
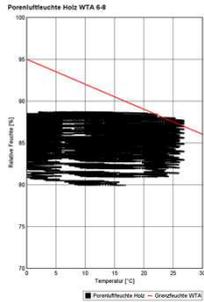
Beispiel 1 (Was könnte für den Schaden ursächlich sein?)

- Konvektiver Feuchteintrag von innen (Treppenhaus) führt im Laufe der Zeit zu Aufwechtung und Quellvorgängen im Holz. Putz reisst und Regenwasser gelangt hinter den Zementputz → hohe Holzfeuchten und Moderfäule

Ohne Konvektion und Regeneintrag (Anfangsbedingung 20°C und 80% r.F.):

- Variation der Dampfbremse ($s_d = 1\text{m} + s_d = 100\text{m}$) erklärt den Schaden nicht
- Variation des Diffusionswiderstands des Zementputzes (μ -Wert 25 + 100) erklärt den Schaden nicht
- Fehlen der Dachpappe über dem Holzbalken erklärt den Schaden nicht

Beispiel 1 (Was könnte für den Schaden ursächlich sein?)



Langjähriger, konvektiver Feuchteeintrag von innen und später eintritt von Regenwasser hinter den Zementputz:
JA

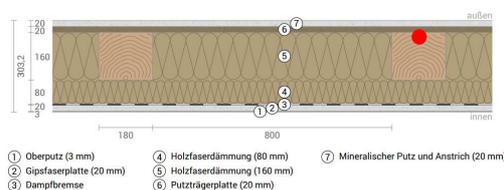
Variation der Dampfbremse $s_d = 1 + 100m$:
NEIN

Variation μ -Wert Zementputz $\mu = 25 + 100$:
NEIN

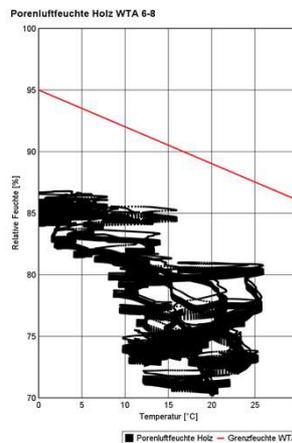
Fehlen der Dachpappe über dem Balken:
NEIN

Beispiel 1 (Was könnte für den Schaden ursächlich sein?)

Hygrothermische Simulation der Sanierungsvariante:



Nachweis der Funktionalität erbracht!



Themen des Vortrags

Feuchtigkeitsansprüche verschiedener Pilze und Insekten

Numerische Simulation als Planungswerkzeug

Beispiel 1

Beispiel 2

Beispiel 3

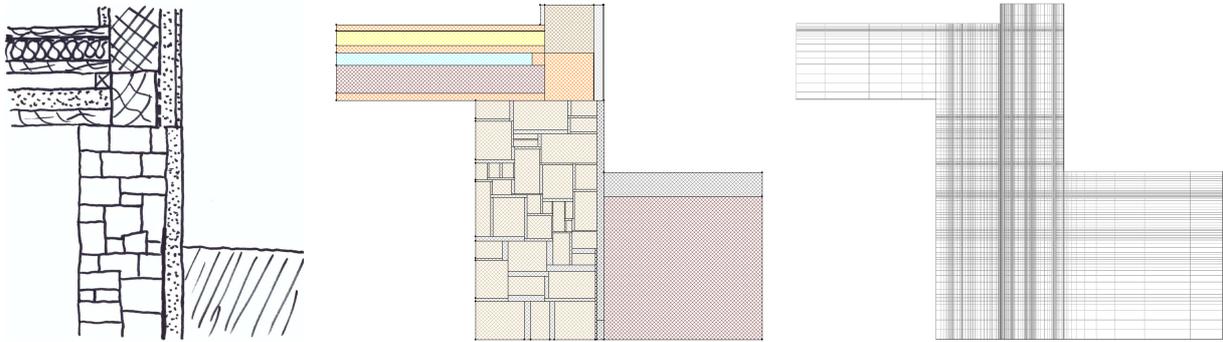
Das Beste kommt zum Schluss

Beispiel 2 (Abbildung mehrerer Randbedingungen)

Bei der Vermutung mehrerer Ursachen ist eine 2D Simulation häufig aufschlussreicher.

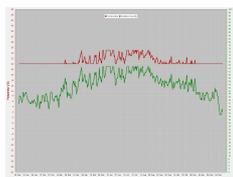


Beispiel 2 (Abbildung mehrerer Randbedingungen)



von der ersten Skizze hin zum physikalischen Modell

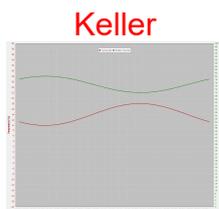
Beispiel 2 (Abbildung mehrerer Randbedingungen)



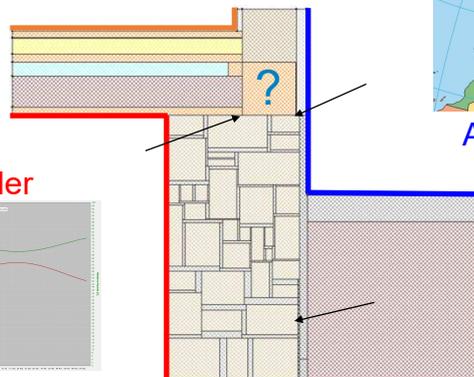
Innenklima



Aussenklima



Keller

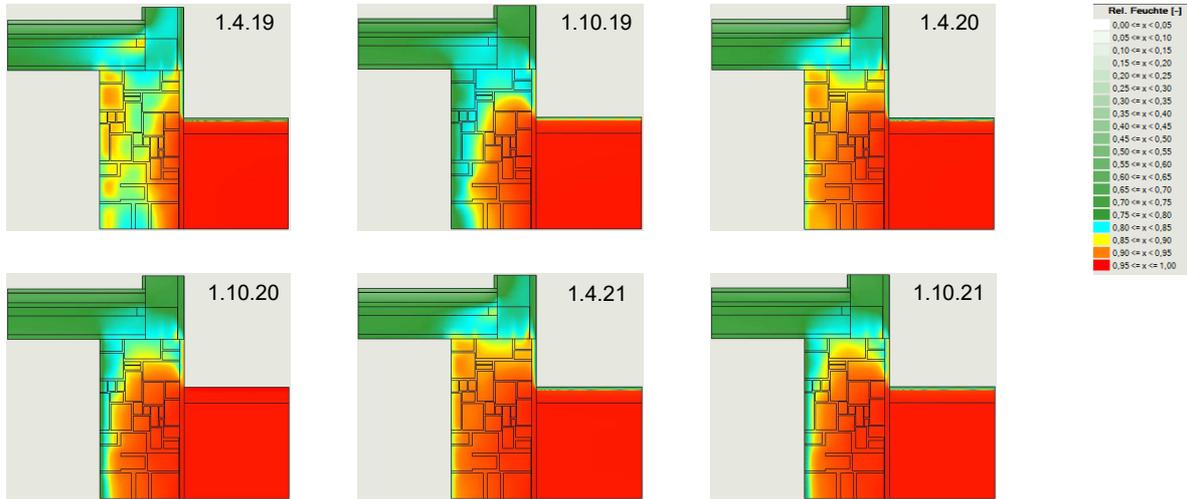


Hinzu kommen:

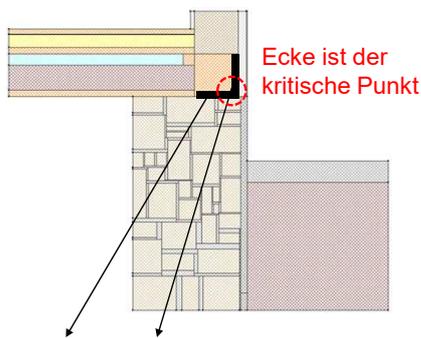
- versch. Anfangsbedingungen
- Feuchteleckagen ←

Was macht unser Holz?

Beispiel 2 (Abbildung mehrerer Randbedingungen)

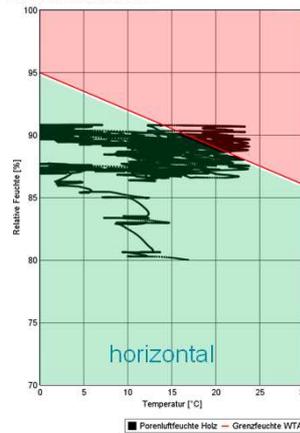


Beispiel 2 (Abbildung mehrerer Randbedingungen)

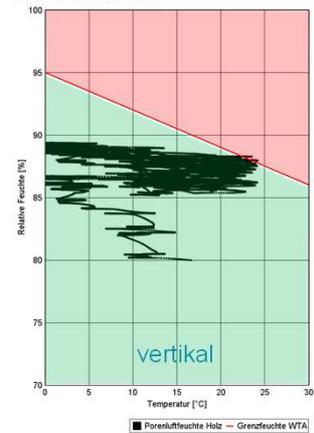


Bewertung einer 10mm dicken Holzschicht (horizontal und vertikal) nach WTA-Merkblatt 6-8. Liegen Temperatur- und Feuchtebedingungen vor, die Holzfäule begünstigen?

Porenlufftfeuchte Holz WTA 6-8



Porenlufftfeuchte Holz WTA 6-8



Themen des Vortrags

Feuchtigkeitsansprüche verschiedener Pilze und Insekten

Numerische Simulation als Planungswerkzeug

Beispiel 1

Beispiel 2

Beispiel 3

Das Beste kommt zum Schluss

Beispiel 3 (Bewertung der Sanierungsvariante)

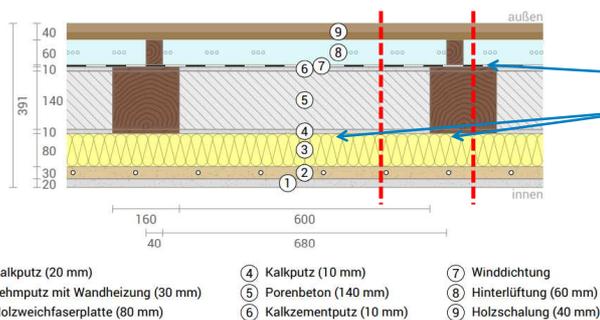


Neubau Fachwerkhaus
→ Zustand nach 5 Jahren!

Sichtfachwerk auf Westseite
(Wetterseite)

Beispiel 3 (Bewertung der Sanierungsvariante)

Vorgeschlagene Sanierungsvariante des Architekten / Zimmermann:

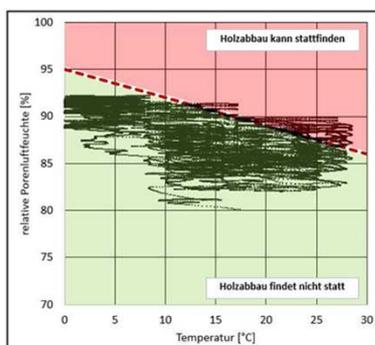


Fragen:
Muss die Ölfarbe weg?
Relative Feuchte hinter der ID?

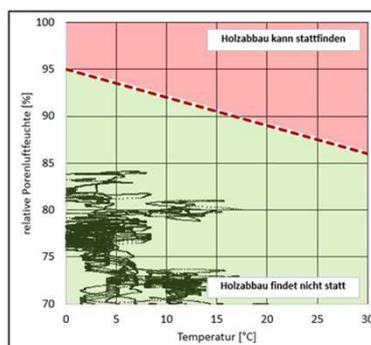
Zur Sicherheit wurde angenommen, dass 1% des auftreffenden Schlagregens hinter das Windpapier und hinter die Ölfarbe gelangt

Beispiel 3 (Bewertung der Sanierungsvariante)

Muss die Ölfarbe weg?



Mit Ölfarbe kritisch



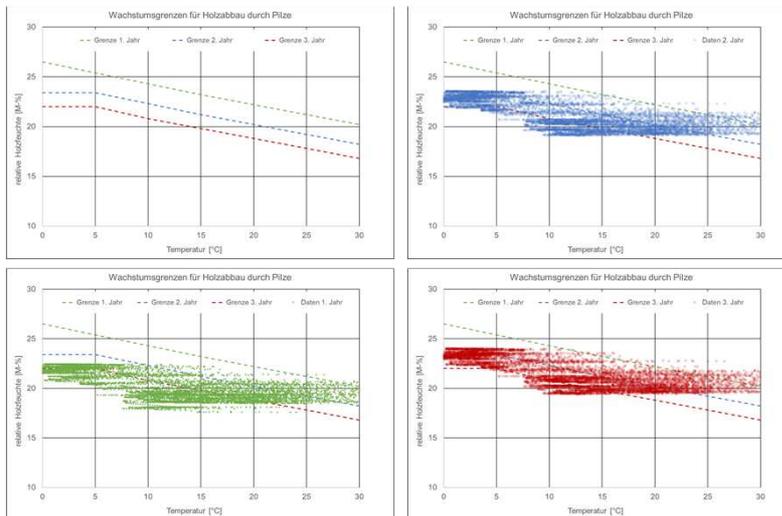
Ohne Ölfarbe unkritisch

Daten aus der hygrothermischen Simulation und Auswertung nach WTA-Merkblatt 6-8:

Auswerteverfahren mit dem zu ermitteln ist, ob in den Holzporen Temperatur- und Feuchteverhältnisse vorliegen die Holzfäule begünstigen.

Hierzu wird eine 10mm dicke Holzschicht betrachtet.

Beispiel 3 (Bewertung der Sanierungsvariante)

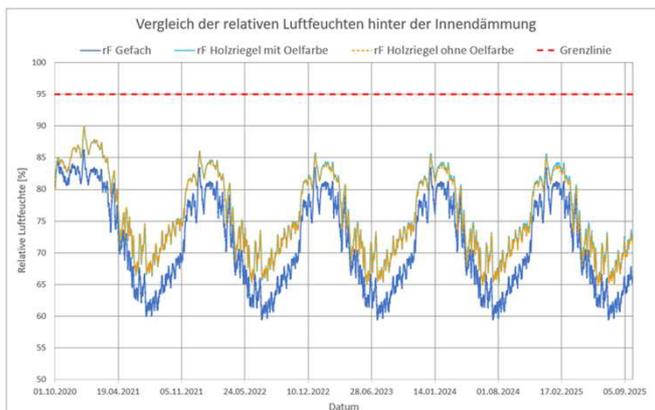


Wachstumsgrenzen ab dem 2. Jahr deutlich überschritten:

Ölfarbe muss weg!

Beispiel 3 (Bewertung der Sanierungsvariante)

Relative Feuchte hinter der Innendämmung?



Der Grenzwert von 95% wird während der ganzen Berechnungsdauer von fünf Jahren nicht erreicht und es kommt zu keiner Auffeuchtung.

Die Unterschiede bei der relativen Luftfeuchte zwischen Gefach und Holz haben ihre Ursache in den unterschiedlichen Diffusionswiderständen der Materialien.

Themen des Vortrags

Feuchtigkeitsansprüche verschiedener Pilze und Insekten

Numerische Simulation als Planungswerkzeug

Beispiel 1

Beispiel 2

Beispiel 3

Das Beste kommt zum Schluss

Das Beste kommt zum Schluss



Das passierte vor der Sanierung bei starkem Regen!



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

IABP – Bauphysik AG
Rudolf Diesel – Strasse 5, CH-8404 Winterthur, Switzerland

© alle Bilder und Grafiken wenn nicht anders angegeben bei IABP

www.iabp.ch

