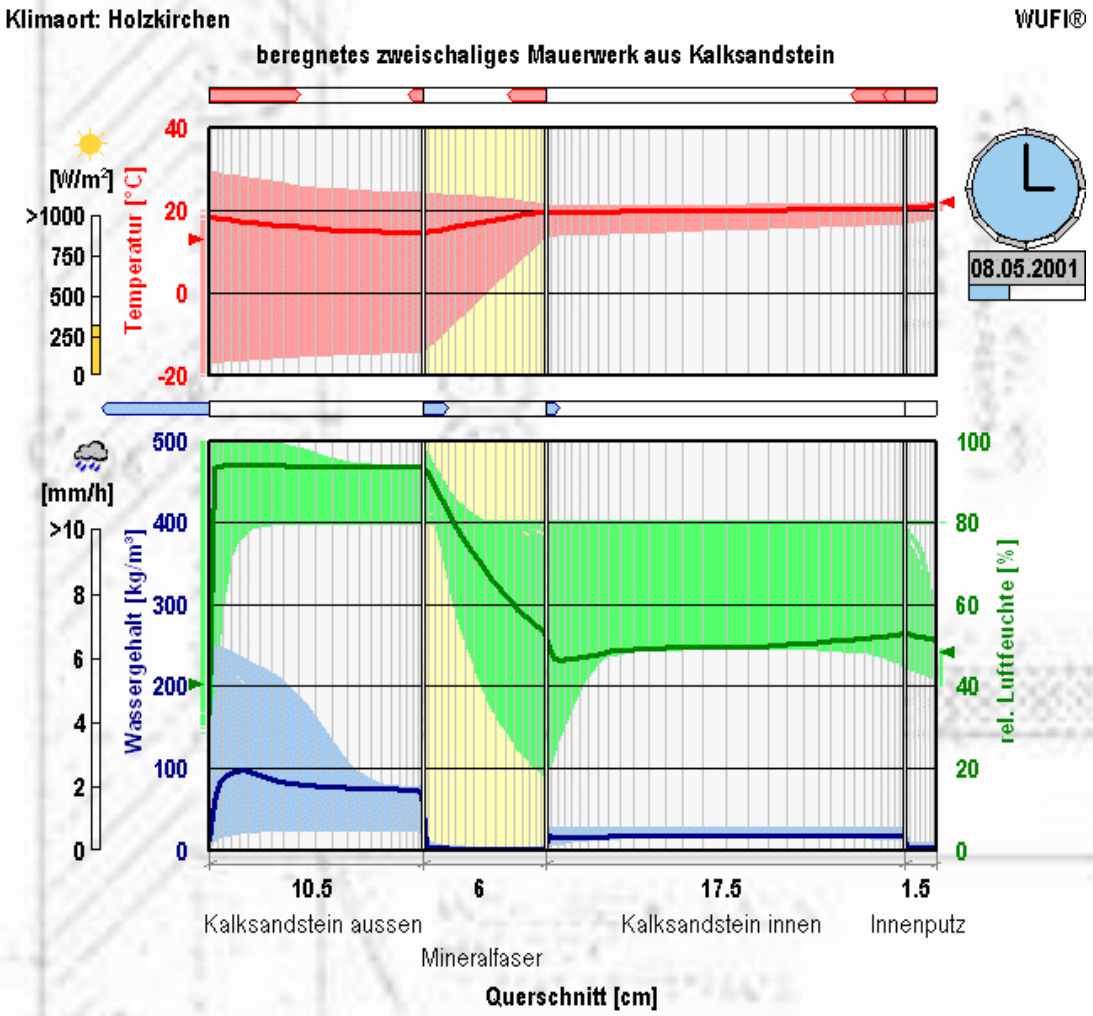
WUFI® Pro 6
Kurzeinführung



Stand: 2019-09

© Fraunhofer IBP 2019

WUFI® PRO

VORWORT

Dieses Handbuch dient als kurze Einführung in die Installation, die ersten Schritte mit dem Programm und als erster Überblick über die Möglichkeiten von WUFI® Pro.

Anhand einer Außenwand wird beispielhaft dargestellt, wie eine Konstruktion in das Programm einzugeben ist, wie Sie Rand-, Übergangs- und Anfangsbedingungen festlegen sowie die Berechnung durchführen und bewerten. Weiterhin werden bei jedem Schritt einige Hinweise und Tipps aufgelistet.

Weitere detaillierte Informationen und Erläuterungen zu den einzelnen Programmpunkten finden Sie in der Programm-Hilfe. Diese kann z.B. durch Drücken der F1-Taste an beliebigen Positionen im Programm aufgerufen werden.

Weitere Anleitungen und Tutorials finden Sie auch im Downloadbereich unserer Webseite: https://wufi.de/de/service/downloads/

Inhaltsverzeichnis

1. Installation 4

1.1 Systemvoraussetzungen 4

1.2 Anleitung für die Installation 5

2. Überblick über die Menüs 12

2.1 Das WUFI®-Hauptfenster 12

2.2 Die Menüleiste 14

2.3 Die Werkzeugleiste 28

3. Beispielfall - Schritt für Schritt 29

1. Projekt 32

2. Variante 33

3a) Bauteil → Aufbau/Monitorpositionen 34

3b) Bauteil → Orientierung 39

3c) Bauteil → Oberflächenübergangskoeff. 40

3d) Bauteil → Anfangsbedingungen 42

4a) Steuerung → Zeit/Profile 45

4b) Steuerung → Numerik 46

5. Klima 47

5a) Klima → Außen (linke Seite) 48

5b) Klima → Innen (rechte Seite) 51

6. Berechnung und Bewertungsmöglichkeiten 55

7. Schnellgrafik 58

7a) Schnellgrafik → Gesamtwassergehalt 59

7b) Schnellgrafik → Wassergehalt in Schicht 61

7c) Schnellgrafik → Mon.Pos. Temp/Feuchte 63

7d) Schnellgrafik → Mon.Pos. Isoplethen 64

8. Filmdarstellung 66

1. Installation

1.1 Systemvoraussetzungen

Empfohlen:

Betriebssystem:	Microsoft Windows 7, 8 oder 10
Prozessor:	1.6 GHz oder höher
Arbeitsspeicher:	4 GB
Grafikkarte:	128 MB und besser, OpenGL 2.0 fähig
Festplatte:	500 MB freier Speicher

Mindestanforderung WUFI Graph:
Java (JRE) 8 oder höher

Zusätzlicher Speicherplatz für Projektdateien:
1D: durchschnittliches Projekt: 100-200 MB (z.B. 3 Varianten je 5 Jahre)
2D: durchschnittliches Projekt: 2-4 GB/Jahr

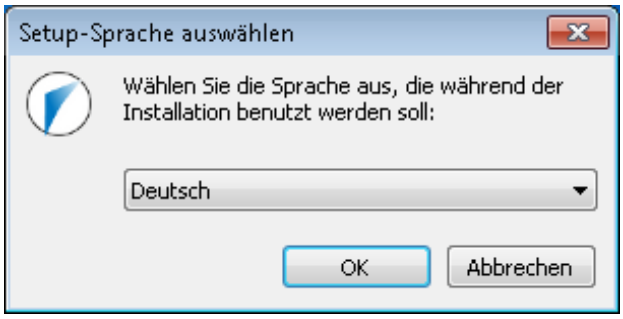
Den jeweils aktuellen Stand dieser Informationen finden Sie auf unserer Homepage unter „Systemvoraussetzungen“: https://wufi.de/de/software/produktuebersicht/systemvoraussetzungen/

1.2 Anleitung für die Installation

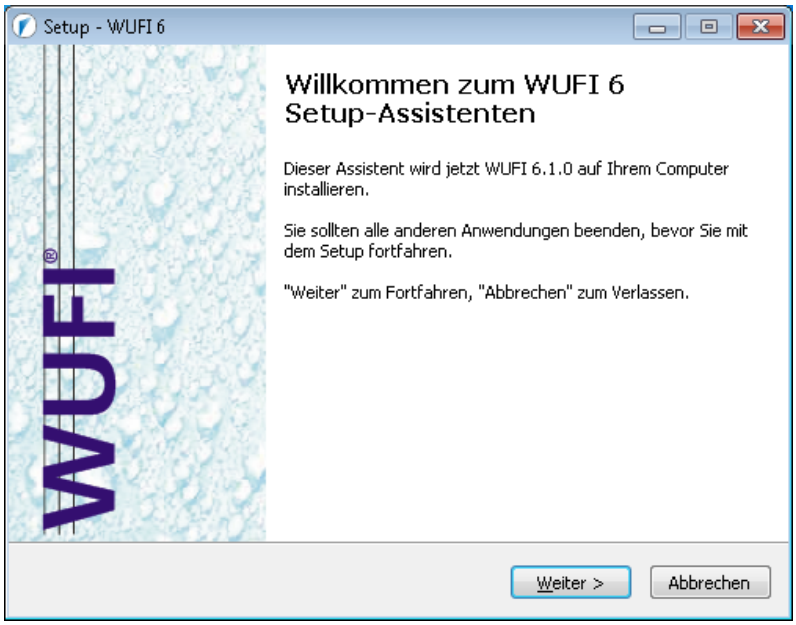
1. Um das Programm zu installieren, laden Sie die zip-Datei über den in der E-Mail angegebenen Download-Link herunter. Anschließend extrahieren Sie diese in ein Verzeichnis Ihrer Wahl.

2. Rufen Sie dann die Installationsdatei „Install_wufi*.exe“ auf. Folgen Sie den Angaben im Programm.

3. Zunächst können Sie die gewünschte Sprache für die Installation aus der Liste wählen und mit OK bestätigen.

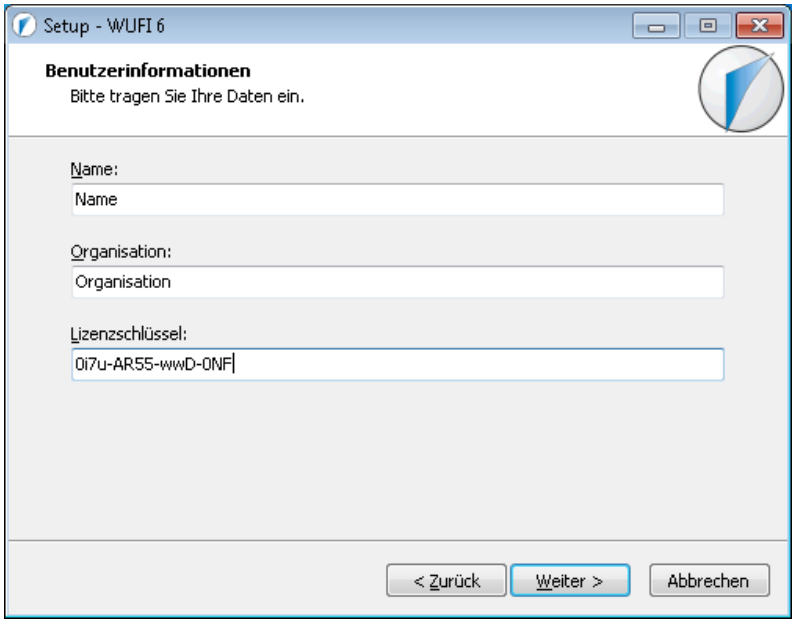


4. Beginnen Sie mit der Installation, indem Sie die Installations-Info mit „Weiter“ bestätigen.



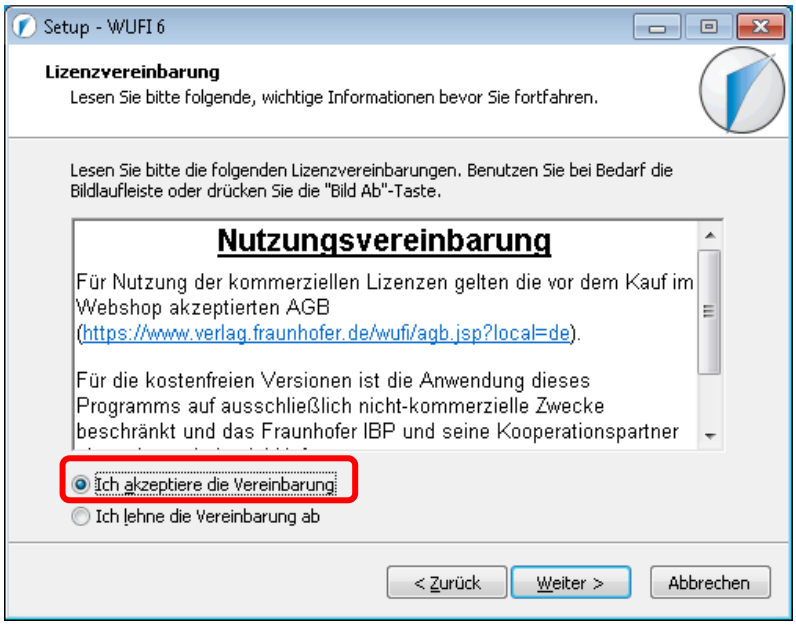
5. Es erscheint eine Eingabemaske für die Lizenzinformationen. Geben Sie hier Name, Organisation und Lizenzschlüssel entsprechend den Angaben aus der enthaltenen E-Mail ein. Groß- und Kleinschreibung werden unterschieden und es dürfen keine Leerzeichen am Anfang oder Ende der Einträge stehen. Wir empfehlen, die Daten mit Kopieren und Einfügen aus unserer E-Mail mit den Lizenzinformationen zu übernehmen.

   Hinweis: Ist der „Weiter“-Button ausgegraut, prüfen Sie bitte, ob alle drei Eingabefelder (Name, Organisation und Lizenzschlüssel) exakt mit den Daten aus unserer E-Mail übereinstimmen und ob sich eventuell ein Leerzeichen vor oder hinter den Eingaben befindet.

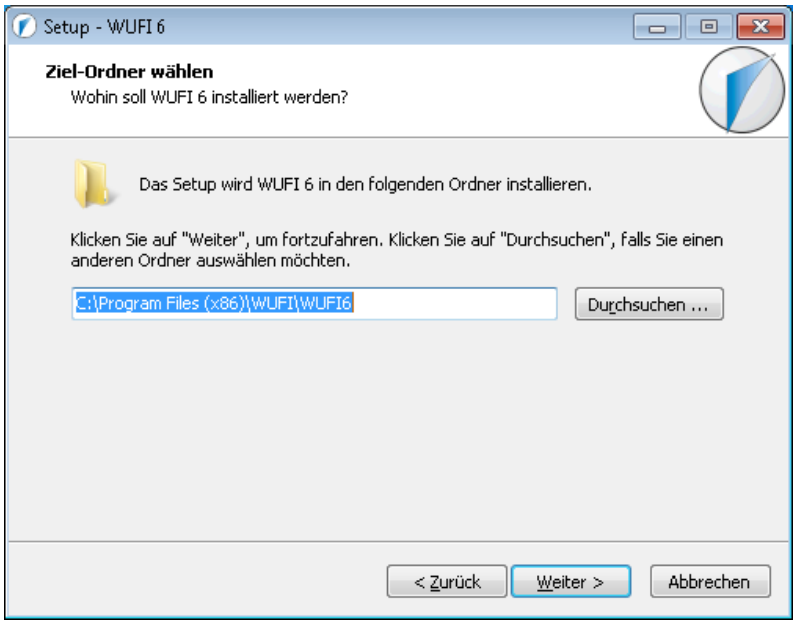


   Fahren Sie fort mit „Weiter“.

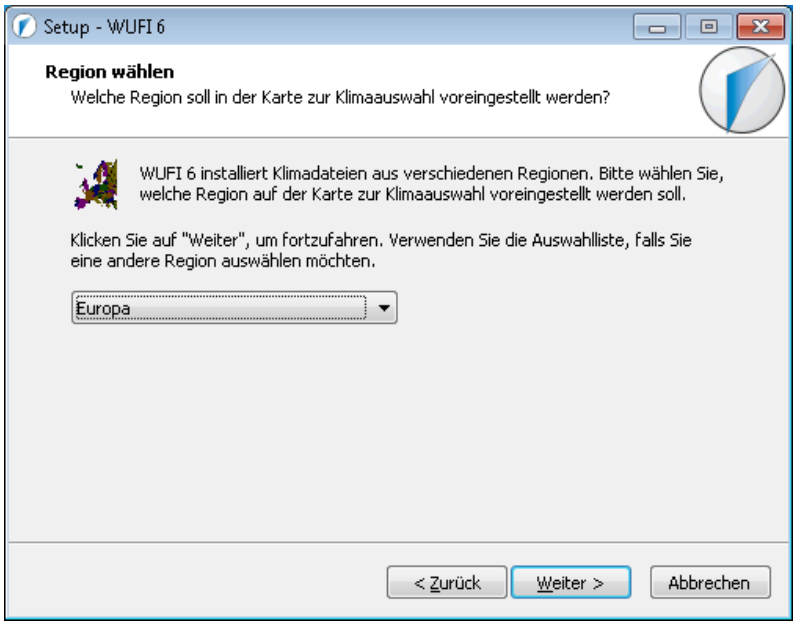
6. Anschließend werden Sie gebeten, die Nutzungsvereinbarung zu akzeptieren. Bitte lesen und akzeptieren Sie die Nutzungsvereinbarung und bestätigen Sie mit „Weiter“.



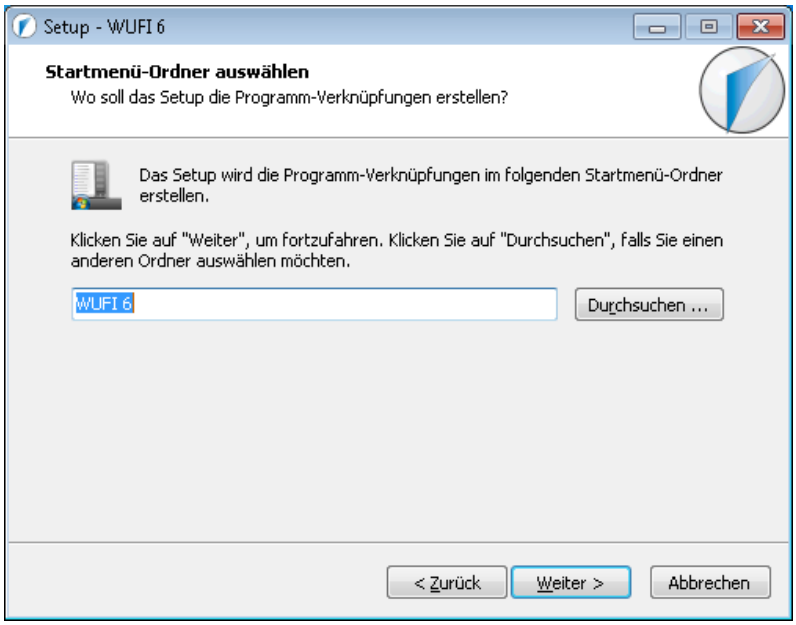
7. Hier können Sie einen Ordner auswählen, in dem WUFI® installiert werden soll. Wir empfehlen, den vorgeschlagenen Ordner (C:\Program Files (x86)\WUFI\WUFI6) zu verwenden. Bestätigen Sie mit „Weiter“.



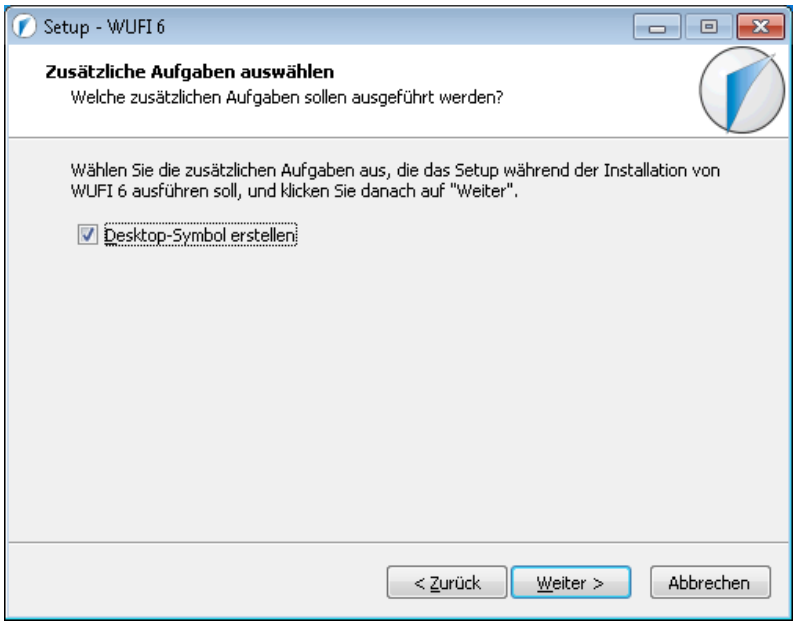
8. Anschließend können Sie die Region auswählen, die in der Karte zur Klimaauswahl im Programm voreingestellt werden soll. Während der Benutzung von WUFI® wird beim Beenden jeweils die letzte Einstellung gespeichert. Fahren Sie fort mit „Weiter“.



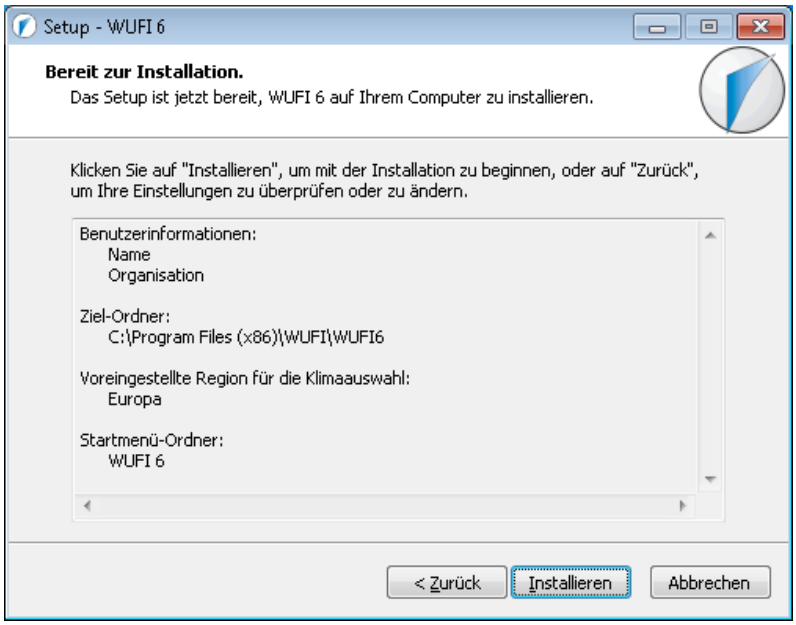
9. Auch der Name des Ordners mit den Links auf WUFI® und seinen Zusatzprogrammen, der im Start-Menü von Windows angelegten wird, kann individuell gewählt werden. Wir empfehlen, die Voreinstellung zu übernehmen. Fahren Sie fort mit „Weiter“.



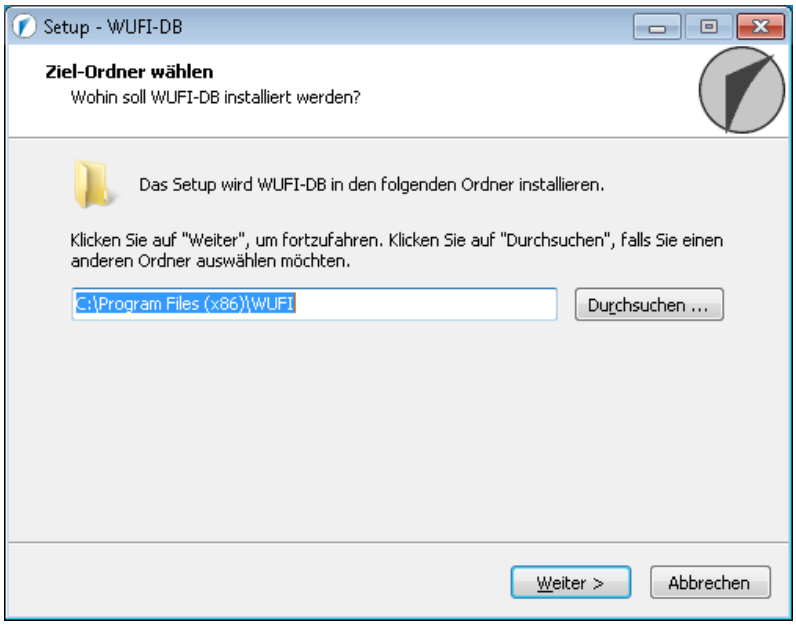
10. Im nächsten Schritt können Sie auswählen, ob ein Desktop-Symbol erstellt werden soll, um WUFI® direkt vom Desktop zu starten. Ist ein Desktop-Symbol nicht erwünscht, muss der Hacken entfernt werden. Fahren Sie fort mit „Weiter“.



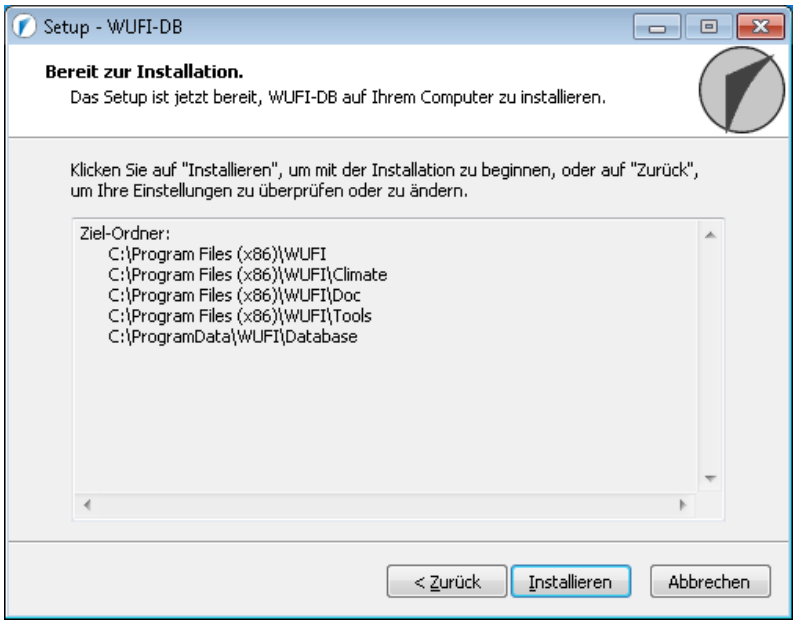
11. Vor Beginn der Installation erhalten Sie eine Übersicht über die vorher getätigten Einstellungen mit den Lizenzdaten, dem Speicherort und den Namen des Startmenü-Ordners nochmals anzeigt. Durch Klicken auf „Installieren“ wird die Installation gestartet.



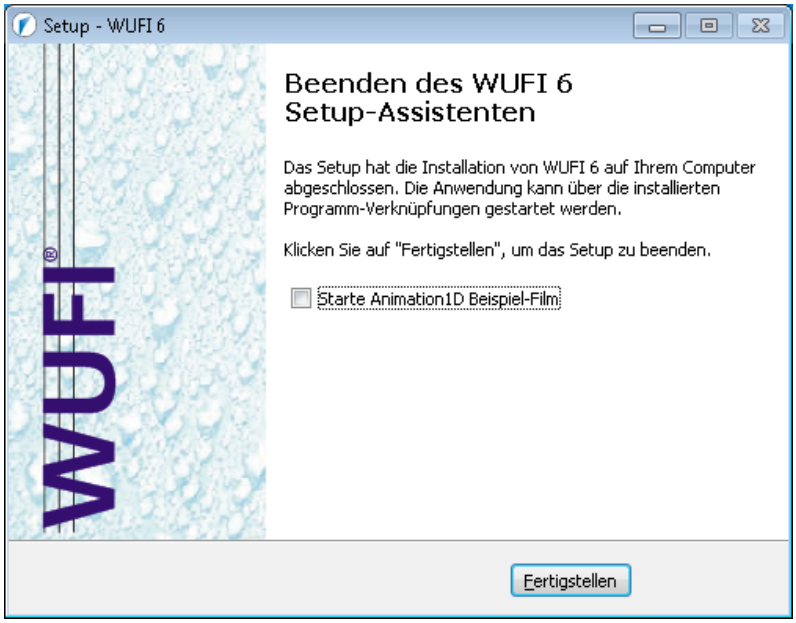
12. Anschließend kann der Ordner zur Installation der WUFI®-Datenbank ausgewählt werden. Wir empfehlen, den vorgeschlagenen Ordner (C:\Program Files (x86)\WUFI) zu verwenden. Fahren Sie fort mit „Weiter“.



13. Vor der Installation der Datenbank bekommen Sie einen Überblick über die Zielordner für Datenbank und Tools angezeigt. Starten Sie die Installation mit Hilfe des Buttons „Installieren“.



14. Bestätigen Sie die erfolgreiche Installation mit „Fertigstellen“. Hier können Sie wählen, ob Sie zum Abschluss der Installation einen Beispiel-Film zur Darstellung der Berechnungsergebnisse mit Animation 1D starten wollen. Anschließend können Sie WUFI® auf Ihrem Rechner starten.

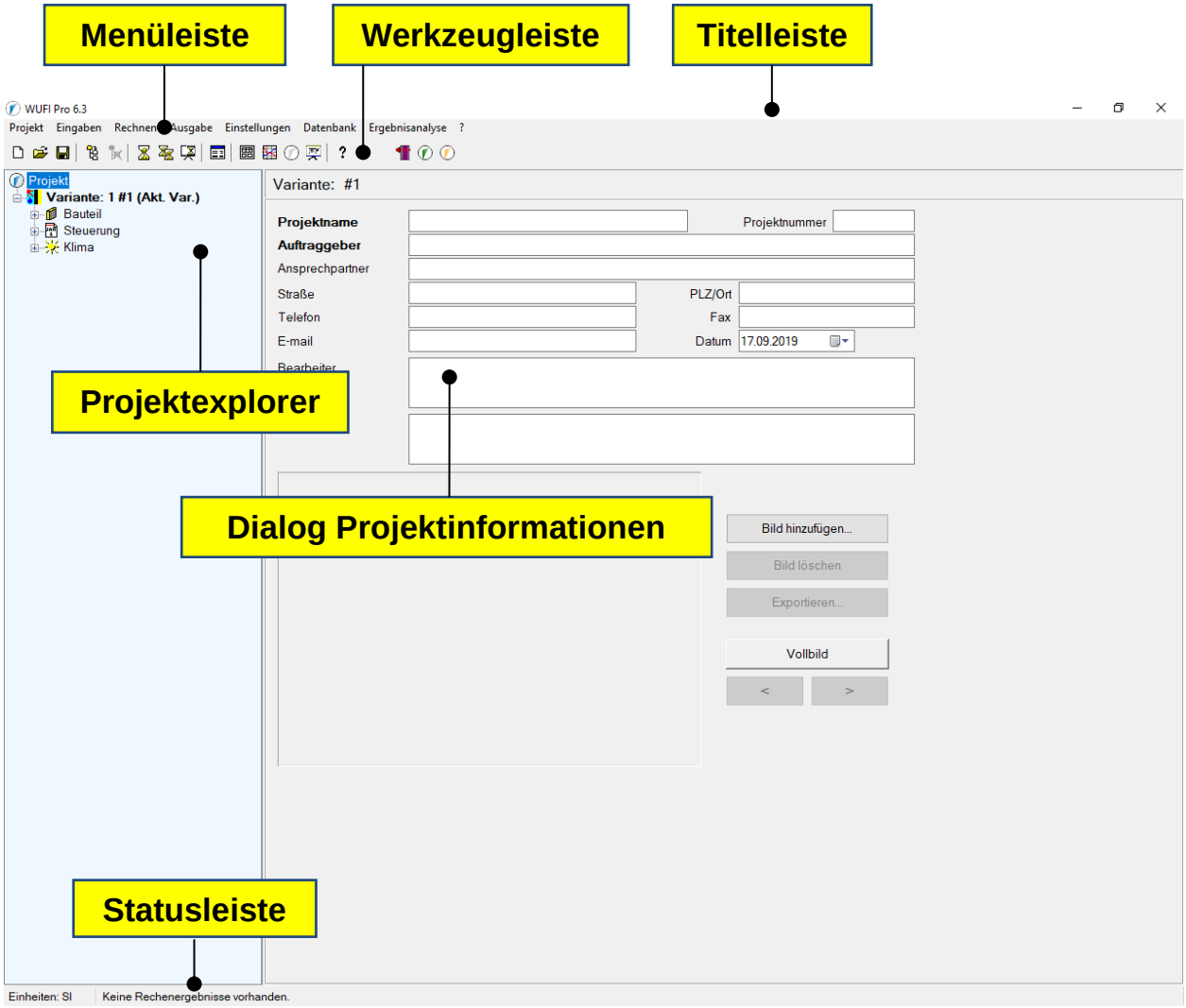


2. Überblick über die Menüs

In diesem Kapitel erhalten Sie einen kurzen Überblick über die Programm- und Menüstruktur.

2.1 Das WUFI®-Hauptfenster

Sobald Sie WUFI® starten, erscheint das Hauptfenster. Von hier aus erreichen Sie alle anderen Dialoge und Menüs. Eine Kurzbeschreibung der einzelnen Elemente finden Sie auf den folgenden Seiten.



Die Elemente des Hauptfensters

Titelleiste:

Hier wird die Programmversion angezeigt (WUFI® 6.X Pro), sowie der Name der Projektdatei, wenn das Projekt bereits gespeichert wurde. In der rechten Ecke können Sie mit Hilfe der Standard-Windows-Schaltflächen die Größe des Programmfensters ändern oder das Programm beenden.

Menüleiste:

Die Menüleiste enthält die verschiedenen Hauptmenüs. Wenn Sie ein Menü mit der Maus öffnen, werden die einzelnen Befehle und Untermenüs angezeigt.

Werkzeugleiste:

Die häufig benutzten Befehle können auch über die Werkzeugschaltflächen aufgerufen werden – dies ermöglicht einen schnellen Zugriff.

Projektexplorer:

Der Projektexplorer ermöglicht alternativ zum Hauptmenü „Eingabe“ in der Menüleiste einen übersichtlichen Zugriff (Baumstruktur) auf die verschiedenen Eingabedaten-Dialoge und zeigt nach der Berechnung auch eine Schnellübersicht über die Ergebnisse (Schnellgrafiken). Für jede neue Variante wird ein neuer Zweig mit den Eingabedaten und Ergebnissen angelegt.

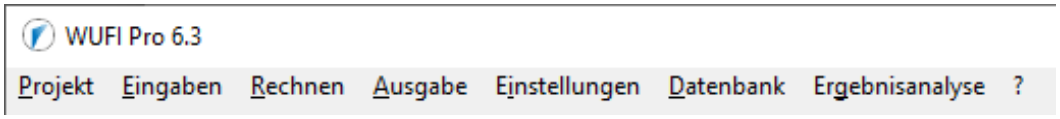
Dialog "Projektinformation":

Hier können verschiedene Informationen wie Name, Projektnummer, Ansprechpartner und Notizen zum aktuellen Projekt eingetragen werden. Im unteren Bereich können auch projektbezogene Fotos und Grafiken eingefügt werden.

Statusleiste:

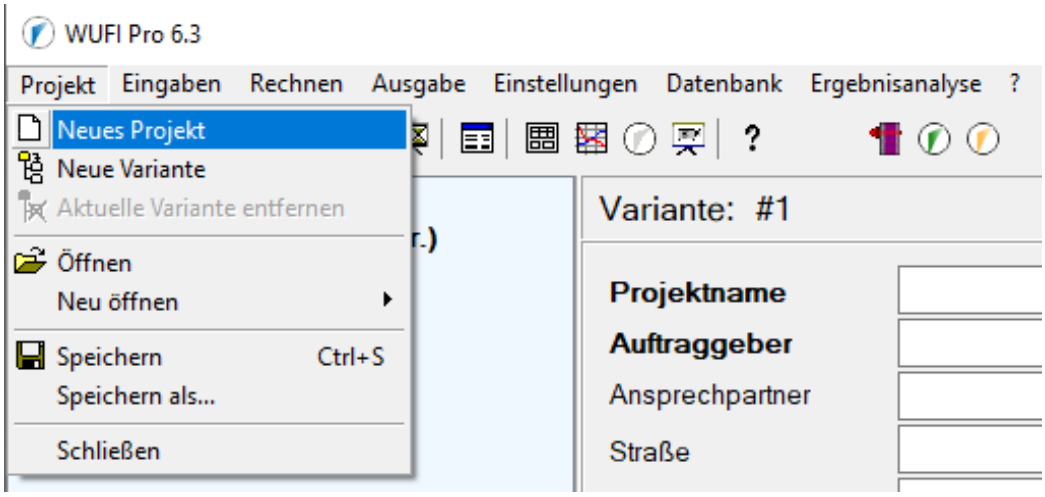
Hier werden Informationen zum gewählten Einheitensystem sowie ggf. der Zeitpunkt des letzten Rechenlaufs angezeigt.

2.2 Die Menüleiste



Die Menüleiste enthält sieben Menüpunkte. Tastatur-Shortcuts werden durch gedrückt halten der ALT-Taste als unterstrichene Buchstaben angezeigt. Wird der Buchstabe dann mit der ALT-Taste gedrückt, öffnet sich das entsprechende Menü.

Menüpunkt "Projekt" (Alt+P)



Neues Projekt:

Erstellt ein neues, leeres Projekt.

Neue Variante:

Erzeugt eine neue Variante innerhalb des aktuellen Projekts.

Aktuelle Variante entfernen:

Entfernt die markierte Variante aus dem aktuellen Projekt.

Öffnen:

Zeigt den Dialog zum Öffnen einer Projektdatei an. Unterstützte Dateiendungen sind *.w6p und *.w5p.

Neu öffnen:

Zeigt eine Liste der zuletzt gespeicherten Projektdateien und erlaubt schnellen Zugriff auf diese Dateien.

Speichern:

Speichert das Projekt. Hierbei werden die Eingabedaten und, falls bereits eine Rechnung durchgeführt wurde, deren Ergebnisse in die Projektdatei gespeichert. Die Inhalte der Projektdatei können unter Einstellungen → Ergebnisdaten… gewählt werden. Zur Sicherung der Eingaben sollten Sie das Projekt während der Erstellung und vor der Berechnung speichern.

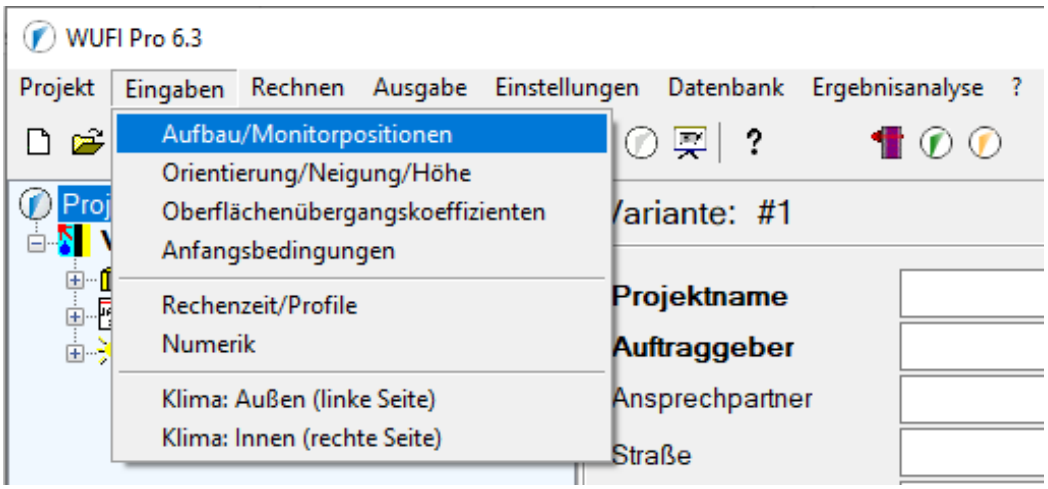
Speichern als…:

Speichert das aktuelle Projekt unter einem neuen Namen (die ursprüngliche Datei bleibt unter ihrem alten Namen unverändert erhalten). Es werden die unter Einstellungen → Ergebnisdaten… gewählten Daten gespeichert.

Schließen:

Beendet WUFI® unter vorheriger Abfrage, ob evtl. vorgenommene Änderungen gespeichert werden sollen.

Menüpunkt "Eingaben" (Alt+E)



Die Dialoge dieses Menüs sind auch über den Projektexplorer (Baumstruktur) anwählbar.

Aufbau/Monitorpositionen:

Hier können Sie den Aufbau des Bauteils eingeben, indem Sie die einzelnen Schichten in der gewünschten Reihenfolge erstellen und die entsprechende Dicke und Materialkenndaten zuweisen. Weiterhin können Einstellungen zu Monitorpositionen vorgenommen werden oder Quellen eingefügt werden. Auch eine Bearbeitung des Rechengitters ist möglich.

Orientierung/Neigung/Höhe:

Dieser Dialog ermöglicht die Festlegung von Orientierung, Neigung und Höhe des Bauteils. Diese Daten sind erforderlich, um die Regen- und Strahlungslast auf die Bauteiloberfläche zu berechnen. Weiterhin kann das Rechenmodell zur Berücksichtigung des Schlagregens gewählt werden.

Oberflächenübergangskoeffizienten:

Hier können die Oberflächenübergangskoeffizienten, wie beispielsweise Wärmeübergangswiderstand, Strahlungsabsorptionskoeffizienten, anhaftender Anteil des Regens usw. eingestellt werden.

Anfangsbedingungen:

Sie können hier die Anfangstemperatur und die Anfangsfeuchte im Bauteil bzw. in den einzelnen Bauteilschichten festlegen.

Rechenzeit/Profile:

Hier kann der Berechnungszeitraum festgelegt werden, über den die Simulation durchgeführt werden soll. Weiterhin können Zeitpunkte zum Erstellen von Profilen definiert werden, an denen die Profile für Temperatur, relative Feuchte und Wassergehalt über den Bauteilquerschnitt ausgegeben werden können.

Numerik:

Hier können die numerischen Einstellungen für die Lösung der Differentialgleichungen beeinflusst werden.

Klima: Außen (linke Seite):

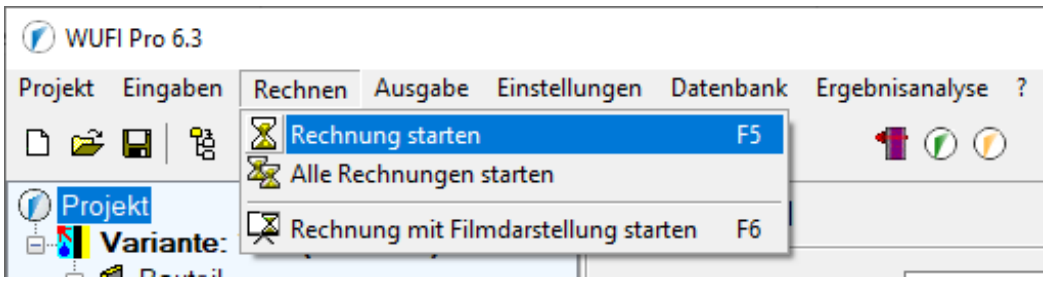
In diesem Dialog können Sie das Außenklima bzw. bei Berechnung eines Innenbauteils die Bedingungen an der linken Seite der Konstruktion definieren. Sie können z.B. einen Klimastandort aus der Karte wählen oder eine eigene Klimadatei auswählen.

Klima: Innen (rechte Seite):

Öffnet den Dialog, der zur Festlegung des Innenklimas. bzw. der Bedingungen auf der rechten Seite des Bauteils dient. Hier können verschiedene Modelle zur Ableitung des Innenklimas vom Außenklima (z.B. DIN EN 15026, EN 13788) oder eine Klimadatei gewählt werden.

Achtung: an der rechten Seite der Konstruktion werden nur Temperatur und relative Feuchte aus der Klimadatei verwendet, die Klimaelemente Strahlung und Niederschlag werden nicht berücksichtigt.

Menüpunkt "Rechnen" (Alt+R)



Rechnung starten:

Startet die Berechnung der aktuell gewählten Variante. Es wird nur der Fortschritt der Berechnung angezeigt, kein „Film“.
Ist eine Variante gesperrt, wird diese kursiv dargestellt. Eine Berechnung ist dann erst nach nochmaliger Bestätigung möglich (Varianten können unter „Ausgabe → Info: Letzter Rechenlauf“ ge- und entsperrt werden).

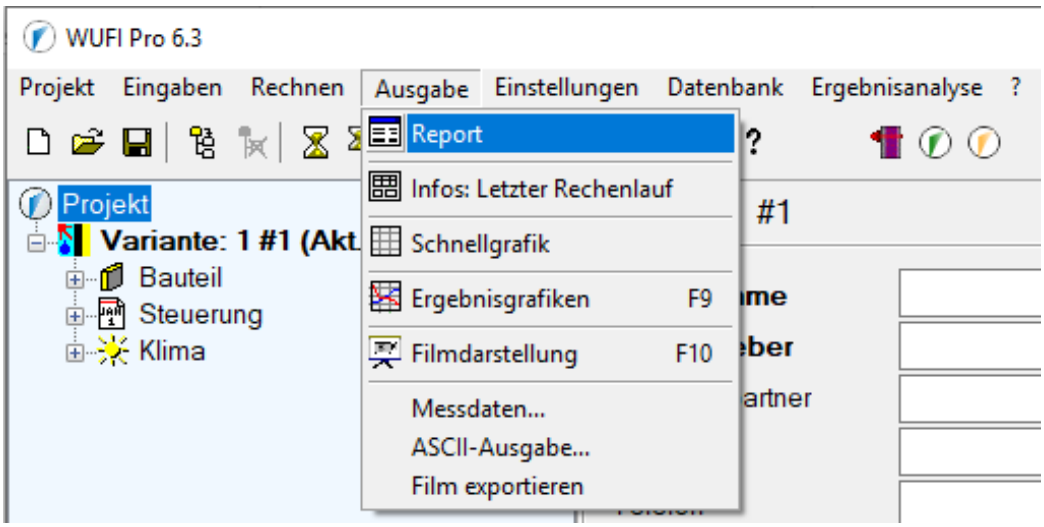
Alle Rechnungen starten:

Startet die Berechnung aller Varianten des Projekts nacheinander. Es wird nur der Fortschritt der Berechnung angezeigt, kein „Film“. Diese Funktion ist vorteilhaft bei der Durchführung umfangreicher Berechnungen z.B. über Nacht. Der Projektbaum wird auf die Anzeige der Variantennamen minimiert und die jeweils aktuell zu berechnende Variante blau hinterlegt.
Gesperrte Varianten (kursiv dargestellt) werden nicht mitberechnet. Varianten können unter „Ausgabe → Info: Letzter Rechenlauf“ ge- und entsperrt werden.

Rechnung mit Filmdarstellung starten:

Öffnen Sie diesen Dialog, um die Berechnung mit gleichzeitiger Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Wärme- und Feuchteprofile ("Film") innerhalb des Bauteils zu starten.
Ist eine Variante gesperrt, wird diese kursiv dargestellt. Eine Berechnung ist dann erst nach nochmaliger Bestätigung möglich (Varianten können unter „Ausgabe → Info: Letzter Rechenlauf“ ge- und entsperrt werden).

Menüpunkt "Ausgabe" (Alt+A)



Report:

Dieser Dialog zeigt eine druckbare Ausgabe mit den Eingabedaten (Bauteilaufbau, Materialdaten etc.) und einer Zusammenfassung der letzten Rechnung. Auch Materialdatenblätter und Ergebnisgrafiken können angezeigt werden (die verfügbaren Ergebnisgrafiken können unter „Ausgabe → Ergebnisgrafiken“ bearbeitet werden).

Infos: **Letzter Rechenlauf**:

Öffnet eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse der letzten Berechnung. Diese erlaubt die numerische Qualität der Berechnung zu beurteilen.

Schnellgrafik:

Die Schnellgrafiken bieten einen schnellen Überblick über ausgewählte Rechenergebnisse wie Gesamtwassergehalt, Wassergehalt in den einzelnen Schichten, Temperatur und relative Feuchte an den Monitorpositionen etc.

Ergebnisgrafiken:

In diesem Dialog werden die Berechnungsergebnisse grafisch als Verläufe oder Profile dargestellt. Weiterhin können eigene Diagramme erstellt werden. Die Ergebnisgrafiken werden im Seitenlayout dargestellt und können dadurch direkt gedruckt werden.

Filmdarstellung:

Darstellung der thermischen und hygrischen Prozesse innerhalb des Bauteils als Animation („Film“) der stündlichen Profile der Temperatur, der relativen Feuchte, des Wassergehalts und der Randbedingungen. Diese Ausgabe ist nur möglich, wenn Rechenergebnisse vorliegen.

Messdaten:

Hier können eigene Messdaten aus einer Datei eingelesen werden, die dann in den Ergebnisgrafiken im Vergleich mit den Rechenergebnissen dargestellt werden können. Dies erlaubt den unmittelbaren Vergleich zwischen Rechnung und Messung.

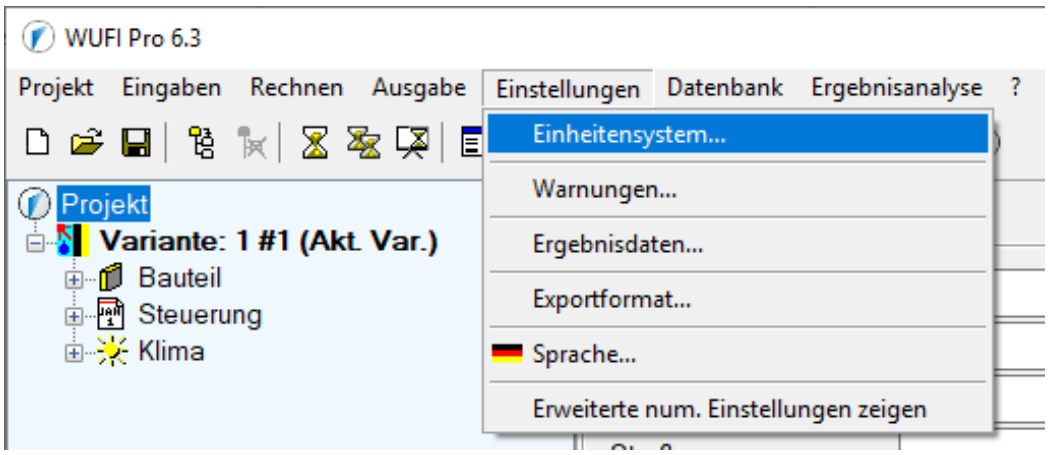
ASCII-Ausgabe:

Alternativ zur Grafikdarstellung in WUFI® ist es auch möglich, die Rechenergebnisse in eine ASCII-Datei zu exportieren und in anderen Programmen oder einer geeigneten Analysesoftware (z.B. Excel) weiterzuverwenden.

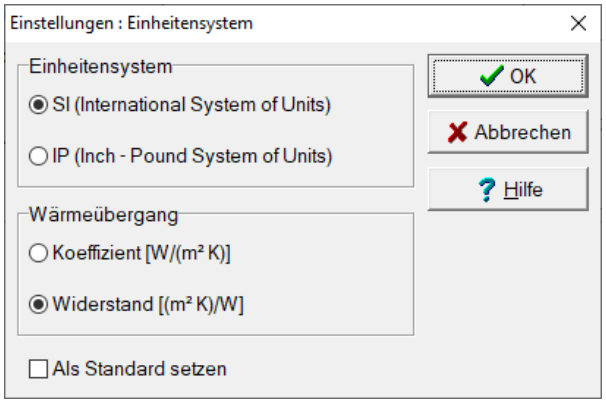
Film exportieren:

Die Ergebnisdaten der Berechnung können hier im WUFI®-Film-Format exportiert werden. Diese *.fid-Dateien können dann mit dem kostenlos herunterladbaren Standalone-Filmbetrachter „WUFI® Animation 1D“ dargestellt werden (C:\Program Files (x86)\WUFI\WUFI6\ → Animation1D.exe).

Menüpunkt "Einstellungen" (Alt+i)



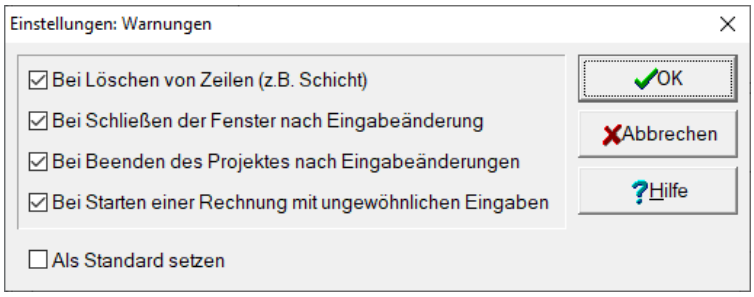
Einheitensystem:



In diesem Menü kann das Einheitensystem zwischen SI- und IP-Einheiten umgeschaltet werden und festgelegt werden, ob der Wärmeübergang an der Oberfläche im Programm als Koeffizient oder als Widerstand (das Reziproke des Koeffizienten) dargestellt werden soll.

Durch anhaken der Checkbox „Als Standard setzen“ werden die gewählten Einstellungen dauerhaft gespeichert.

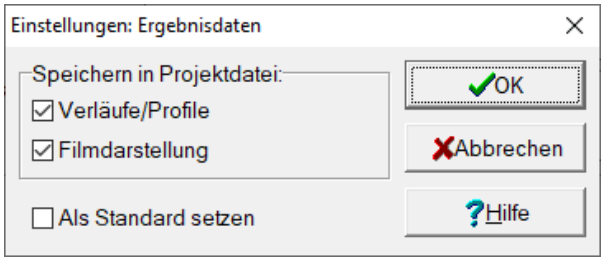
Warnungen:



Legen Sie die Ereignisse fest, deren Auftreten eine Warnmeldung nach sich ziehen soll.

Durch anhaken der Checkbox „Als Standard setzen“ werden die gewählten Einstellungen dauerhaft gespeichert.

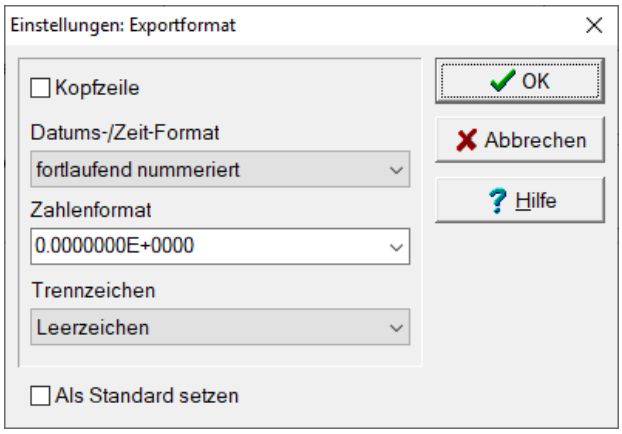
Ergebnisdaten:



Wählen Sie aus, welche Ergebnisdaten (Verläufe/Profile, Filmdarstellung) beim Speichern in der Projektdatei gespeichert werden sollen. Wenn Sie das Speichern der Filmdarstellung ausschalten, können Sie die Dateigröße reduzieren (entweder für die Archivierung oder um die Eingabedaten weiterzugeben).

Durch anhaken der Checkbox „Als Standard setzen“ werden die gewählten Einstellungen dauerhaft gespeichert.

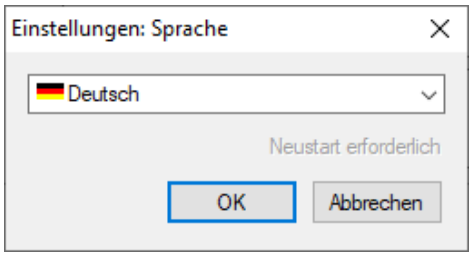
Exportformat:



Spezifizieren Sie das Ausgabeformat für die ASCII-Ausgabe.

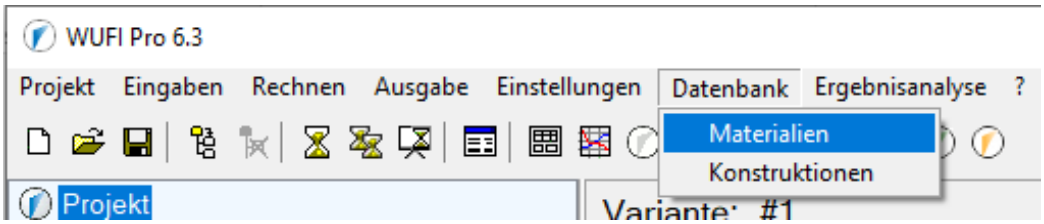
Durch anhaken der Checkbox „Als Standard setzen“ werden die gewählten Einstellungen dauerhaft gespeichert.

Sprache:



Schalten Sie WUFI® in eine andere Sprache um (erfordert Neustart). Die Sprachen sind mit den jeweiligen Landesflaggen gekennzeichnet.

Menüpunkt "Datenbank" (Alt+D)



Materialien:

Öffnet die Materialdatenbank zur Ansicht oder zum Bearbeiten.

Konstruktionen:

Öffnet die Konstruktionsdatenbank zur Ansicht oder zum Bearbeiten.

Menüpunkt "Ergebnisanalyse" (Alt+g)

In diesem Menü werden Zusatzprogramme zur Ergebnisanalyse angezeigt.
Die Postprozessoren

- WUFI® Bio
- WUFI® Mould VTT

werden nur angezeigt, wenn diese auf dem Computer installiert sind. Weitere Informationen sowie den Download-Link der einzelnen Postprozess-Module finden Sie unter: https://wufi.de/de/software/wufi-zusatzprogramme/.

Hinweis: einige Postprozessoren (WUFI® Corr, MRD) können nur im WUFI®-Film (Animation 1D) verwendet werden und werden daher hier nicht angezeigt.

WUFI® Graph:

Das Auswertetool WUFI® Graph dient zur Auswertung der Berechnungsergebnisse und ermöglicht das Vergleichen mehrerer Varianten. Nähere Informationen finden Sie in der WUFI® Graph-Hilfe.

Wärmedurchgang:

Der Postprozessor "Wärmedurchgang" bewertet den instationären Wärmeverlust durch das Bauteil anhand der errechneten Wärmeströme.

WUFI® Bio:

Der Postprozessor WUFI®-Bio bewertet das Risiko für Schimmelpilzwachstum an der Innenraumoberfläche. Nähere Informationen finden Sie in der WUFI® Bio-Hilfe.

Dieser Postprozessor wird nur angezeigt, wenn er auf dem Computer installiert ist. Weitere Informationen sowie den Download-Link finden Sie unter: https://wufi.de/de/software/wufi-zusatzprogramme/.

WUFI® Mould VTT:

Der Postprozessor WUFI® Mould Index VTT ist in Kooperation zwischen dem finnischen Forschungsinstituts VTT und dem Fraunhofer IBP entstanden. Es erlaubt die Prognose des Schimmelpilzwachstums in Abhängigkeit vom Untergrundmaterial, der Temperatur und der relativen Feuchte und bewertet es mit dem sog. Mould Index (MI), der die Bewuchsintensität anhand einer leicht verständlichen sechsstufigen Skala angibt. Dieser Postprozessor wird nur angezeigt, wenn er auf dem Computer installiert ist. Weitere Informationen sowie den Download-Link finden Sie unter: https://wufi.de/de/software/wufi-zusatzprogramme/.

Das Hauptmenü "?" (Alt+?)

Dieses Menü enthält die Programm-Hilfe zu WUFI®.

Allgemeines:

Öffnet die Startseite der Programm-Hilfe. Sie können die Pfeile in der Kopf- und Fußzeile jeder Seite benutzen, um systematisch durch alle Hilfethemen zu blättern.

Inhalt:

Zeigt das Inhaltsverzeichnis der Programm-Hilfe.

WUFI® im Internet:

Öffnet die WUFI®-Homepage (www.wufi.de) in Ihrem Browser.

WUFI® Forum:

Öffnet das WUFI®-Forum (www.wufi-forum.com) in Ihrem Browser.

Über WUFI®...:

Zeigt die Versions- und Lizenzinformationen der installierten WUFI®-Version an. Weiterhin wird ggf. das Ablaufdatum der Lizenz angegeben.

2.3 Die Werkzeugleiste

Für den Schnellzugriff sind den Schaltflächen in der Werkzeugleiste folgende Befehle oder Dialoge zugeordnet.

- Neues Projekt erstellen
- Projektdatei öffnen
- Projekt speichern
- Neue Variante erstellen
- Aktuelle Variante entfernen
- Berechnung ohne Filmdarstellung starten
- Berechnung aller enthaltenen Varianten (ohne Filmdarstellung)
- Berechnung mit Filmdarstellung starten
- Report öffnen
- Zusammenfassung der letzen Rechenergebnisse anzeigen
- Ergebnisgrafiken anzeigen
- WUFI®-Graph öffnen
- Film abspielen
- Hilfe zum aktuellen Thema anzeigen
- Postprozessor „Wärmedurchgang“ öffnen
- Postprozessor „WUFI® Bio“ öffnen (nur wenn installiert)
- Postprozessor „WUFI® Mould VTT“ öffnen (nur wenn installiert)

3. Beispielfall - Schritt für Schritt

Diese Schnelleinführung zeigt anhand eines Beispiels Schritt für Schritt, wie Sie in WUFI® ein Projekt eingeben und berechnen. Für detaillierte Informationen zu den einzelnen Menüs und Dialogen lesen Sie die entsprechenden Kapitel in der Programm-Hilfe.

Um einen neues Projekt einzugeben, ist es sinnvoll, sich an der Baumstruktur von oben nach unten durchzuarbeiten. Ist man unten angekommen, kann das Projekt berechnet werden. Folgende Punkte sind dabei nacheinander „abzuarbeiten“:

1. **Projekt**
   Ermöglicht die Eingabe von Projektinformationen wie z.B. Daten des Auftraggebers, Bilder etc.

2. **Variante**
   Geben Sie Ihrer Variante einen eindeutigen Namen, so dass Sie auch nach längerer Zeit noch wissen, welche Variation Sie in dieser Variante berechnet haben.

3. **Bauteil**
   a) Aufbau/Monitorpositionen
   Geben Sie hier den Aufbau ihres Bauteils ein, indem Sie die einzelnen Bauteilschichten anlegen und diesen Materialdaten aus der Datenbank zuweisen oder diese ggf. von Hand eingeben.
   Nach Eingabe aller Schichten und deren Dicke wird das numerische Gitter für die Berechnung automatisch festgelegt.
   Sie können zusätzlich zur Außen- und Innenoberfläche an weiteren Stellen innerhalb des Bauteils Monitorpositionen setzen.

   b) Orientierung
   Wählen sie für Ihr Bauteil Orientierung, Neigung und Höhe über Gelände. Weiterhin kann das Schlagregenmodell variiert werden.

   c) Oberflächenübergangskoeffizient
   Die Oberflächenübergangskoeffizienten geben an, in welchem Ausmaß die Umgebungsbedingungen das Bauteil beeinflussen. Hier können Sie Angaben zu den Wärmeübergangskoeffizienten, zu den s_d-Werten an

den Oberflächen, zum Strahlungsaustausch und zur Regenaufnahme machen.

d) Anfangsbedingungen
Sie nehmen Eingaben zu den Anfangsbedingungen im Bauteil vor, d.h. sie geben die Temperatur und den Feuchtegehalt bei Beginn der Rechnung sowie ggf. deren Verteilung an.

4. **Steuerung**
   a) Zeit/Profile
   Geben sie Startzeitpunkt, Berechnungszeitraum, Ausgabeprofile sowie den Rechenzeitschritt an.

   b) Numerik
   Hier können erweiterte Einstellungen zur Lösung der Gleichungssysteme getätigt werden.
5. **Klima**
   a) Außen (linke Seite)
   b) Innen (rechte Seite)

   Hier legen Sie Innen- und Außenklima fest; Es besteht die Wahl zwischen Außenklimadaten aus der Karte (mit WUFI® mitgeliefert), eigenen Klimadaten (innen oder außen), verschiedenen Modellen für das Innenklima, konstanten Verhältnissen (z.B. bei Klimatisierung) oder sinusförmigen Jahresverläufen.

6. **Berechnung und Bewertungsmöglichkeiten**

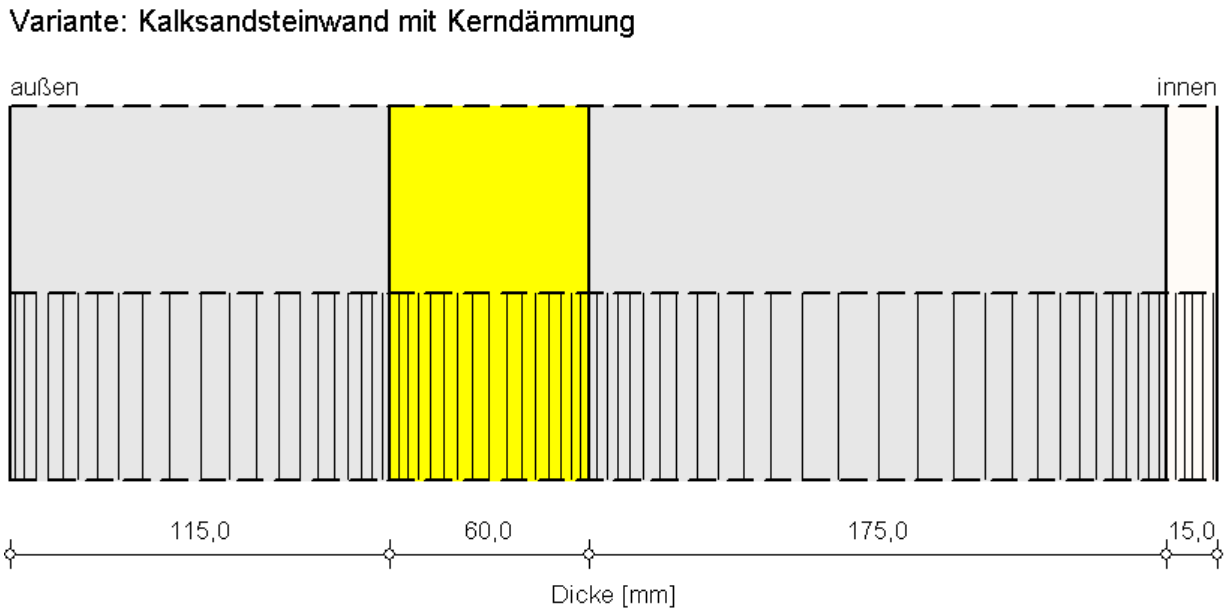
7. **Schnellgrafiken**
   a) Gesamtwassergehalt
   b) Wassergehalt in Schicht
   c) Mon.Pos. Temp/Feuchte
   d) Mon.Pos. Isoplethen

8. **Filmdarstellung**

Folgendes Beispiel wird in der folgenden schrittweisen Anleitung betrachtet:

Außenwand eines Wohnhauses aus Kalksandstein mit Kerndämmung

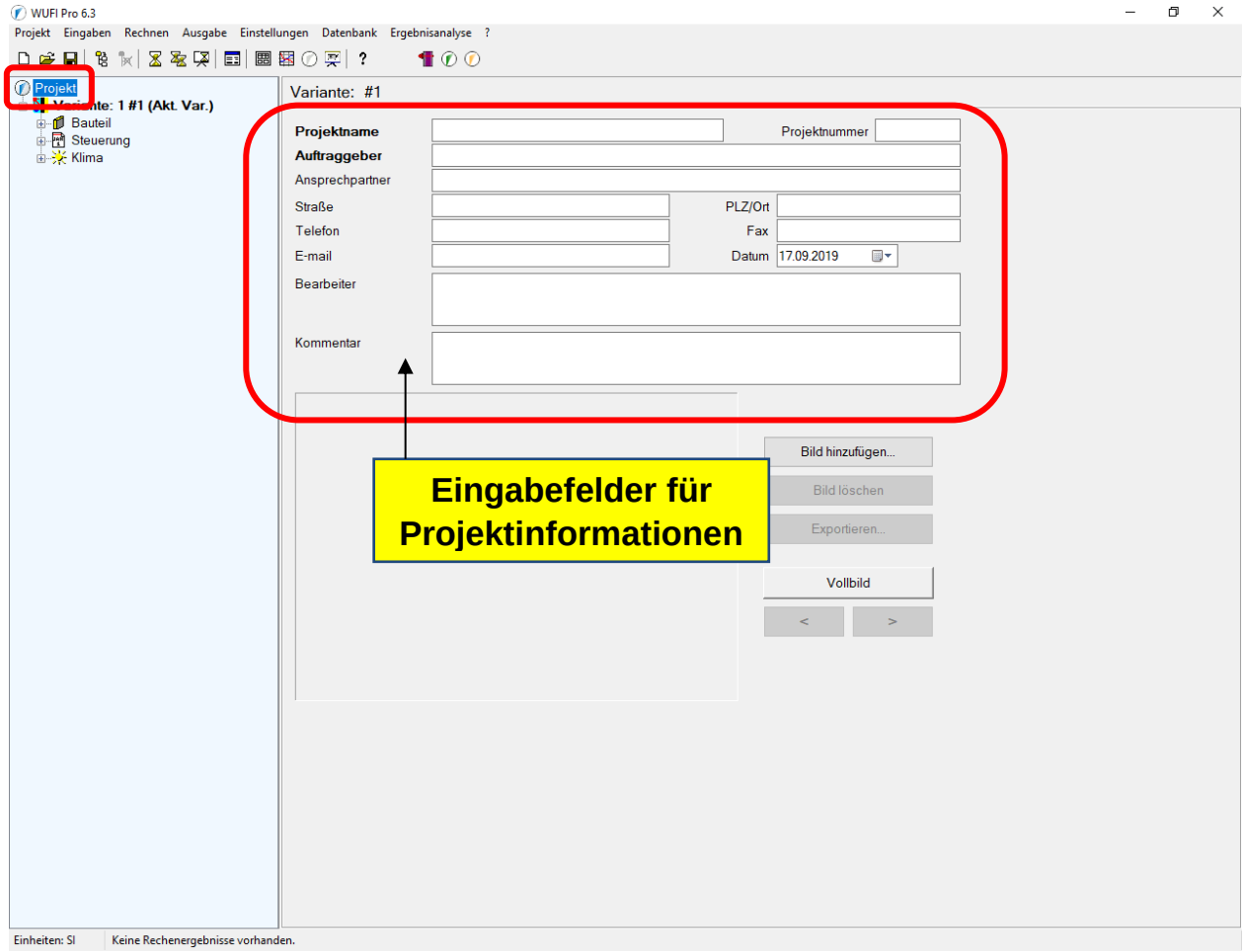
- Orientierung: West
- Standort: Holzkirchen
- Innenklima: normale Feuchtelast + 5 % nach DIN 4108-3
- Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl: 0,4 (Kalkstein hell)
- Explizite Strahlungsbilanz: nicht verwendet
- Anfangsbedingung: Ausgleichsfeuchte bei 80 % r.F.
- Berechnungszeit: 3 Jahre (Beginn: Oktober)



Aufbau von außen nach innen:

11,5 cm	Kalksandstein (Dichte: 1900kg/m³)
6,0 cm	Mineralfaser (Wärmeleit.: 0,04W/mK)
17,5 cm	Kalksandstein (Dichte: 1900kg/m³)
1,5 cm	Innenputz (Gips)

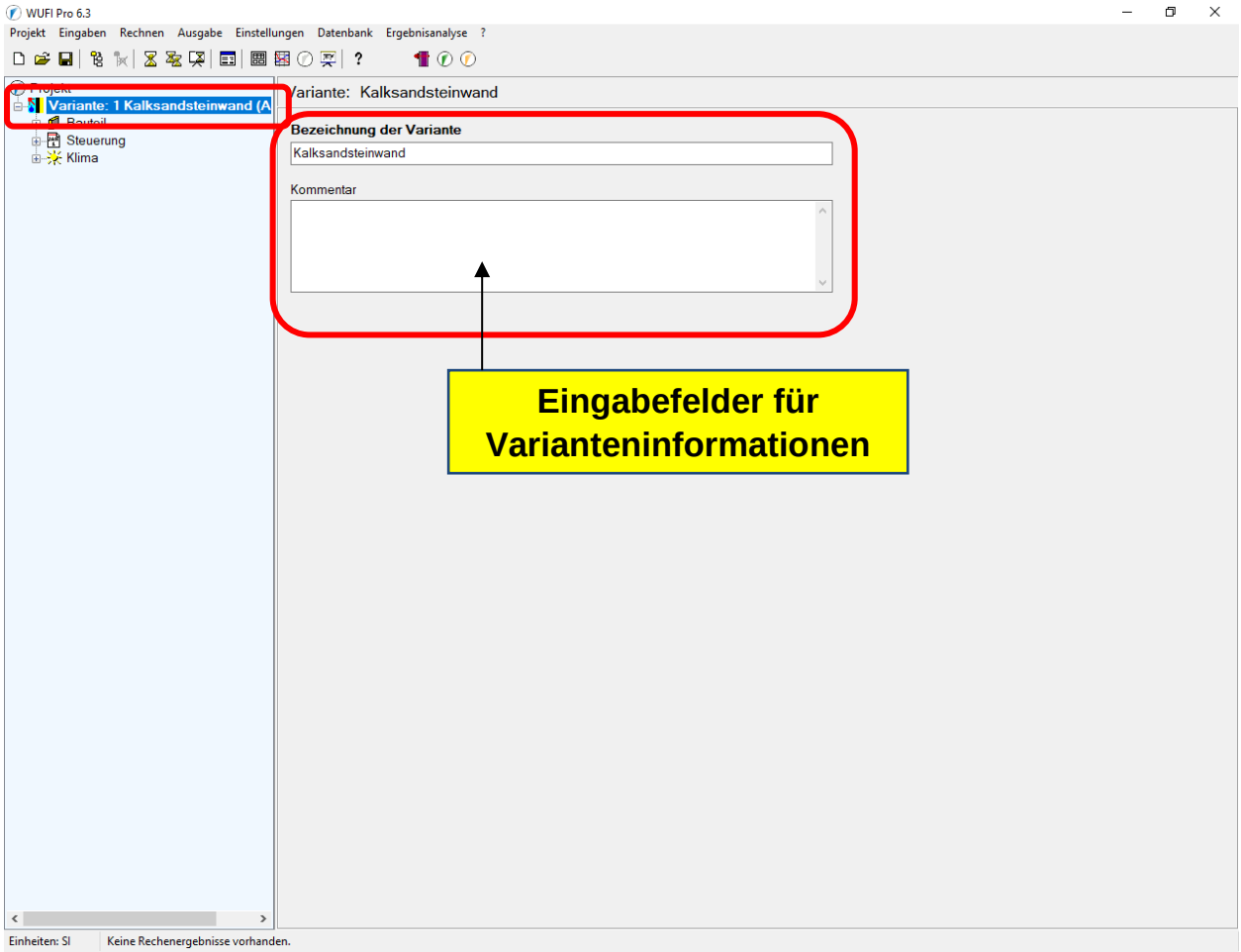
1. Projekt



Dieser Dialog dient als "Merkzettel" für die wichtigsten Informationen zum aktuellen Projekt. Diese stehen so immer zusammen mit den Projektdaten und Rechenergebnissen zur Verfügung. Das Ausfüllen der Felder ist optional und hat lediglich Informationscharakter.

Im Feld Datum kann ein anderes als das Datum der Erstellung (erste Speicherung) der Projektdatei gewählt werden.

2. Variante

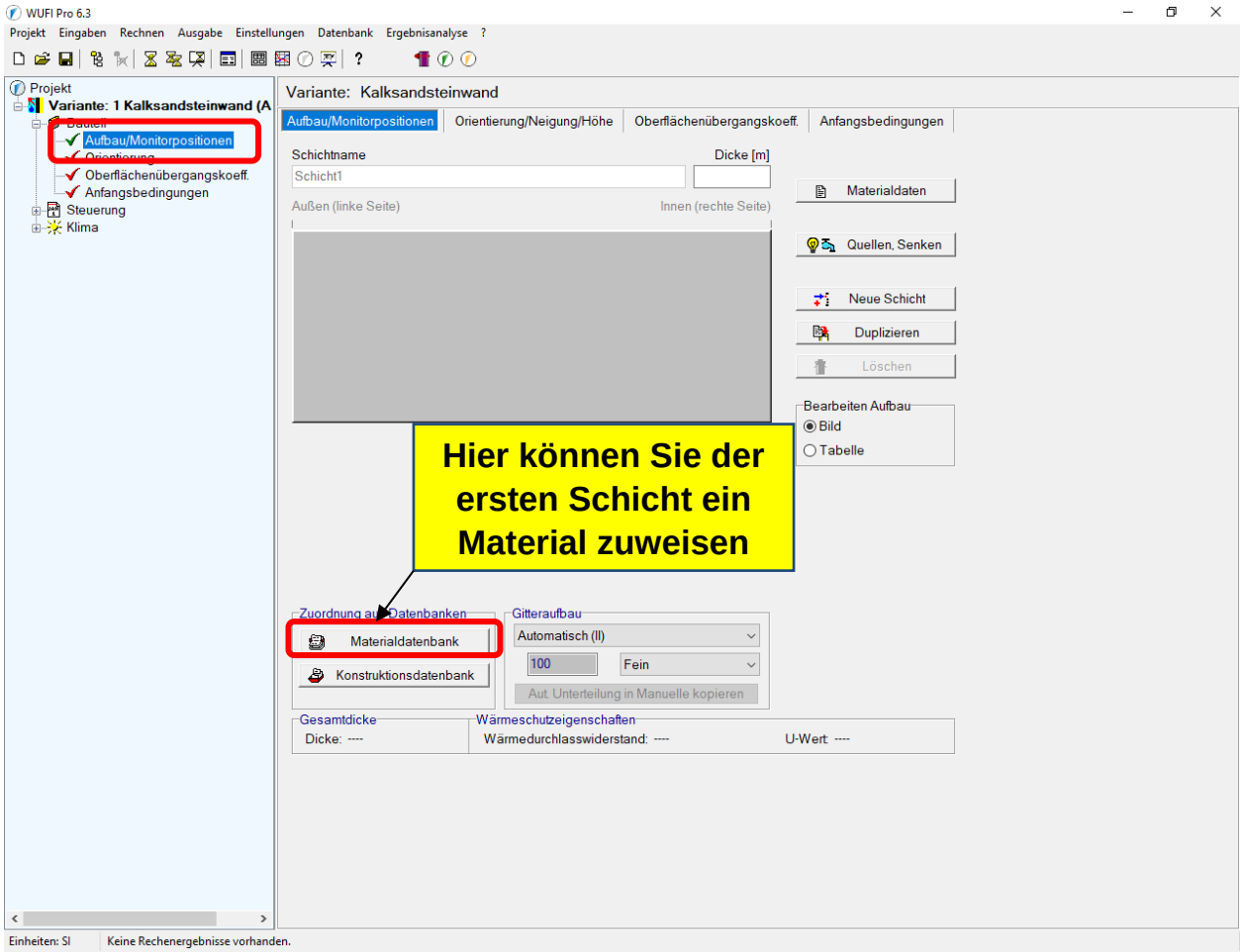


In diese Felder können Sie einen Namen sowie eine Kurzbeschreibung für die aktuelle Variante eingeben.

Dies ist insbesondere bei mehreren Varianten innerhalb einer Projektdatei sinnvoll, um auch zu einem späteren Zeitpunkt nachvollziehen zu können, welche Variation in der jeweiligen Variante berechnet wurde.

3a) Bauteil → Aufbau/Monitorpositionen

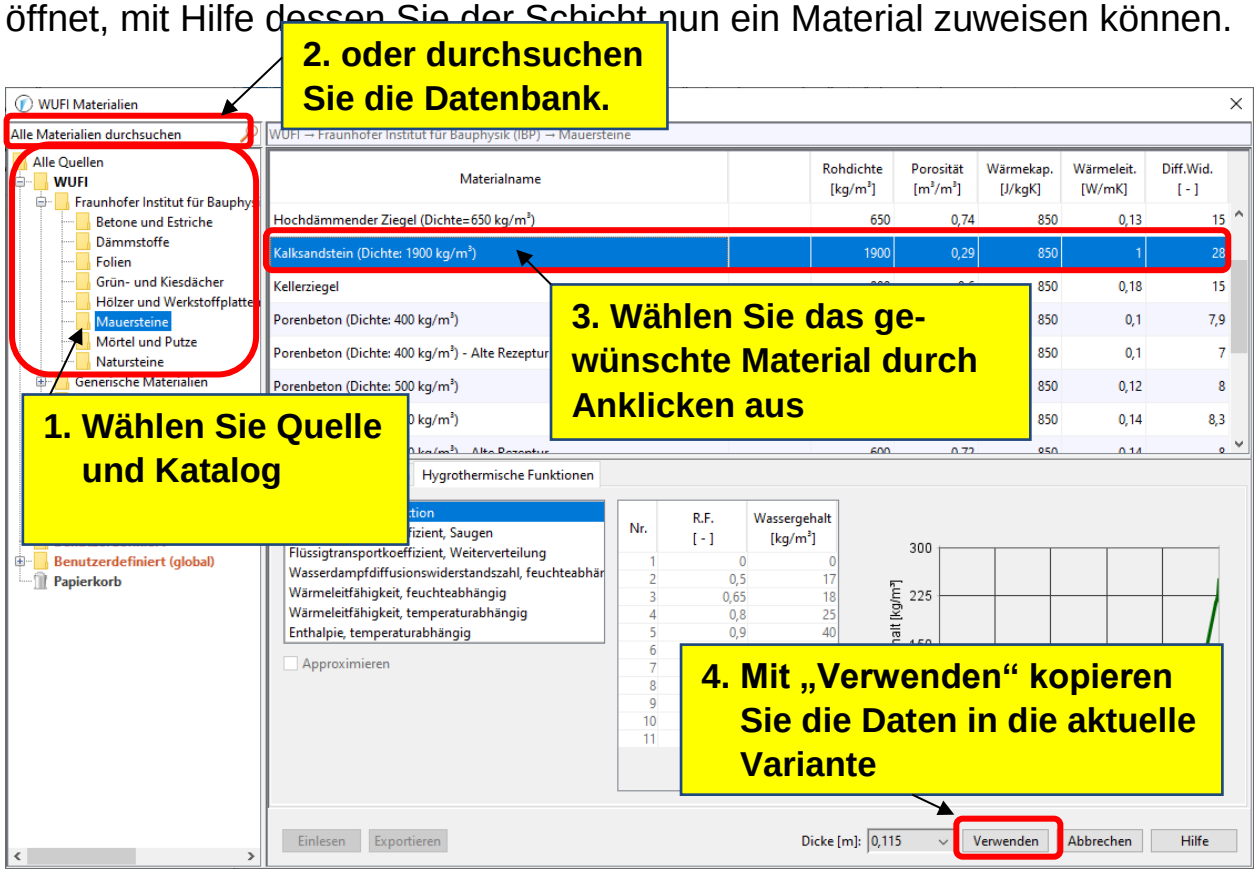
Hier geben Sie den Aufbau des Bauteils ein, d.h. Sie erstellen Schichten und ordnen diesen die gewünschten Materialien zu. Fast alle Eingaben werden sofort grafisch dargestellt; dies ermöglicht eine einfache Kontrolle der Eingaben.



Mit einem Mausklick auf "Bauteil" oder "Aufbau/Monitorpositionen" wird der oben abgebildete Dialog angezeigt. Der Aufbau besteht zunächst nur aus einer Schicht, der kein Material zugeordnet ist. Links befindet die Außen-, rechts die Innenoberfläche des Bauteils.

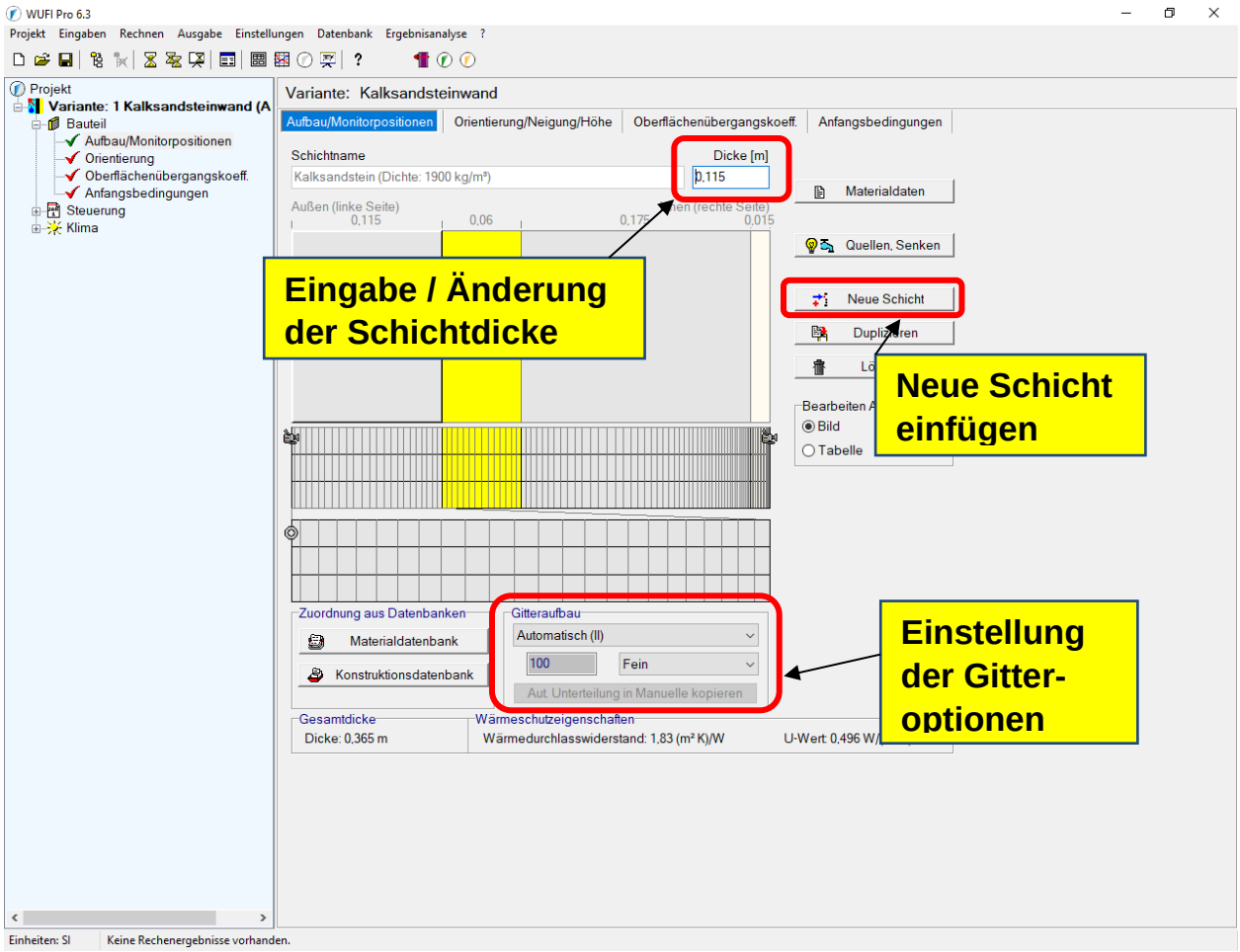
Prinzipiell können auf beiden Seiten sowohl Außen als auch Innenraumbedingungen angesetzt werden, allerdings kann nur auf der „linken Seite“ der Einfluss von Außenklimaelementen wie Wind, Regen und Strahlung berücksichtigt werden - auf der „rechten Seite“ sind die Randbedingungen auf Temperatur und relative Feuchte beschränkt – Siehe auch 3.5. Klima.

Mit der Schaltfläche "Materialdatenbank" wird der gleichnamige Dialog geöffnet, mit Hilfe dessen Sie der Schicht nun ein Material zuweisen können.



In diesem Dialog können Sie Materialien für die aktuelle Schicht im Aufbau auswählen und zuordnen. Entweder Sie durchsuchen die Materialdatenbank nach einem Material oder Sie wählen aus dem Projektbaum die gewünschte Quelle und den gewünschten Katalog. Dann klicken Sie auf die Zeile mit dem gewünschten Material. Die zugehörigen Grundkennwerte werden hinter dem Material in der Tabelle aufgelistet. Die feuchtetechnischen Erweiterungen werden im unteren Bereich dargestellt.

Das ausgewählte Material übertragen Sie mit der Schaltfläche "Verwenden" in den aktuellen Aufbau und wechseln gleichzeitig zurück in den Aufbaudialog.



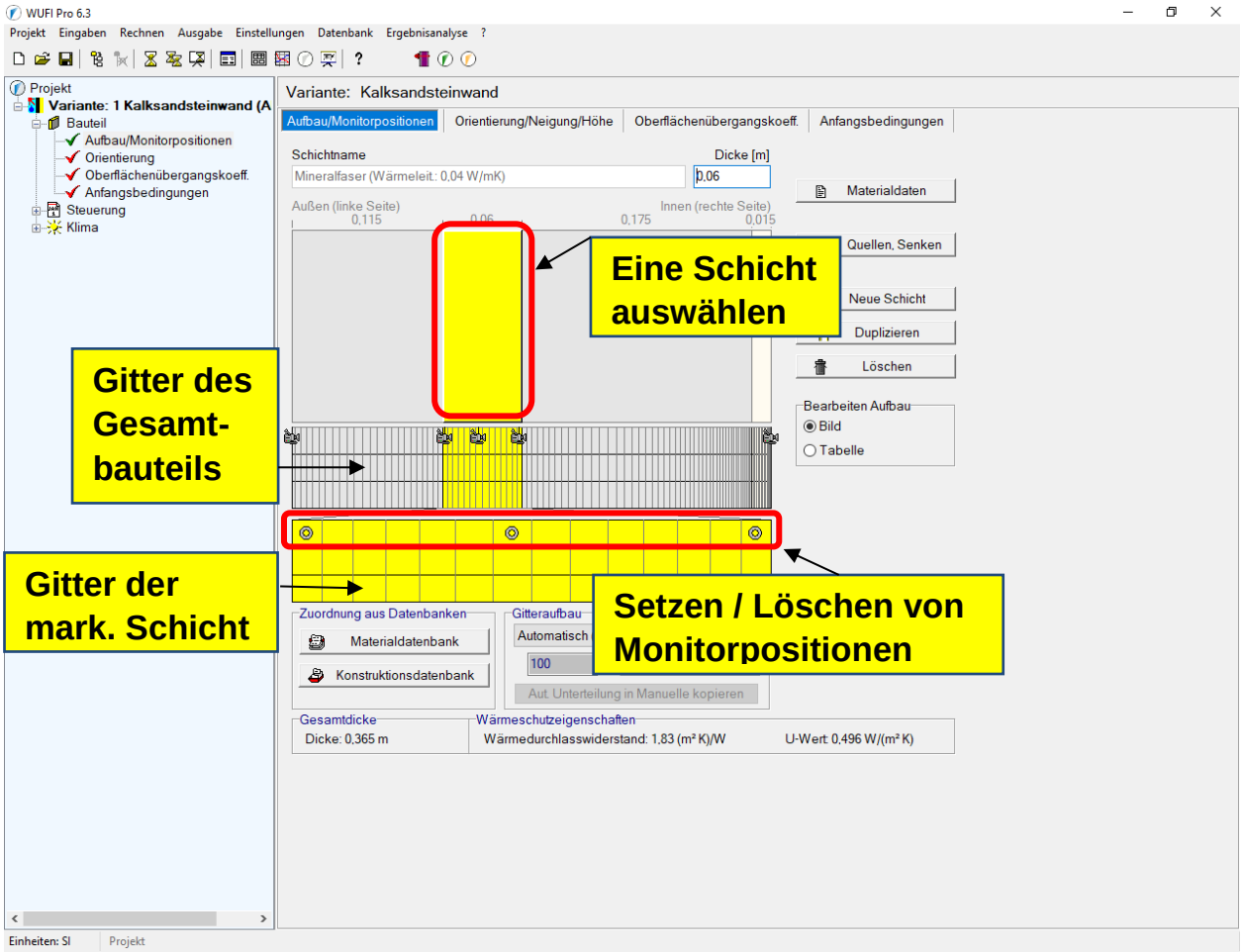
Mit der Schaltfläche "Neue Schicht" können Sie zusätzliche Schichten einfügen. Diese werden an der rechten Seite in das Bauteil eingefügt und können mit der gedrückten linken Maustaste an die gewünschte Stelle im Aufbau gezogen werden. Anschließend ordnen Sie diesen Schichten über die Schaltfläche "Materialdatenbank", wie oben beschrieben, die gewünschten Materialien zu. Sie können die Schichtdicken ändern / festlegen.

Sind allen Schichten Dicken zugewiesen, wird automatisch ein numerisches Gitter über den gesamten Bauteilaufbau erzeugt. In den meisten Fällen können Sie diese Gittereinstellung beibehalten. Manchmal kann es jedoch erforderlich werden, ein noch feineres Gitter (Benutzerdefiniert) zu verwenden. Detaillierte Informationen dazu finden Sie in der Programm-Hilfe.

Tipp: Halten Sie die rechte Maustaste auf einer Schicht gedrückt, um im Kontextmenü einen Überblick der Materialparameter zu erhalten. Durch einen Doppelklick auf eine Materialschicht öffnet sich ein Fenster mit den Materialkenndaten.

Für jede Monitorposition wird nach der Berechnung der zeitliche Verlauf von relativer Feuchte und Temperatur ausgegeben. Dies ermöglicht schnelle eine Beurteilung der hygrothermischen Verhältnisse an bestimmten ggf. kritischen Punkten der Konstruktion.

WUFI® setzt automatisch je eine Monitorposition an die Außen- und die Innenoberfläche des Bauteils. Sie können jedoch beliebig viele weitere Monitorpositionen innerhalb des Bauteils hinzufügen.



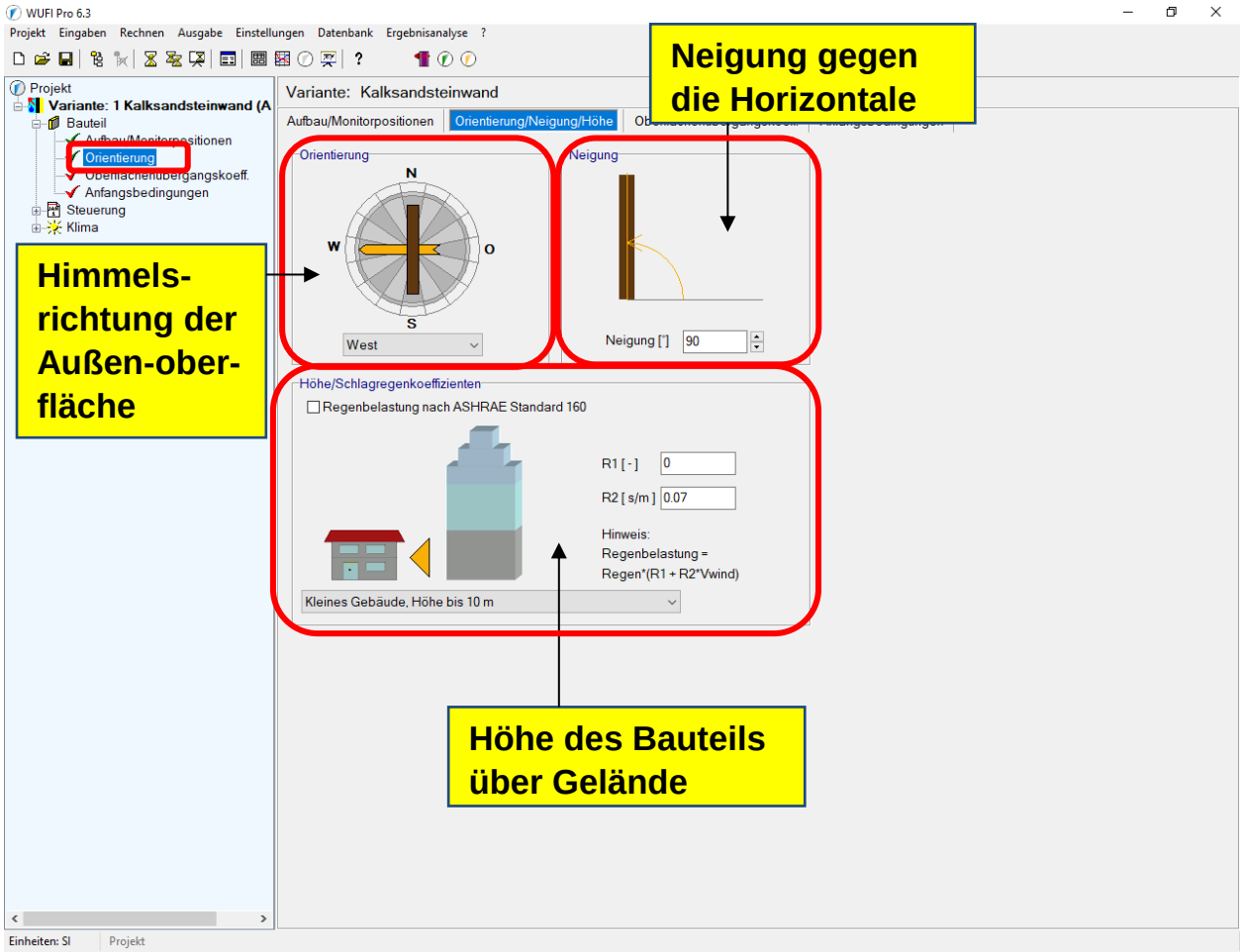
Markieren Sie die Bauteilschicht, in die Sie eine Monitorposition einfügen wollen. Das numerische Gitter der markierten Schicht wird in der unteren Gitterleiste vergrößert dargestellt. Sie können mit einem Mausklick auf ein Gitterelement in der ersten Zeile dieser Leiste eine Monitorposition hinzufügen und in gleicher Weise wieder entfernen. Monitorpositionen können nur in der Mitte eines Gitterelements und nicht z.B. zwischen zwei Materialschichten gesetzt werden

In diesem Beispiel werden drei Monitorpositionen in der Mineralfaser-schicht gesetzt: zwei jeweils in den Randelementen und eine etwa in der Mitte der Schicht.

3b) Bauteil → Orientierung

In diesem Dialog werden Orientierung, Neigung und Höhe des zu untersuchenden Bauteils eingeben. Diese Informationen werden benötigt, um die Niederschlagsbelastung und den Strahlungseinfluss auf die Außenoberfläche zu berechnen. Für Innenbauteile werden diese Eingaben nicht benötigt.

Die Orientierung gibt die Himmelsrichtung an, in die die Außenoberfläche des Bauteils "schaut". Die Neigung gibt den Winkel an, in dem das Bauteil zur Horizontalen geneigt ist, d.h. eine senkrechte Wand hat einen Winkel von 90°, ein Flachdach von 0°. Als Höhe wird hier die Höhe des betrachteten Bauteils über der Geländeoberkante (z.B. die Außenwand im sechsten Stockwerk eines Hochhauses). Diese Höhe hat Einfluss auf die Berechnung der Schlagregenbelastung.



Im Beispielfall wird daher gewählt:
Orientierung „West" bei 90° Neigung
Höhe: Kleines Gebäude (Höhe bis 10 m)

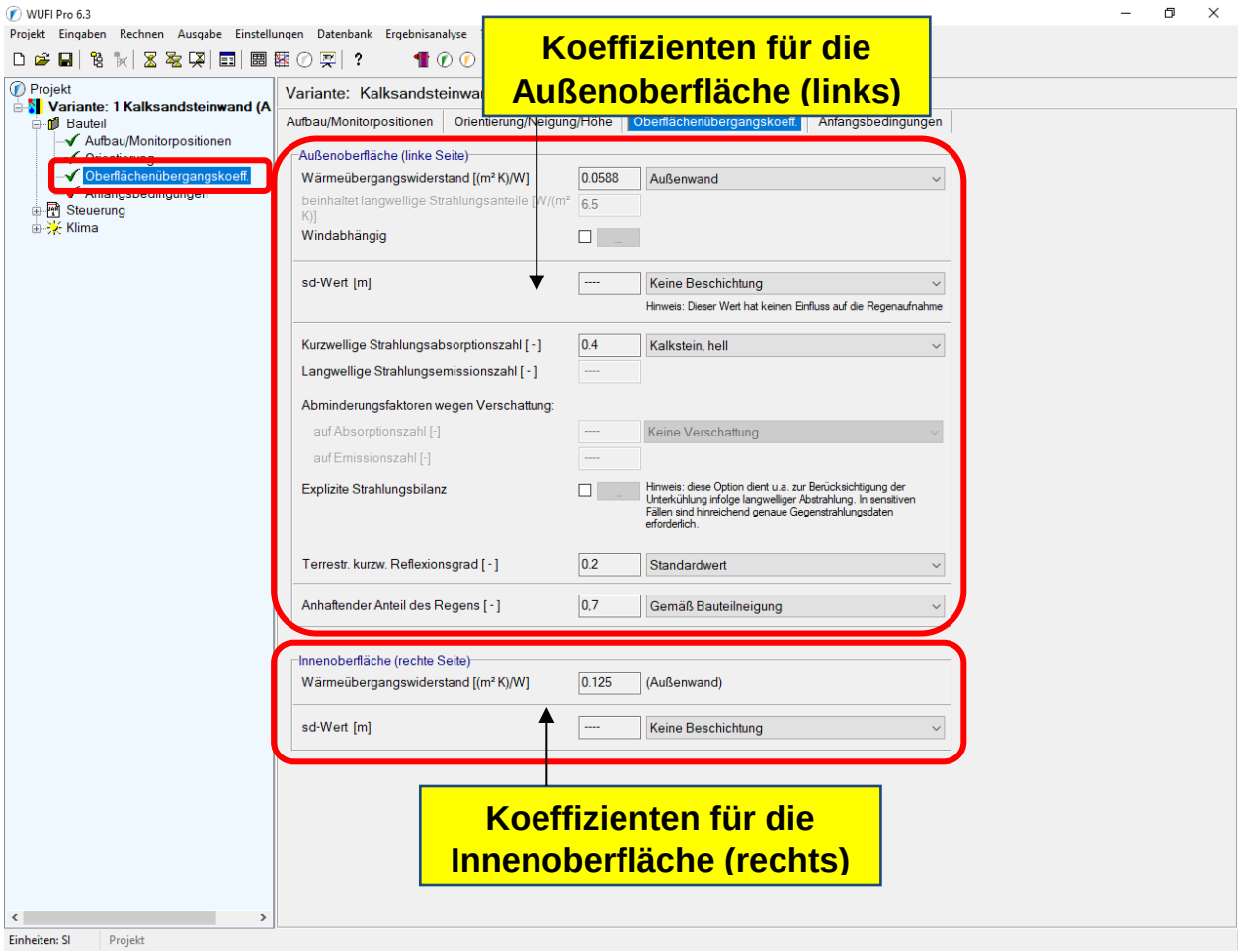
3c) Bauteil → Oberflächenübergangskoeff.

In dem Dialog Oberflächenübergangskoeffizienten wird das Verhalten der Bauteiloberfläche definiert.

An der Außenoberfläche (links) können Angaben zum Wärmeübergang, zu Beschichtungen (über zusätzliche s_d-Wert an der Oberfläche), kurzwellige Strahlungsabsorption, langwellige Strahlungsemission, expliziter Strahlungsbilanz sowie zur Regenwasserabsorption gemacht werden. Detailliertere Informationen zu den einzelnen Punkten finden Sie in der Programm-Hilfe.

Bei der Innenoberfläche (rechts) sind nur die für einen Innenraum relevanten Angaben zu Wärmeübergangswiderstand und s_d-Wert von Anstrichen bzw. Beschichtungen vorzunehmen.

In den Drop-Down-Listen sind zahlreiche Werte hinterlegt, auf die Sie zurückgreifen können.



Im vorliegenden Beispiel werden für die Wärmeübergangswiderstände die Werte für die Außenwand verwendet. Für die Strahlungsabsorption wird ein heller Kalkstein gewählt. Die Regenwasserabsorptionszahl wird entsprechend einer senkrechten Wand mit 70 % angesetzt. Zusätzlichen Beschichtungen oder Anstriche werden nicht berücksichtigt.

3d) Bauteil → Anfangsbedingungen

Im letzten Dialog der Bauteileingabe werden die Bedingungen (Temperatur- und Feuchtefelder) die zu Beginn der Berechnung im Bauteil vorherrschen, angeben.

Da sich die thermischen Verhältnisse in Bauteilen sehr schnell einstellen, ist es in den meisten Fällen nicht erforderlich, die Anfangstemperatur genauer zu definieren. Somit ist die Voreinstellung von 20 °C über das gesamte Bauteil ausreichend genau. Lediglich bei der Berechnung von sehr kurzfristigen Prozessen (z.B. bei der Nachrechnung von Laborversuchen) kann es erforderlich sein, hier genauere Angaben zu machen.

Bei der Anfangsfeuchte ist eine grobe Einteilung in drei Hauptkategorien möglich:

1. *Leichtbaukonstruktionen, deren Materialien zu Beginn lediglich den Gleichgewichtsfeuchtegehalt infolge einer Lagerung im Freien aufweisen.*

   Hier kann als Anfangsbedingung vereinfachend ein Wassergehalt entsprechend der Ausgleichsfeuchte bei 80 % relativer Luftfeuchte angesetzt werden. In Deutschland entspricht dies dem Jahresmittelwert der relativen Luftfeuchte der Außenluft. Die Materialien weisen also den Feuchtegehalt auf, der sich bei einer langfristigen Lagerung im Freien ohne direkten Kontakt mit Niederschlagswasser einstellen würde.

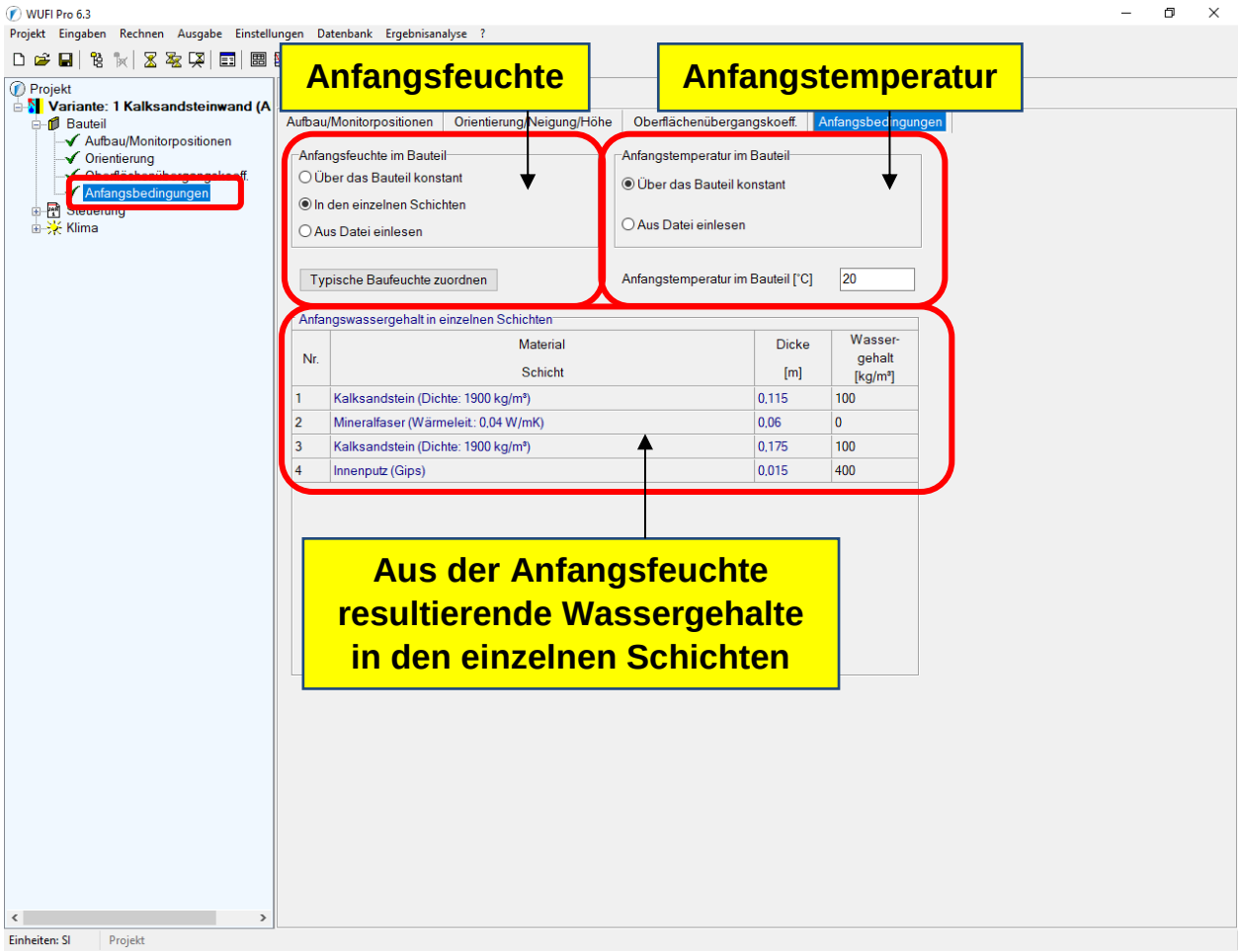
2. *Konstruktionen, die Baufeuchte enthalten. Hierzu zählen alle Konstruktionen mit Putzen, Betonen oder Estrichen, Mauerwerk mit Mörtelfugen, Baustoffe mit Produktionsfeuchte (z.B. Porenbeton, Kalksandstein etc.), aber auch alle Bauteile die während der Erstellung z.B. infolge von Niederschlagswasser feucht geworden sind.*

   Hier sollte nach Möglichkeit ein realistischer Wert für die nach der Erstellung enthaltene Wassermenge angegeben werden. Bei allen Baustoffen, die mit flüssigem Wasser erstellt werden, liegt der Anfangswassergehalt im Bereich der freien Sättigung, für Mauerwerke

finden Sie u.U. typische Werte in der Fachliteratur. Bei vielen Baustoffen sind die typische Einbaufeuchten in der WUFI® Datenbank hinterlegt.

3. *Bestehende Bauteile, die sich im dynamischen Gleichgewichtszustand befinden.*

   Soll beispielsweise eine Sanierungsmaßnahme beurteilt werden, ist es sinnvoll, zunächst die Verhältnisse in der bestehenden Konstruktion zu ermitteln. Nach mehreren Jahren Standzeit ist davon auszugehen, dass sich die Konstruktion im dynamischen Gleichgewicht befindet, d.h. dass sich der jährliche Verlauf von einem Jahr zum nächsten nicht mehr unterscheidet. Diesen Gleichgewichtszustand können Sie berechnen, dann die entsprechende Feuchteverteilung in der Konstruktion in eine Datei exportieren und diese als Anfangsbedingung in der neuen Konstruktion ansetzen.

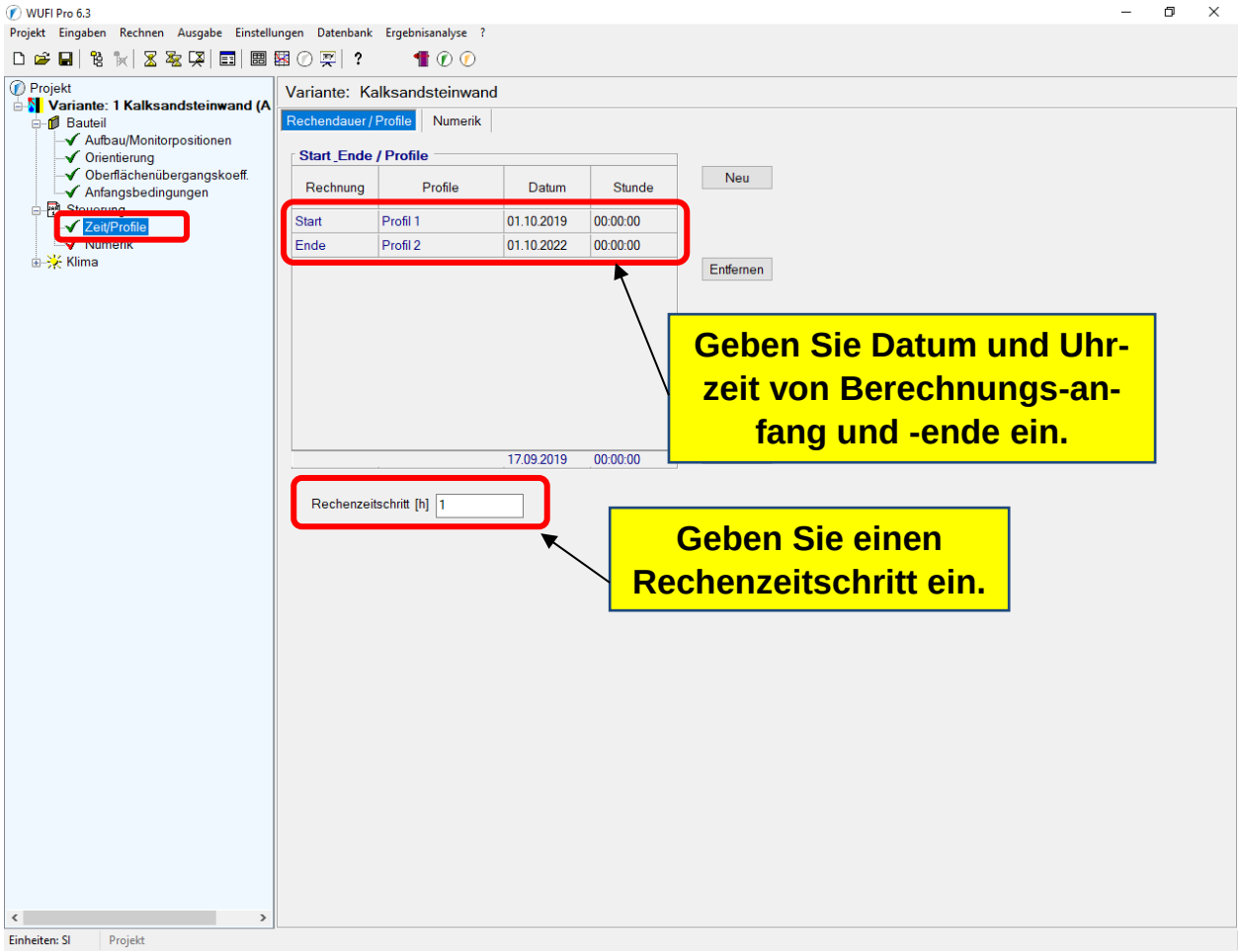


In der hier betrachteten zweischaligen Kalksandsteinwand wird ein Anfangswassergehalt von 100 kg/m³ im Kalksandstein (typische Baufeuchte aus Datenbank), von 0 kg/m³ in der Mineralwolle (keine Feuchtspeicherung) sowie von 400 kg/m³ im Gipsputz (freie Sättigung) gewählt.

4a) Steuerung → Zeit/Profile

Für eine normale Bauteilbeurteilung sollte ein Berechnungszeitraum von mindestens drei bis fünf Jahren gewählt werden. Nur so kann festgestellt werden, ob sich eine Konstruktion im dynamischen Gleichgewichtszustand befindet, d.h. von einem zum nächsten Jahr keine Änderung des Feuchtegehalts mehr aufweist.

Für die Berechnung von Schadensfällen und Laborversuchen können kürzere, für die Beurteilung von Feuchtakkumulationen oder Austrocknungsprozessen auch deutlich längere Zeiträume erforderlich sein.



Geben Sie Anfangs- und Enddatum des Berechnungszeitraums entsprechend Ihrer Fragestellung ein. Die meisten Klimadateien liegen in WUFI® als Referenzjahr vor, das immer wieder wiederholt wird. Bei mehrjährigen Klimadateien wird immer mit dem ersten Jahr begonnen. Daher dient das Startjahr nicht um ein tatsächliches Jahr vorzugeben, sondern mehr als Orientierung für den Benutzer.

Der vordefinierte Startmonat Oktober stellt für die Konstruktion eine erhöhte Anfangsbelastung dar, da die Bauteile und das Innenraumklima hohe Feuchtegehalte enthalten, die aufgrund des Temperaturgefälles durch die Konstruktion nach außen transportiert werden.

In dem Feld Rechenzeitschritt können Sie ein von einer Stunde abweichendes Berechnungsintervall angeben. Sinnvollerweise sollte das Intervall mit den Messwerten der Klimadatei übereinstimmen.

Wenn Sie einen größeren Rechenzeitschritt angeben als der in der Klimadatei hinterlegte, wird dieser bei der Berechnung ignoriert und der Zeitschritt der Klimadatei verwendet. Wenn Sie einen kleineren Zeitschritt angeben, sollte ein Vielfaches dieses Wertes dem Zeitschritt in der Klimadatei entsprechen – der entsprechende Eintrag wird dann mehrmals verwendet. Weitere Informationen hierzu finden Sie in der Programm-Hilfe.

4b) Steuerung → Numerik

Die einzelnen Optionen dieses Dialogs erlauben Ihnen eine genauere Differenzierung des Berechnungsvorgangs.

I.d.R. sind hier keine Änderungen notwendig. Detaillierte Informationen zu den einzelnen Einstellungsmöglichkeiten finden Sie in der Programm-Hilfe.

5. Klima

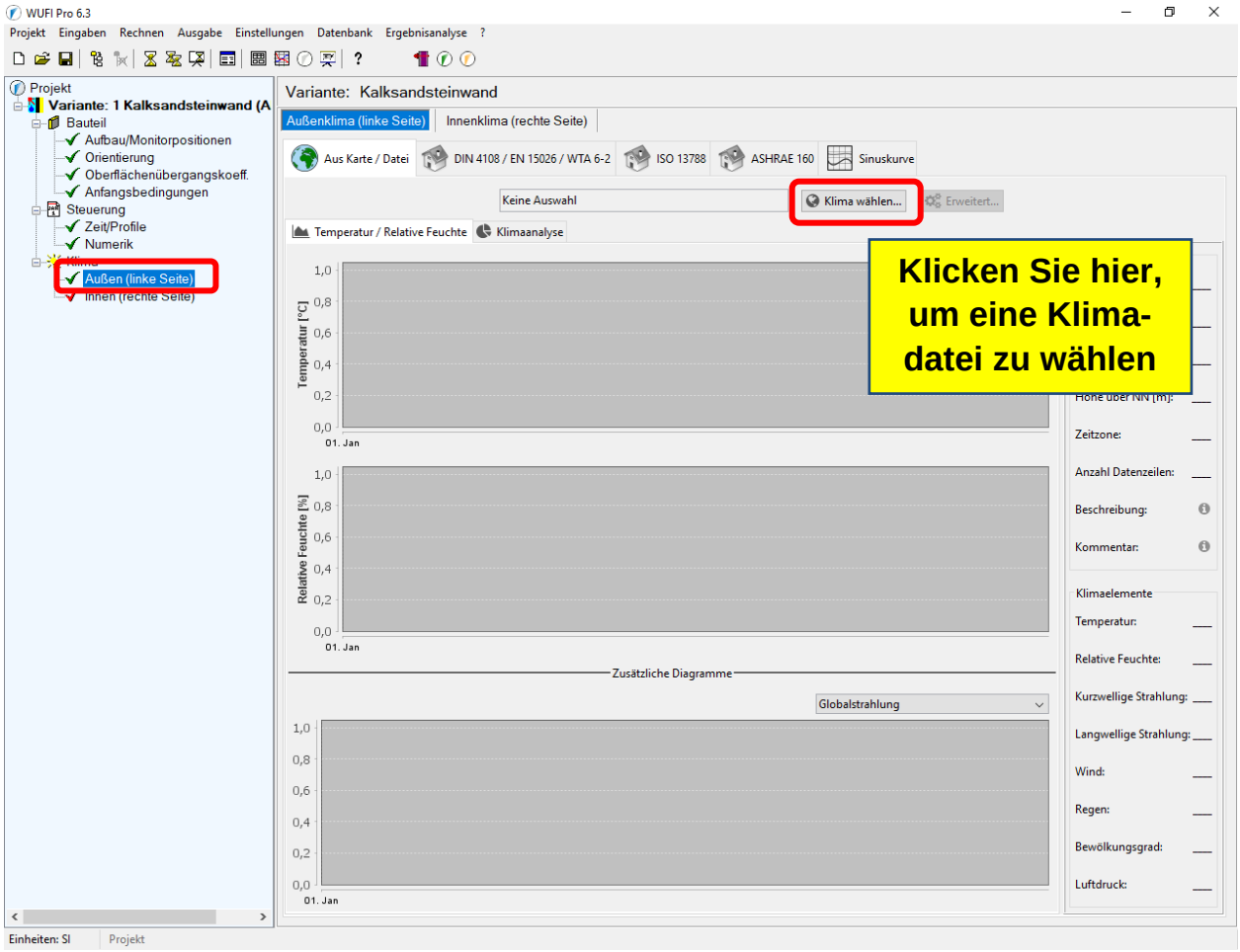
Geben Sie hier die Randbedingungen ein, die auf das zu berechnende Bauteil einwirken.

Auf der linken Seite der Konstruktion wird das Außenklima angegeben, hier werden Wind, Strahlung und Regen berücksichtigt. An der rechten Seite der Konstruktion wird im Normalfall das Innenklima angegeben.
Je nach Fragestellung können auf beiden Seiten Außenklima- oder Innenklimabedingungen angegeben werden (an der rechten Seite werden Wind, Strahlung und Regen nicht berücksichtigt).

Weiterhin ist es möglich, eigene Klimadaten für Außen-, Innen- oder Laborklima zu verwenden bzw. konstante oder sinusförmige Jahresverläufe festzulegen.

Eigene Klimadateien im WUFI WAC-Format können mit dem mitinstalliertem Excel-Sheet „CreateClimateFile.xls“ erzeugt werden, das im Programmverzeichnis von WUFI zu finden ist (Standart-Pfad: C:\Program Files (x86)\WUFI\Tools)

5a) Klima → Außenklima (linke Seite)

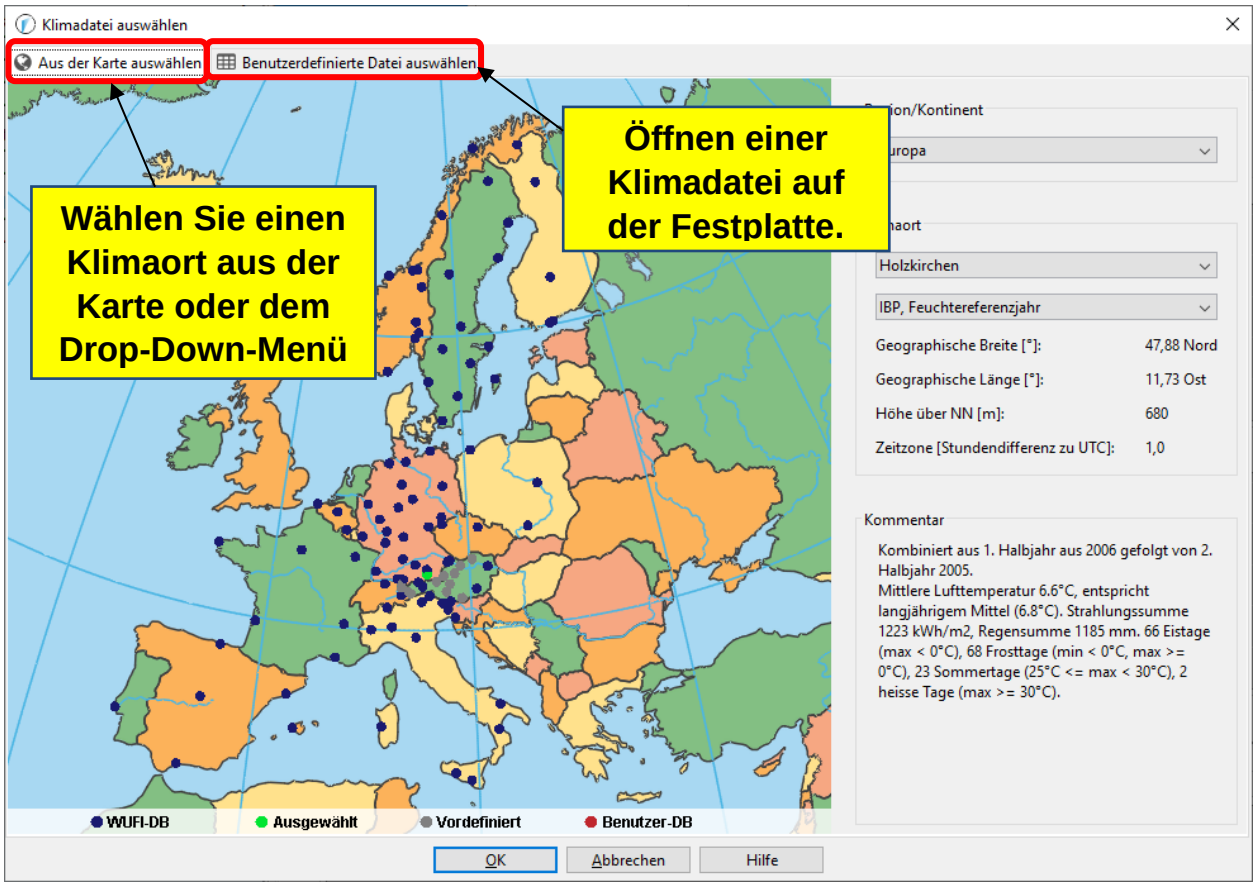


Wenn Sie auf der linken Seite Außenklima oder Bedingungen aus einer Klimadatei verwenden wollen, müssen Sie zunächst einen Ort oder eine Datei auswählen. Klicken Sie in dem Reiter „Aus Karte / Datei“ auf die Schaltfläche „Klima wählen“ (die weiteren Menüs „EN 15026 / WTA 6-2“, „ISO 13788“ und „Sinuskurve“ werden unter „Innenklima“ erläutert).

Es öffnet sich der Bildschirm „Klimadatei auswählen“. Hier können Sie entweder einen Ort auf dem Globus auswählen oder die Klimadatei angeben, die verwendet werden soll. Bei Region/Kontinent können Sie zwischen Karten verschiedener Regionen wechseln. Den eigentlichen Klimaort wählen Sie anschließend entweder aus der Liste oder direkt aus der Karte.

Die farbig markierten Orte repräsentieren vorhandene Klimadaten:
Auf der Karte blau markiert sind diejenigen Orte, für die Klimadateien mit WUFI® geliefert werden. Grau markiert sind vordefinierte Orte, für die

Klimadateien aus anderen Quellen bezogen werden können (siehe Programm-Hilfe). Benutzerdefinierte Klimadateien, die in die Benutzer-Klimadatenbank eingelesen und für die Kartendarstellung ausgewählt wurden, werden rot dargestellt. Nähere Informationen sowie eine detaillierte Anleitung zum Erstellen von eigenen Klimafiles finden Sie in der Programm-Hilfe.

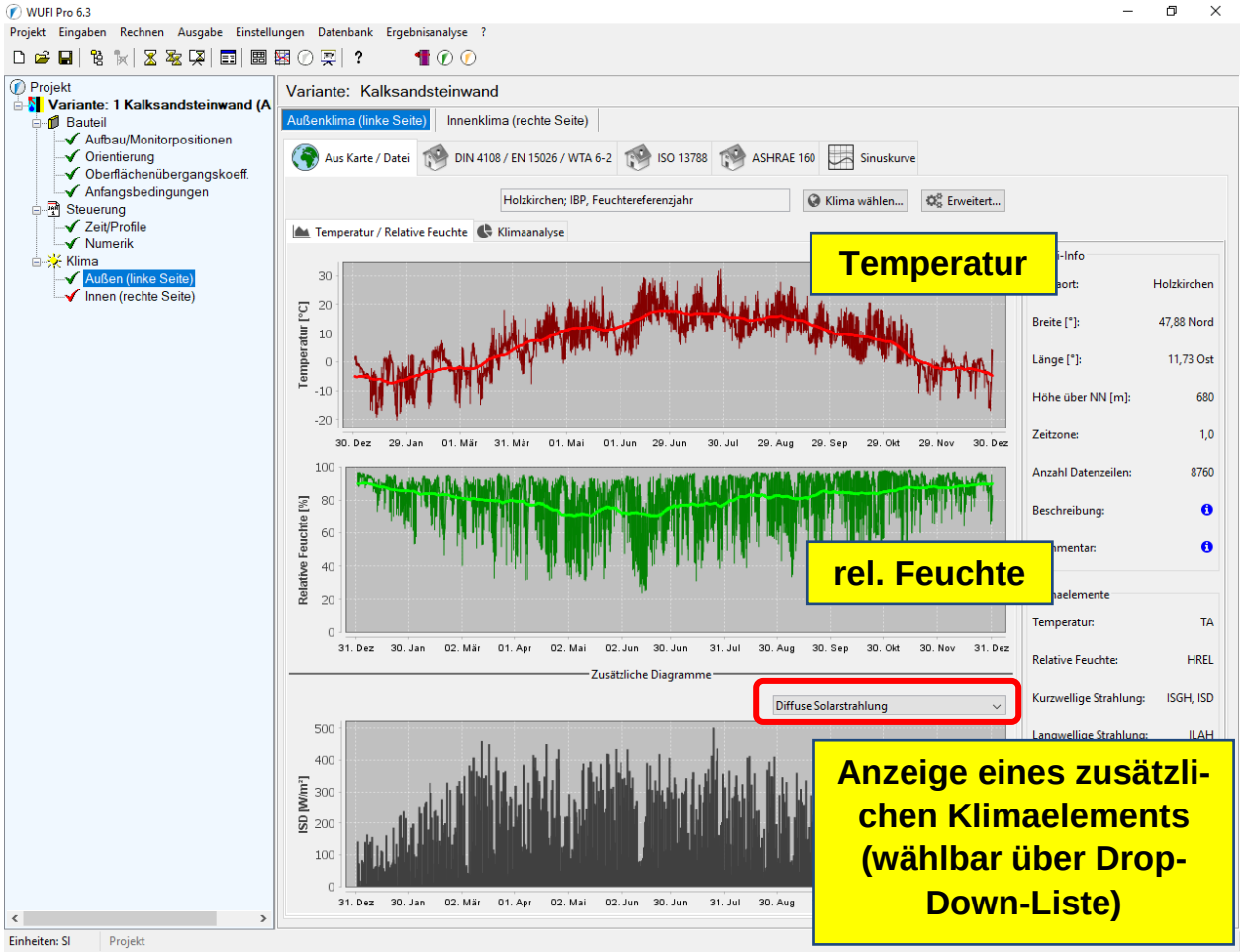


Die Kartenansicht kann mit dem Mausrad oder der STRG und Plus- oder Minus-Taste gezoomt werden. Durch Ziehen der Karte mit dem Mauszeiger bei gedrückter linker oder rechter Maustaste kann der Globus in die gewünschte Stellung gedreht werden.

Mit „OK“ bestätigen Sie die aktuelle Auswahl von Ort oder Klimadatei (hier Klimastabdort Holzkirchen) und kehren so zum Außenklima-Dialog zurück. WUFI® nimmt dabei sofort eine Auswertung der aktuellen Klimadatei bezüglich Temperatur, relativer Feuchte und Diffusstrahlung (anderes Klimaelement über ein Drop-Down-Menü wählbar) vor.

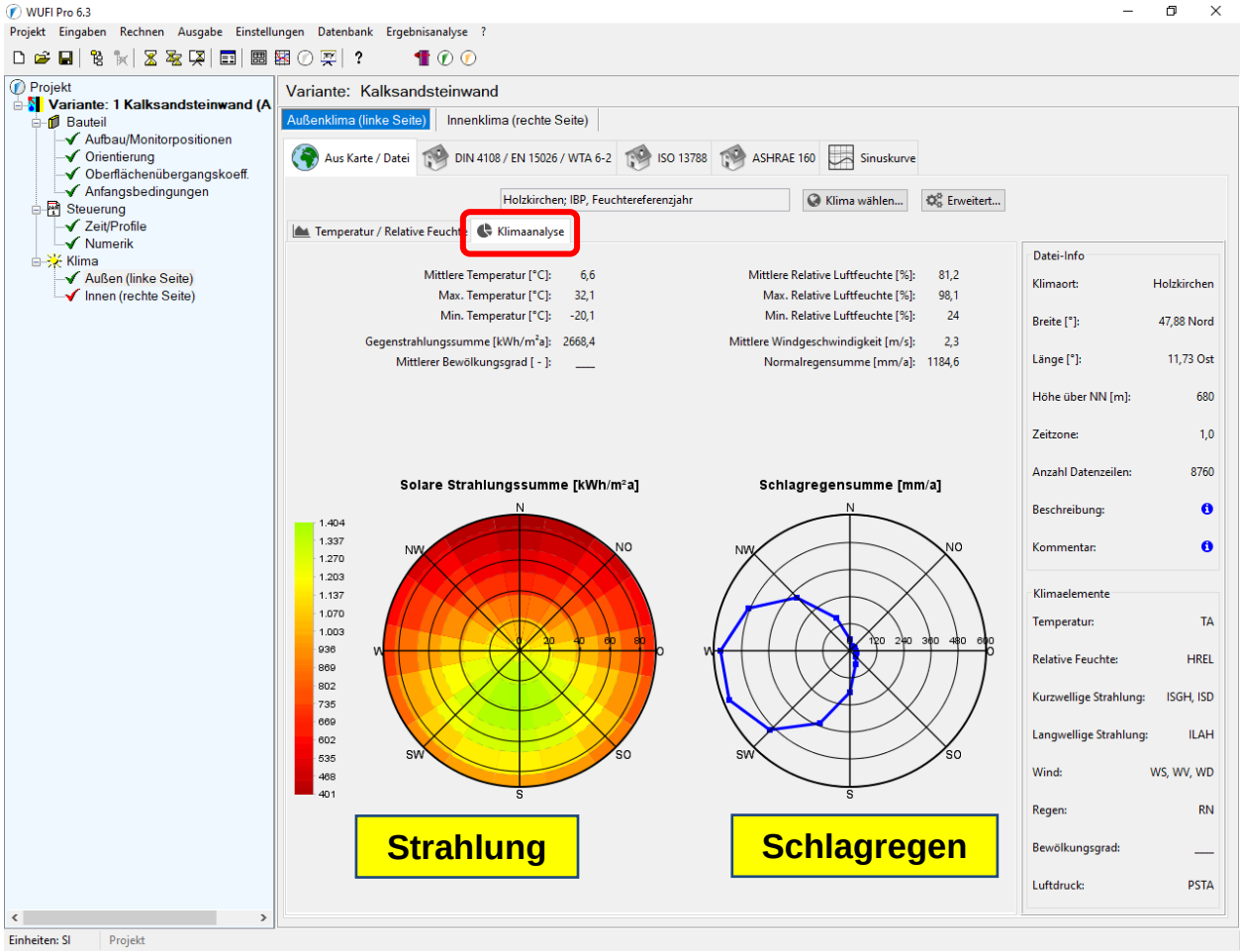
Dargestellt werden die stündlichen Werte (dünner Verlauf) und das geleitende Monatsmittel (dicker Verlauf) von Temperatur (rot) und relativer

Feuchte (grün) für den gesamten Zeitraum der Klimadatei. Im unteren Diagramm können Sie sich je nach Inhalt der Klimadatei zusätzliche Diagramme mit den übrigen in der Datei vorhandenen Klimaelementen anzeigen lassen.



Die Registerkarte „Klimaanalyse“ enthält eine Analysemöglichkeit für Mittel- und Extremwerte von Temperatur und relativer Feuchte sowie die Verteilung von Solarstrahlung und Schlagregen. Die linken Spalte oben enthält die temperaturbezogenen Werte, die Strahlungsrose darunter zeigt eine Auswertung der Strahlungsintensität als Jahressumme in Abhängigkeit von Orientierung und Neigung eines Bauteils. Niedrige Strahlungswerte werden durch braun-rote Farbtöne, hohe Werte durch gelb-grüne Farbtöne dargestellt. Die Skalierung ist unabhängig vom Standort konstant, somit können Sie bereits am ersten Farbeindruck erkennen, ob es sich um einen Standort mit hoher oder eher niedriger Strahlungsintensität handelt. Die rechte Spalte enthält oben die statistischen Werte für die relative Luftfeuchte und darunter die Verteilung der jährlichen Schlagregensumme in Abhängigkeit von der Orientierung. Die Skalierung des Schlagregens wird flexibel an die

maximale Schlagregenmenge des Standorts angepasst. Die Mengenangabe erfolgt analog zum Normalregen in mm/Jahr.

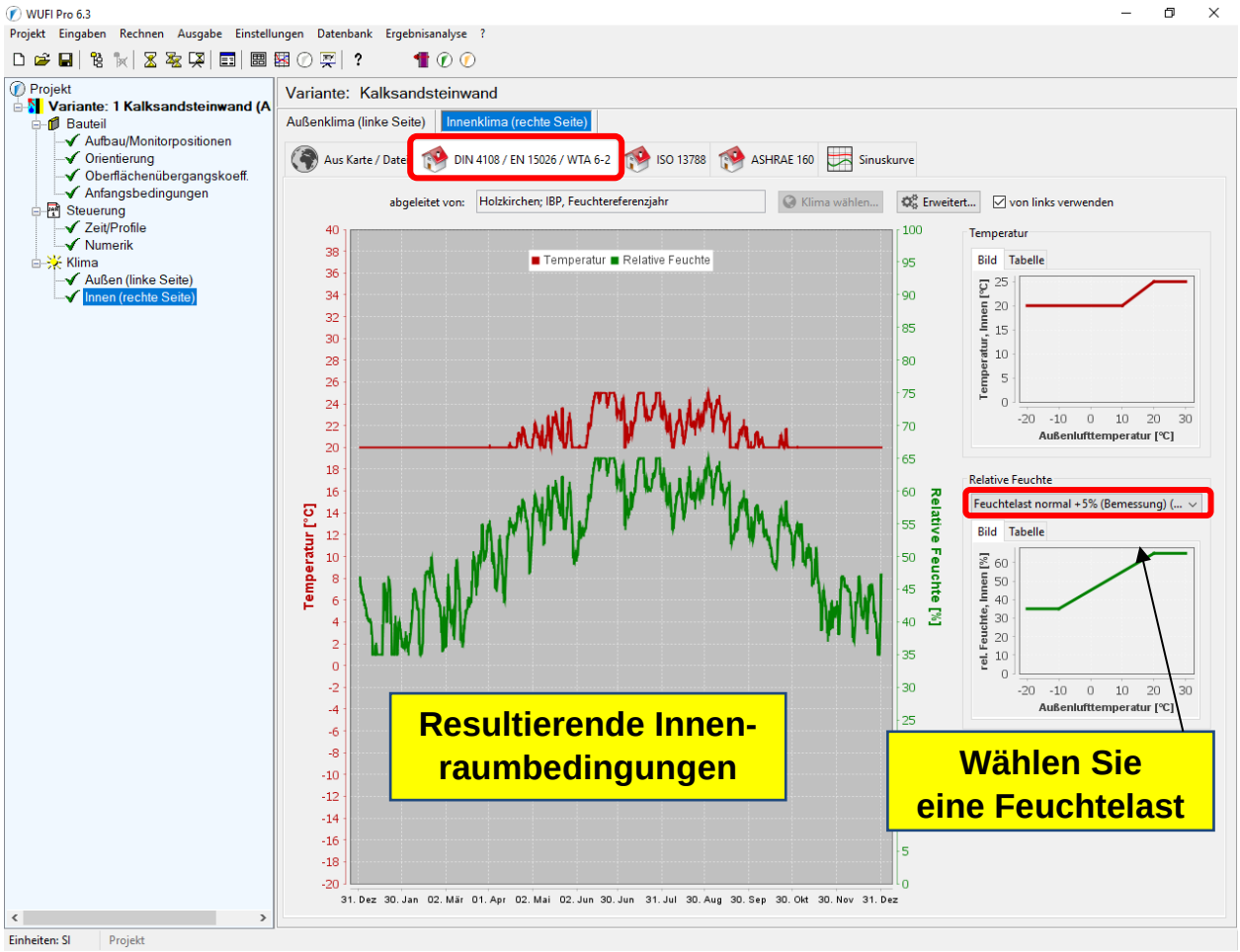


5b) Klima → Innenklima (rechte Seite)

Für die Innenraumverhältnisse stehen vier verschiedene Modelle zur Verfügung.

<u>DIN 4108 / EN 15026 / WTA 6-2</u>

Nach DIN 4108-3 und Euronorm EN 15026 werden die Innenraumbedingungen von der Außenlufttemperatur abgeleitet. Für die Innenraumtemperatur wird die Kurve im oberen rechten Diagramm verwendet, die Innenraumfeuchte wird entsprechend der Kurve im unteren rechten Diagramm abgeleitet. Der Verlauf der Feuchte-Ableitung ist abhängig von der gewählten Feuchtlast.



Die Innenraumtemperatur beträgt 20 °C, wenn die Außenlufttemperatur unter 10 °C liegt. Bei Außentemperaturen zwischen 10 °C und 20 °C bewegt sich die Innentemperatur zwischen 20 °C und 25 °C. Bei Außentemperaturen über 20 °C beträgt die Innentemperatur konstant 25 °C.

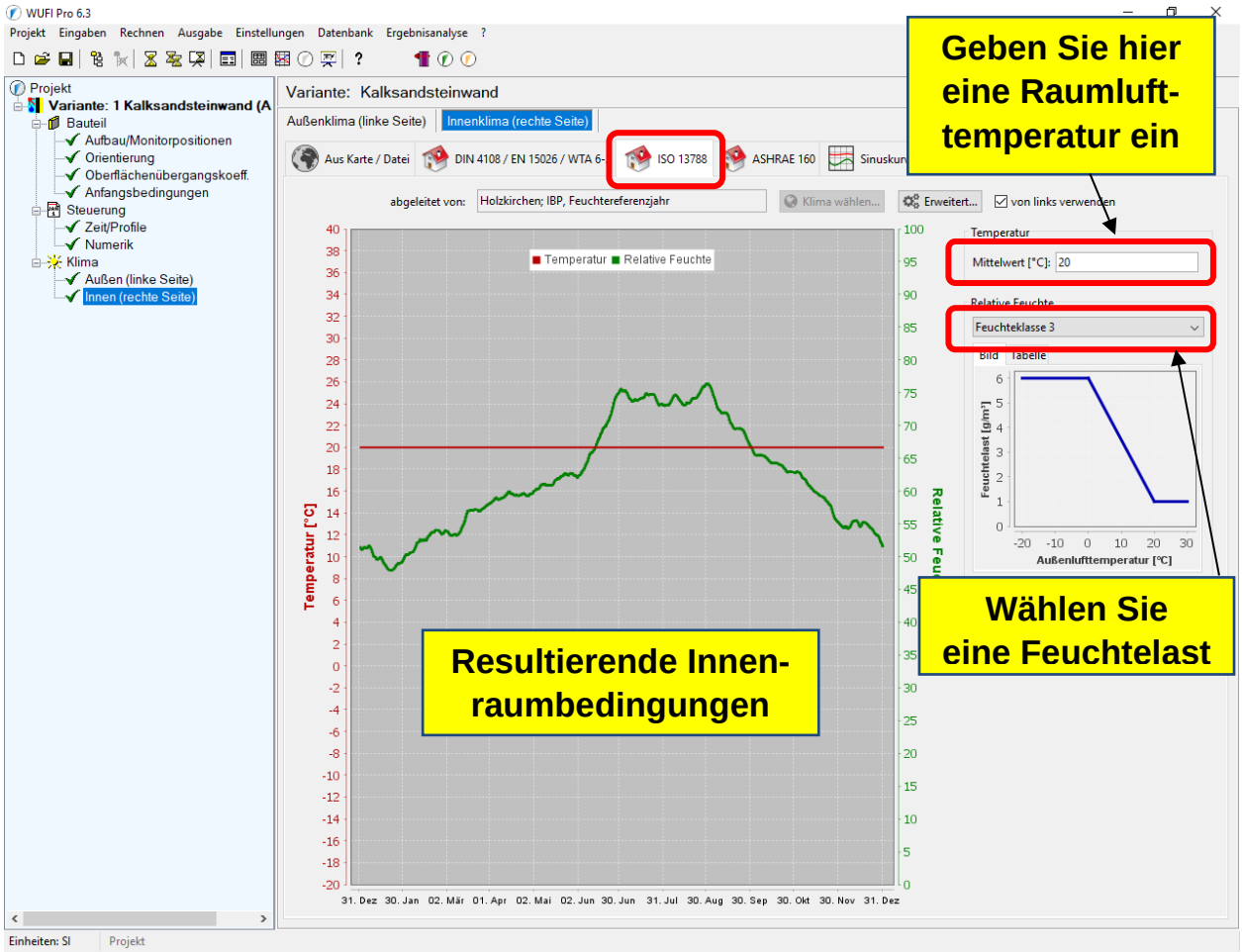
Die Innenraumluftfeuchte wird für vier Feuchtelasten (hoch, normal +5%, normal und gering) berechnet, wobei die „Feuchtelast gering“ aus dem WTA-Merkblatt 6-2:2014 entnommen ist. Bei normaler Feuchtelast bewegt sich die Innenraumfeuchte zwischen 30 % r.F. bei Außenlufttemperaturen unter -10 °C und 60 % r.F. bei Außenlufttemperaturen über 20 °C. Diese Bandbreite liegt bei „Feuchtelast normal +5%“ um 5 % höher (zwischen 35 % und 65 % r.F.), bei „Feuchtelast hoch“ jeweils um 10 % höher (zwischen 40 % und 70 % r.F.) und bei „Feuchtelast gering“ um 5 % niedriger (zwischen 25 % und 55 % r.F.).

Nach DIN 4108-3 ist für die „Standardbetrachtung“ das Bemessungsklima „normale Feuchtelast +5%“ zu verwenden. Diese Einstellung wird auch für die Berechnung des Beispielfalles verwendet.

ISO 13788

Die Euronorm EN ISO 13788 berechnet die Innenraumluftfeuchte aus der Außenluftfeuchte zuzüglich einer von der Außentemperatur abhängigen Feuchtelaste. Die Innentemperatur kann über das ganze Jahr konstant angegeben werden. Die Norm legt einen Wert von 20 °C fest.

Die Feuchtelasten sind bei Außenlufttemperaturen unter 0 °C konstant. Die Werte für die fünf Feuchteklassen nehmen dabei in 2-Gramm-Schritten von 2 g/m³ für Feuchteklasse 1 bis auf 10 g/m³ bei Feuchteklasse 5 zu. Bei Außenlufttemperaturen über 20 °C wird ein hoher Luftwechsel zwischen innen und außen angenommen, so dass hier eine konstante zusätzliche Feuchtelast von 1 g/m³ (Feuchteklasse 5: 2 g/m³) angesetzt wird. Zwischen 0 °C und 20 °C reduzieren sich die jeweiligen Feuchtelasten linear auf 1 g/m³ bzw. 2 g/m³.



Normalerweise sollte die Feuchtelast in Wohnräumen in einem Bereich unterhalb von 4 g/m³ liegen – dies entspricht Feuchteklasse 1 oder 2. Die Werte in Feuchteklasse 3 bis 5 sind mit 6 bis 10 g/m³ sehr hoch und sollten

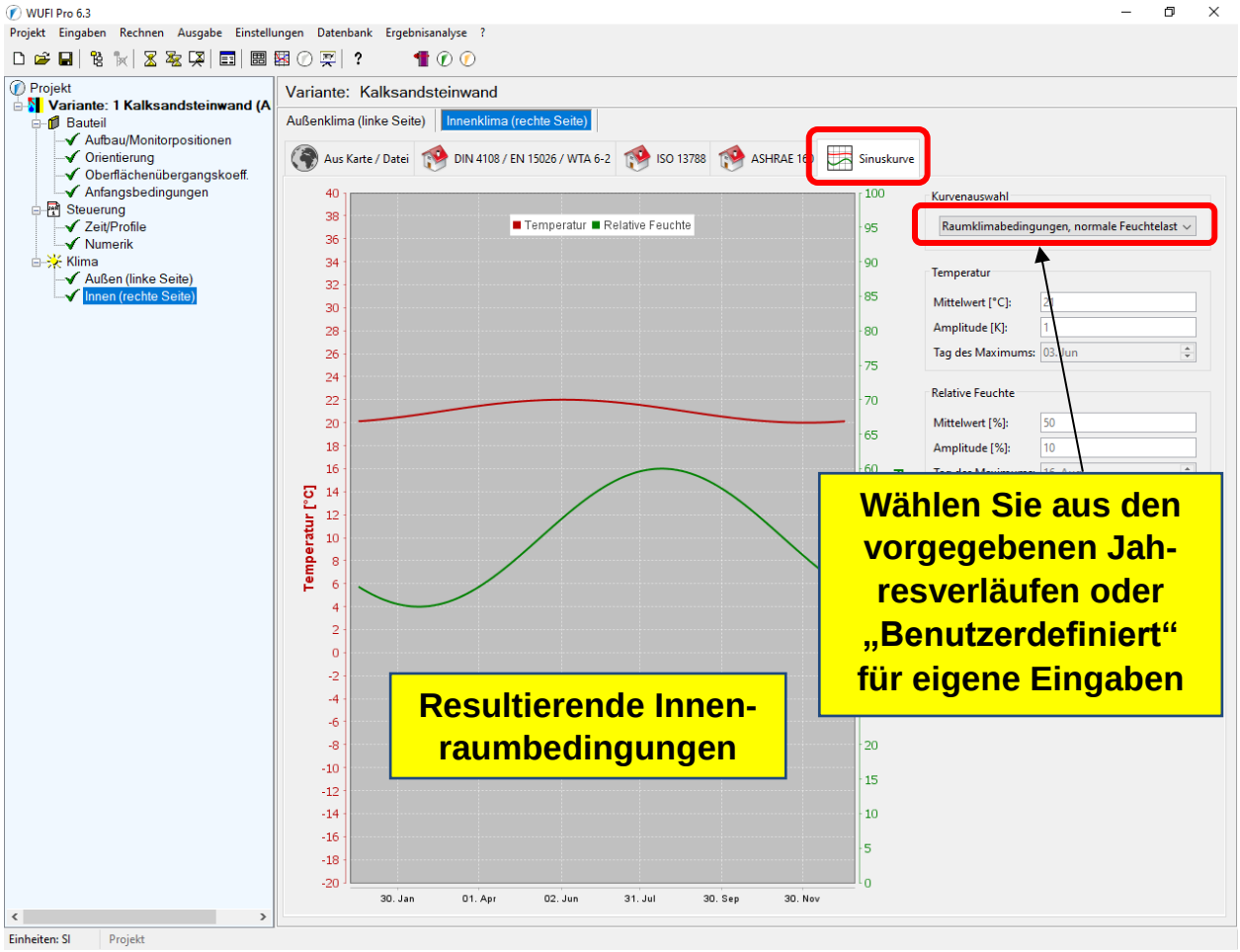
nur verwendet, wenn die Feuchteproduktion bekanntermaßen in einem extrem hohen Bereich liegt – für normale Wohnraumbedingungen sind diese Klassen wenig geeignet.

ASHRAE 160

Hier können Sie ein Innenklima vorgeben, wie es sich nach ASHRAE Standard 160 in Abhängigkeit vom jeweiligen Aussenklima einstellt. Nähere Informationen hierzu finden Sie in der Programm-Hilfe.

Sinuskurve

Unter „Sinuskurve“ können Sie einen über das Jahr sinusförmigen Verlauf der Temperatur und relativer Feuchte zwischen Maximalwerten im Sommer und Minimalwerten im Winter einstellen. Aus der Drop-Down-Liste können Sie dabei voreingestellte Kurven für Außenklima oder Innenklima mit niedriger, normaler oder hoher Feuchtelast auswählen.



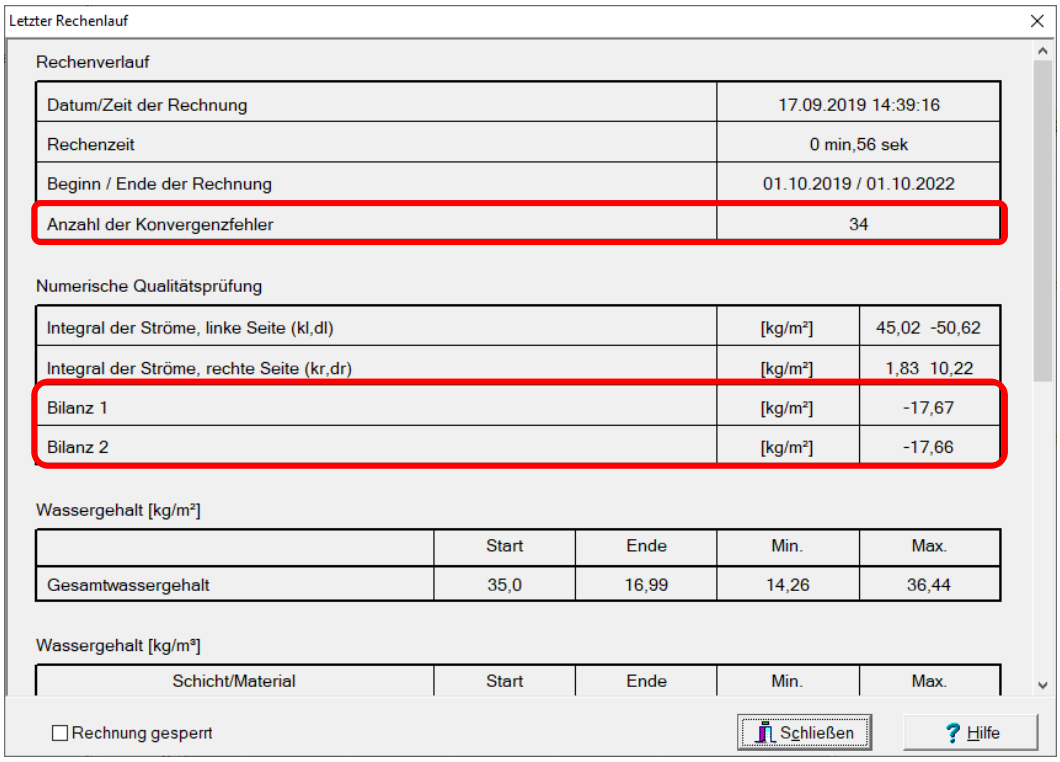
Unter „Benutzerdefiniert“ haben Sie auch die Möglichkeit, die Parameter der Kurven über Mittelwerte und Amplituden selbst zu definieren (gut geeignet für Räume mit geringen Jahreszeitlichen Klimaschwankungen (z.B. Keller) oder konstanten Verhältnissen (z.B. Klimatisierung).

6. Berechnung und Bewertungsmöglichkeiten

Sie können nun die Berechnung mit oder ohne Filmdarstellung starten. Dies erfolgt entweder über das Menü "Rechnen → Rechnung starten" bzw. "Rechnung → Rechnung mit Filmdarstellung starten" oder über die entsprechenden Schaltflächen bzw. .

Bei der Berechnung mit Filmdarstellung erfolgt eine gleichzeitige Darstellung des zeitlichen Verlaufs der thermischen und hygrischen Prozesse ("Film"). Bei der Berechnung ohne Film wird lediglich der Berechnungsfortschritt grafisch angezeigt.

Nach Abschluss der Berechnung erhalten Sie einen kurzen Überblick über den Verlauf der Rechnung sowie evtl. aufgetretene Konvergenzfehler oder Bilanzunterschieden. Das Fenster „Letzter Rechenlauf“ können Sie auch im Menü „Ausgabe → Infos: Letzter Rechenlauf“ oder über die Schaltfläche aufrufen. Detaillierte Erläuterungen zu den einzelnen Elementen finden Sie in der Programm-Hilfe.



Letzter Rechenlauf

Rechenverlauf

Datum/Zeit der Rechnung	17.09.2019 14:39:16
Rechenzeit	0 min,56 sek
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2019 / 01.10.2022
Anzahl der Konvergenzfehler	34

Numerische Qualitätsprüfung

Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m²]	45,02 -50,62
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m²]	1,83 10,22
Bilanz 1	[kg/m²]	-17,67
Bilanz 2	[kg/m²]	-17,66

Wassergehalt [kg/m²]

	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	35,0	16,99	14,26	36,44

Wassergehalt [kg/m³]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.

Rechnung gesperrt Schließen Hilfe

Sie sollten einen kurzen Blick auf die Zahl der Konvergenzfehler und die Bilanzen werfen. Wenn keine oder nur wenig Konvergenzfehler auftreten, ist die Berechnung problemlos verlaufen. Bei Auftreten von Konvergenzfehlern kann die Qualität des Ergebnisses anhand der Bilanzen abgeschätzt werden.

Bilanz 1 stellt die Änderung des Gesamtwassergehalts während der Berechnung dar, Bilanz 2 die Summe der Feuchteströme über die Oberflächen. Beide sollten idealerweise identisch sein oder nur unwesentlich voneinander abweichen. Geringe Abweichungen resultieren aus akkumulierten Rundungsfehlern und sind harmlos. Große Abweichungen deuten auf numerische Probleme und ein unzuverlässiges Ergebnis hin.

Im Anschluss an die Berechnung sollten Sie das Projekt noch einmal speichern, um die Berechnungsergebnisse zusammen mit den Projektdaten in die Projektdatei zu sichern.

Hinweis:
Alle Varianten können über das Menü "Rechnen → Alle Rechnungen starten" oder die Schaltfläche berechnet werden.

In WUFI® haben Sie drei Möglichkeiten, die Berechnungsergebnisse in graphischer Form darzustellen. Die Schnellgrafiken erlauben einen schnellen

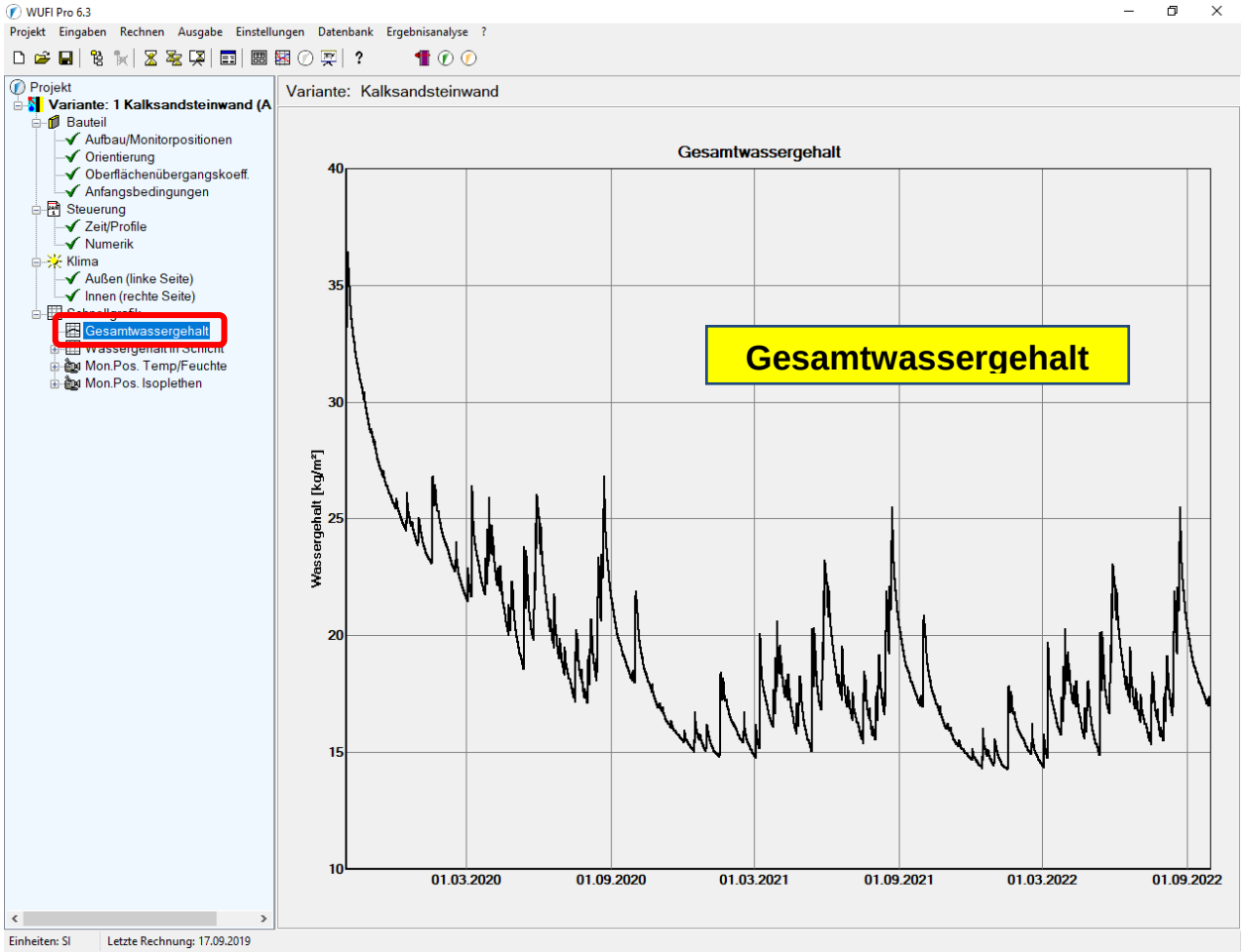
Überblick über die Rechenergebnisse. Die Ergebnisgrafiken bieten zahlreiche Einstellungsmöglichkeiten und eine grafisch höherwertige Ausgabe bei allerdings deutlich geringerer Darstellungsgeschwindigkeit; eine Beschreibung finden Sie in der Programm-Hilfe. Neu ab WUFI Pro 6 steht WUFI® Graph als Auswertetool zur Verfügung. Hier können eine Vielzahl von Auswertungen in Form von Diagrammen erzeugt werden und auch mehrere Varianten im selben Diagramm verglichen werden.

7. Schnellgrafik

Im Folgenden wird kurz die Ergebnisdarstellung mit den Schnellgrafiken beschrieben. Bei der Beurteilung der Ergebnisse sollten Sie in der folgenden Reihenfolge vorgehen:

1. Gesamtwassergehalt
2. Wassergehalt in den einzelnen Materialschichten
3. Temperatur und relative Feuchte an einzelnen Positionen innerhalb der Konstruktion

7a) Schnellgrafik → Gesamtwassergehalt



Die erste Bewertung des Ergebnisses wird in der Regel anhand des Gesamtwassergehalts erfolgen. Dieser zeigt an, ob im Bauteil während des betrachteten Zeitraums eine Feuchtezu- oder abnahme stattfindet.

<u>Steigender Gesamtwassergehalt</u>

Wenn im berechneten Zeitraum über mehrere Jahre eine Feuchtezunahme stattfindet, ist eine genauere Untersuchung der Ursache erforderlich. Grund für die Feuchtezunahme könnte beispielsweise ein zu niedrig angenommener Anfangswassergehalt sein. Der Anstieg des Gesamtwassergehalts beruht in diesem Fall nur darauf, dass sich der „normale“ eingeschwungene Feuchtezustand in der Konstruktion während des Berechnungszeitraums nicht einstellt. Ein anderer Grund könnte ein bauphysikalisch fehlerhafter Bauteilaufbau sein, der zu einer Akkumulation von

Feuchte in der Konstruktion führt. Durch einen längeren Berechnungszeitraum oder eine Erhöhung des Anfangsfeuchtegehalts sollten Sie versuchen, den Gesamtwassergehalt der Konstruktion im eingeschwungenen Zustand zu ermitteln. Wenn der eingeschwungene Zustand nicht erreicht wird, ist davon auszugehen, dass die überprüfte Konstruktion nicht funktionsfähig ist.

Sinkender Gesamtwassergehalt

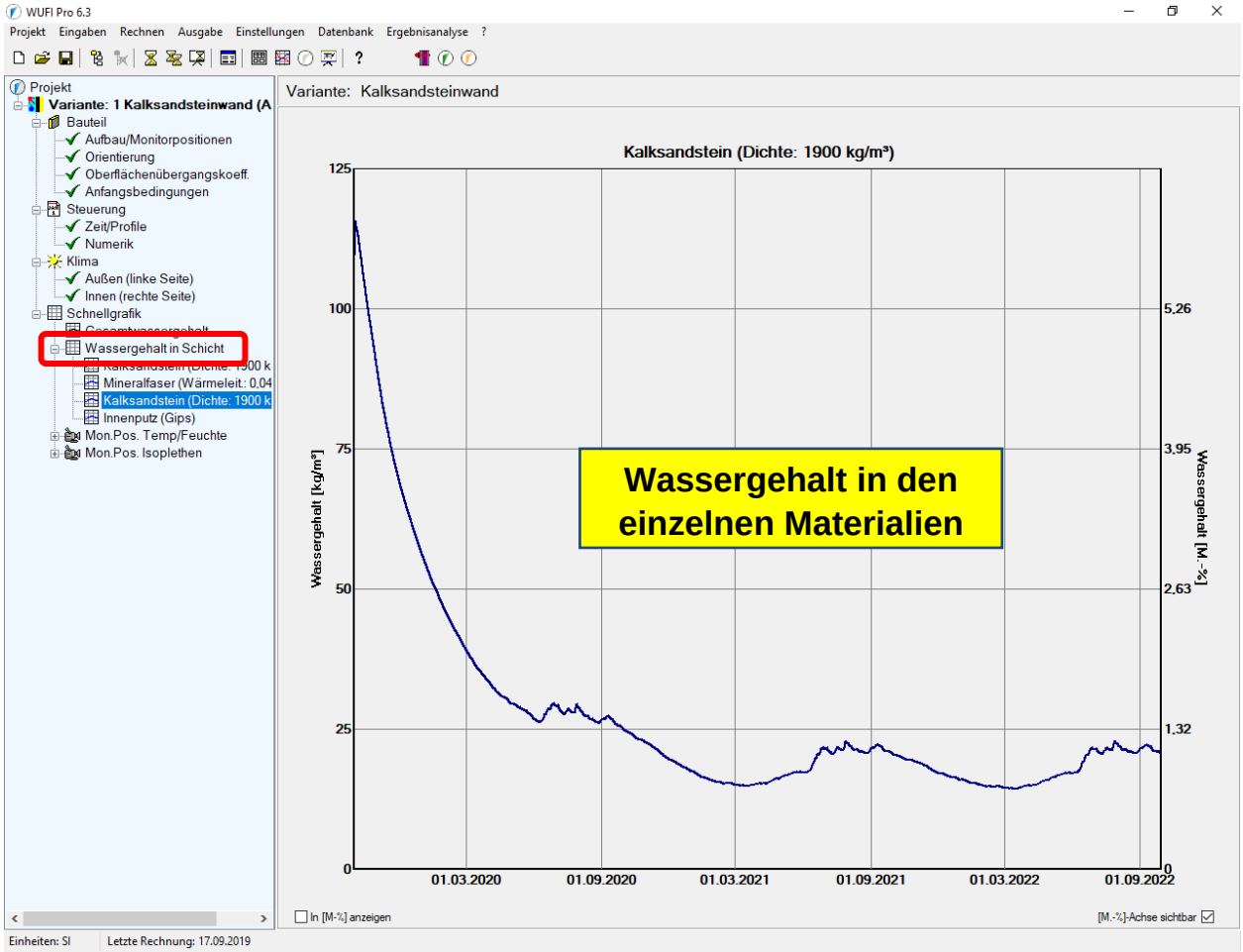
Wenn der Wassergehalt ausgehend von den angesetzten Anfangsbedingungen sinkt, deutet dies auf ein Austrocknen der Konstruktion hin. Falls die Anfangsbedingungen niedrig waren (z.B. über das Bauteil gemittelt 60 % r.F.) können Sie mit der Auswertung der einzelnen Schichten fortfahren. Günstiger wäre es jedoch, zunächst über eine Verlängerung der Rechenzeit den eingeschwungenen Zustand des Bauteils zu erreichen.

Gleichbleibender Gesamtwassergehalt

Bleibt der Wassergehalt abgesehen von jahreszeitlich bedingten Schwankungen von einem Jahr zum nächsten gleich, befindet sich die Konstruktion im eingeschwungenen Zustand. Dieser Zustand ist unabhängig von den Anfangsbedingungen und spiegelt das Verhalten des Bauteils unter den verwendeten Klimarandbedingungen wider. In diesem Fall können Sie mit der Betrachtung der Wassergehalte in den einzelnen Materialschichten fortfahren.

Das Niveau des Gesamtwassergehalts ist nicht von Bedeutung, da dieses von der Dicke der Konstruktion und den verwendeten Materialien abhängig ist. Genauso ist auch ein Vergleich verschiedener Konstruktionen mit unterschiedlichen Materialien nur anhand des Verlaufs des Gesamtwassergehalts, nicht aber eines höheren oder niedrigeren Niveaus möglich.

7b) Schnellgrafik → Wassergehalt in Schicht

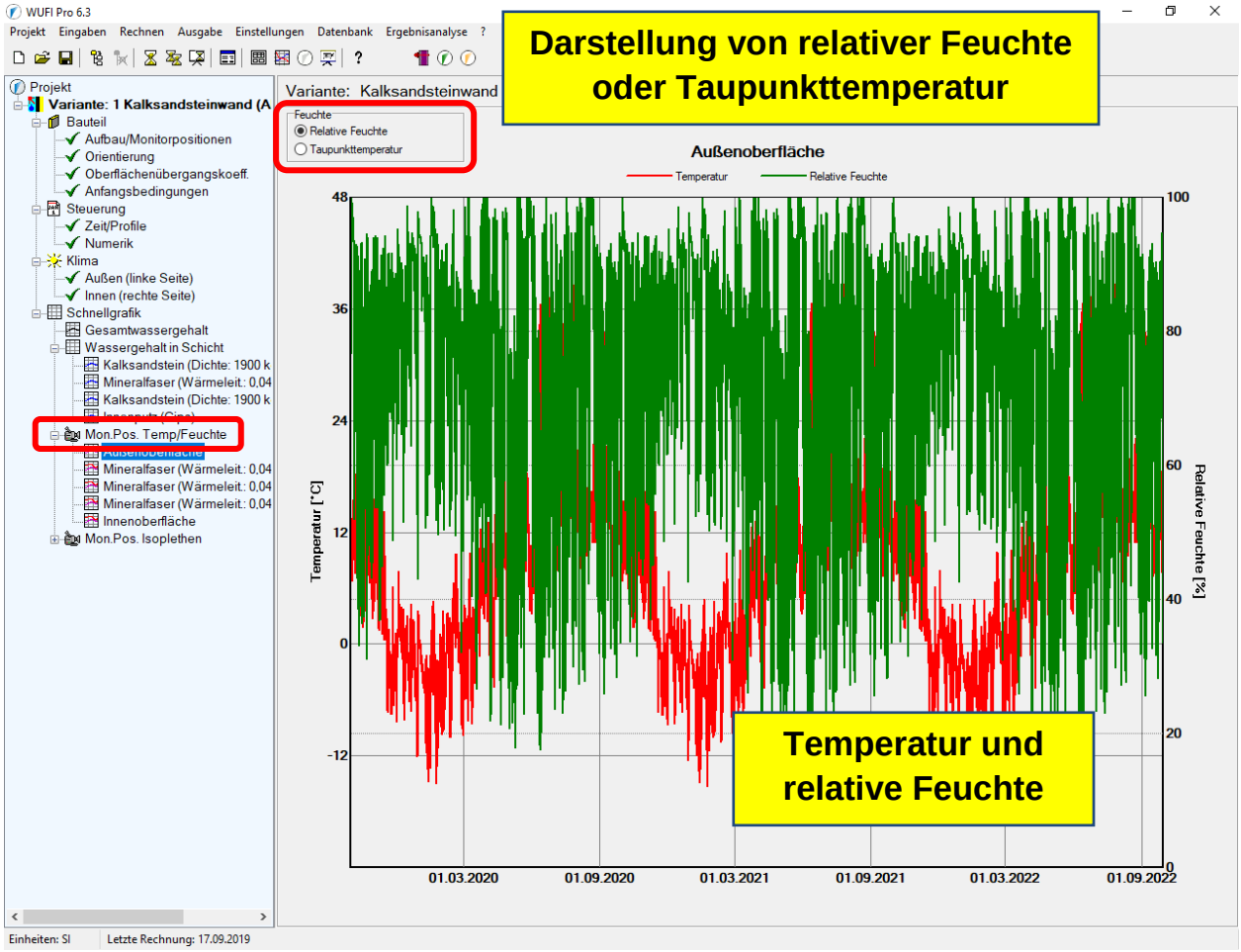


Im zweiten Schritt der Ergebnisbewertung (wenn der Verlauf des Gesamtwassergehalts zufriedenstellend ist) wird der Wassergehalt in den einzelnen Materialschichten überprüft. Hierbei gilt entsprechend dem Gesamtwassergehalt der gesamten Konstruktion, dass auch in den einzelnen Schichten keine permanente Feuchtezunahme stattfinden darf. Letzteres wäre trotz gleichbleibendem oder abnehmendem Gesamtwassergehalt durch Umverteilen der Feuchte innerhalb der Konstruktion möglich. Auch der Wassergehalt in den einzelnen Schichten sollte den eingeschwungenen Zustand erreichen.

Über den Verlauf des Wassergehalts hinaus ist nun auch die absolut enthaltene Wassermenge im Material von Bedeutung. So ist z.B. bei Holzwerkstoffen darauf zu achten, dass ein Wassergehalt von 20 M.-% (entsprechend DIN 68800) nicht über längere Zeiträume überschritten wird, da

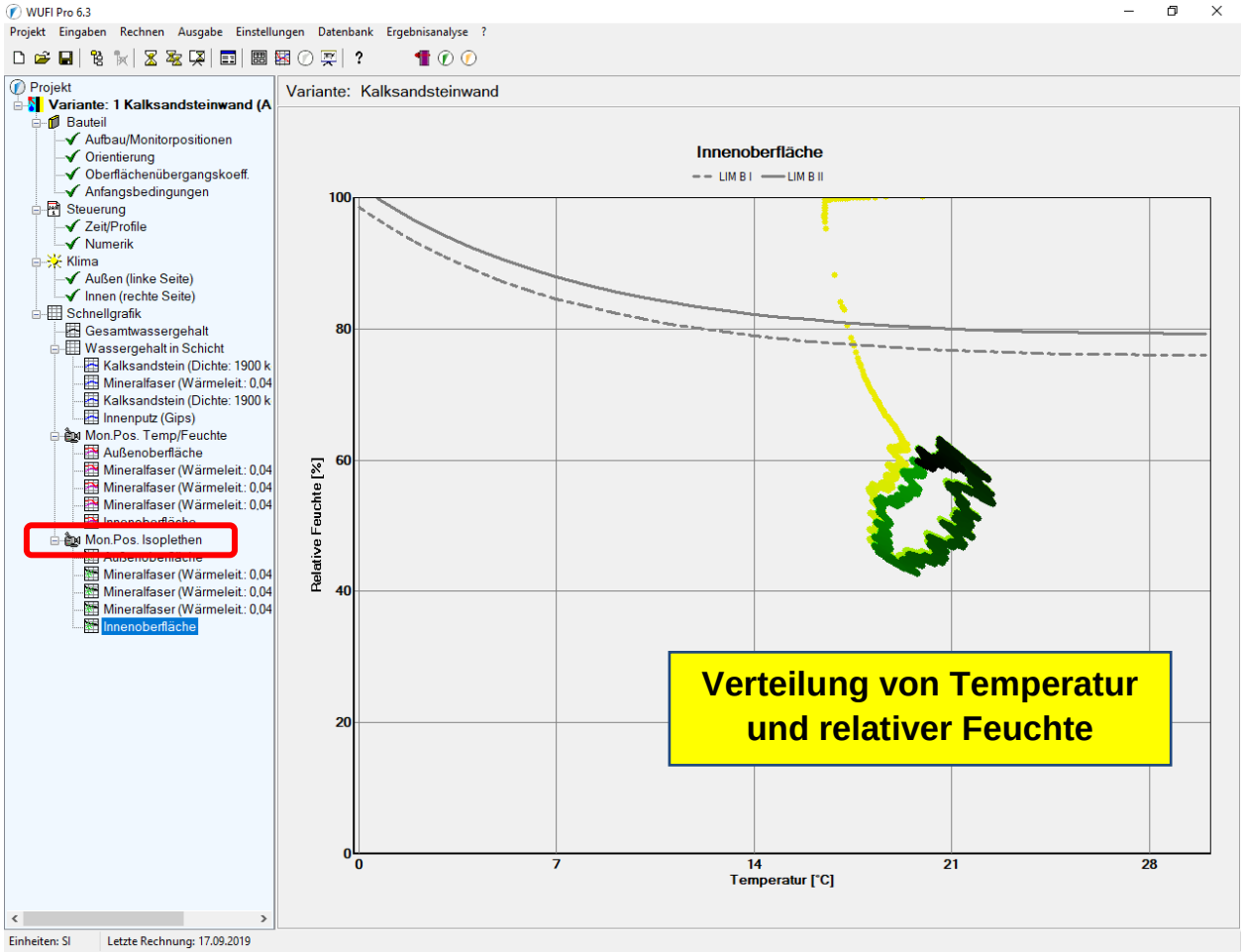
dies zu Fäulnisprozessen oder Schimmelpilzwachstum führen kann. Weiterhin sollten in Dämmstoffen keine zu hohen Wassergehalte auftreten, da dies zu einer geringeren Wärmeleitfähigkeit führen kann. Bei außenliegenden Materialien kann es bei hohen Wassergehalten zu Frostschäden kommen. Im Zweifelsfall können Sie beim Baustoffhersteller nachfragen, welche Grenzwerte im Material eingehalten werden müssen.

7c) Schnellgrafik → Mon.Pos. Temp/Feuchte



Für die einzelnen Monitorpositionen wird der Verlauf von Temperatur und relativer Feuchte dargestellt. Ebenso besteht die Möglichkeit, statt der relativen Feuchte die Taupunkttemperatur anzeigen zu lassen. Diese Darstellung ermöglicht die Überprüfung, ob es an der Monitorposition im berechneten Zeitraum zu einer Taupunktunterschreitung kommt. Dies ist der Fall, wenn der violette Verlauf der Taupunkttemperatur oberhalb des roten Verlaufs der Temperatur liegt.

7d) Schnellgrafik → Mon.Pos. Isoplethen

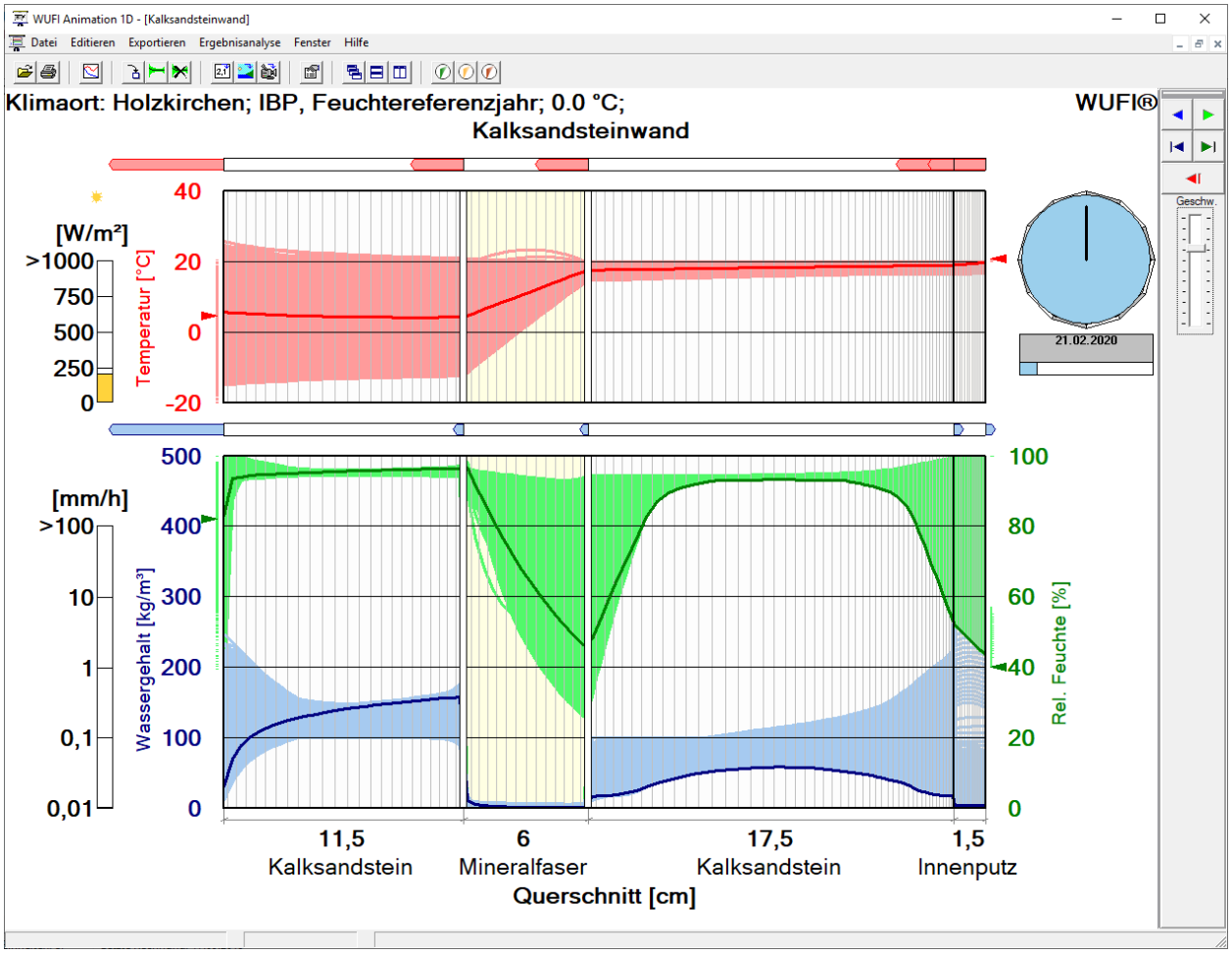


Unter Mon.Pos. Isoplethen erhalten Sie für die Monitorposition für jeden Zeitschritt die relative Feuchte über der Temperatur dargestellt. Der zeitliche Bezug wird durch einen Farbverlauf von gelb (erster Zeitschritt) bis schwarz (letzter Zeitschritt) angezeigt. Dies ermöglicht unter anderem eine Bewertung, ob in der Konstruktion ggf. problematische Verhältnisse aufgrund hoher Feuchten bei gleichzeitig hohen Temperaturen auftreten.

Für die Monitorposition an der Innenoberfläche sind zusätzlich die Grenzisoplethen für das Schimmelpilzwachstum in Abhängigkeit von der Substratqualität des Untergrundes eingezeichnet. Wenn die hygrothermischen Verhältnisse an der Innenoberfläche oder an Materialschichtgrenzen unterhalb dieser Kurven liegen, ist nach bisherigen Erkenntnissen kein Schimmelpilzwachstum möglich. Ein Überschreiten der Kurven bedeutet im Gegenzug lediglich, dass an dieser Position Schimmelpilzwachstum nicht aus-

geschlossen werden kann. Ob tatsächlich Wachstumsbedingungen vorliegen kann mit Hilfe des Postprozessors WUFI® Bio (kann von der WUFI®-Homepage heruntergeladen werden) überprüft werden. Beide Auswertungsmodelle sind jedoch für die Anwendung auf der Außenoberfläche ungeeignet, da hier die Außenklimaeinflüsse wie ultraviolette Strahlung oder Frost das Wachstum von Schimmel behindern und auch andere Effekte wie Algenbildung eine Rolle spielen.

8. Filmdarstellung



Der WUFI®-Film ermöglicht es, den zeitlichen Verlauf der Profile von Temperatur, relativer Feuchte und Wassergehalt für jeden Rechenzeitschritt als Film abzuspielen. Die dunkleren Kurven repräsentieren dabei die Werte zum aktuellen Zeitschritt; die heller eingefärbten Bereiche stehen für die während der Berechnung bisher erreichten Verhältnisse.

Im oberen Teil der Grafik ist in Rot die Temperatur (und - falls aktiviert - in Violett die Taupunkttemperatur), im unteren Teil in Grün die relative Feuchte und in Blau der dazugehörige Wassergehalt dargestellt. Links und rechts außerhalb des Diagramms werden die Randbedingungen jeweils als rote (oben) und grüne (unten) Pfeile angezeigt. Die roten und blauen Pfeile oberhalb der Grafiken zeigen die Wärme- und Feuchteströme an den Materialgrenzen sowie durch die Bauteiloberflächen. Auf der linken Seite werden zudem oben die Werte für die aktuelle solare Einstrahlung und unten für die Niederschlagsmenge als senkrechter Balken angezeigt.

Die insgesamt leicht verständliche Visualisierung soll ein „Gefühl“ für die thermischen und hygrischen Verhältnisse in einem Bauteil vermitteln. So erkennen Sie z.B. sofort, wohin die Feuchte in den verschiedenen Jahreszeiten wandert und welche Positionen der Konstruktion bezüglich hoher relativer Feuchten (grüne Kurve erreicht den oberen Rand der Skala) kritisch sein könnten.

Da der Film sämtliche Berechnungsergebnisse enthält, führt dies bei der Speicherung des Projekts zu entsprechend großen Dateien – die Speicherung des Films kann daher unter „Optionen → Ergebnisdaten“ deaktiviert werden. Hinweis: WUFI Graph verwendet ebenfalls die „Filmdaten“ für die Auswertung.

Hinweis: Wenn auf dem Computer Postprozessoren installiert sind, werden diese als Schaltflächen angezeigt ( ). Um diese anzuwenden, halten Sie den Film an und drücken auf die gewünschte Schaltfläche. Der Mauszeiger verwandelt sich in ein Kreuz, mit dem Sie das zu gewünschte Element oder den gewünschten Bereich des Rechengitters wählen können. Der Postprozessor wird dann mit den Daten des gewählten Bereichs geöffnet und ermöglicht so die weitere Auswertung. Weitere Informationen sowie den Download-Link der einzelnen Postprozess-Module finden Sie unter: https://wufi.de/de/software/wufi-zusatzprogramme/.