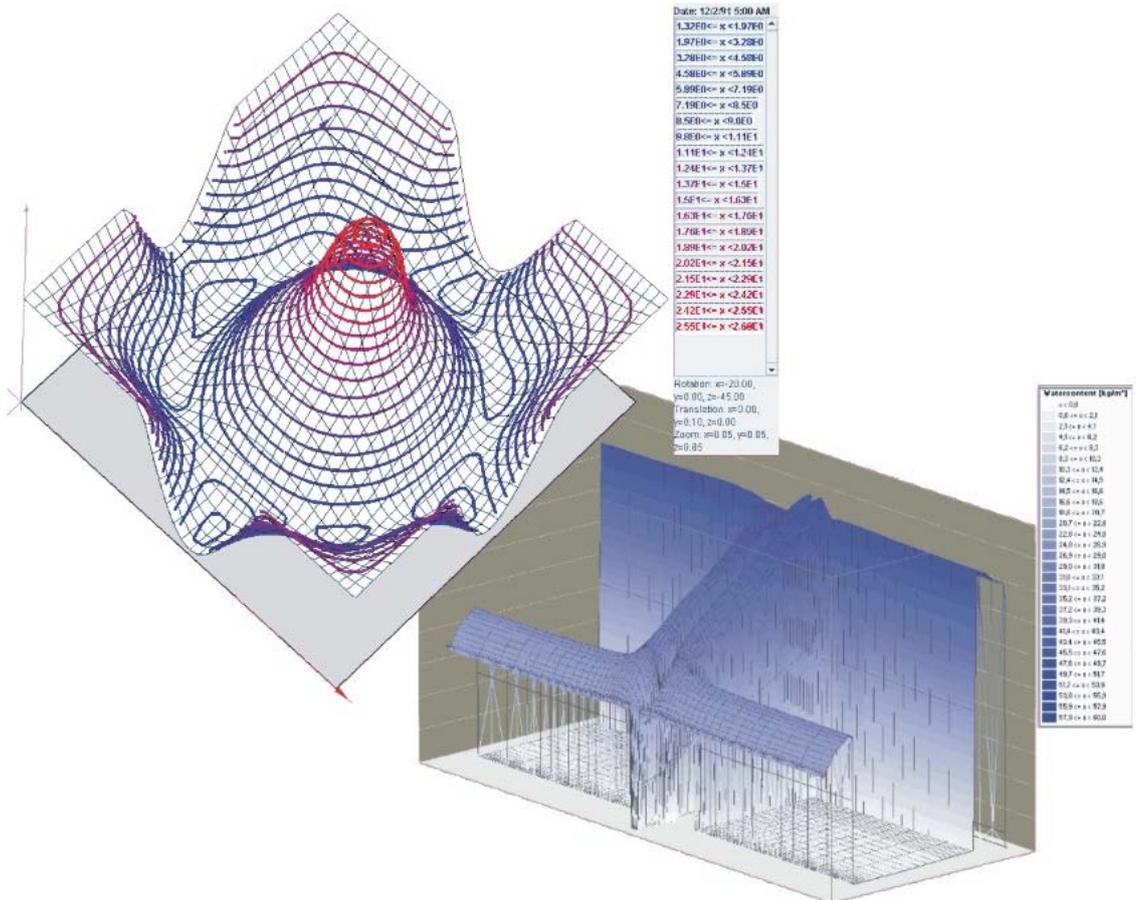




# WUFI<sup>®</sup> 2D

## Beispielfall Schritt für Schritt



WUFI<sup>®</sup> 2D



## VORWORT

Anhand einer in eine Ziegelwand mit Wärmedämmverbundsystem einbindenden Betondecke wird in dieser Anleitung 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.

Für weitergehende Details zu den einzelnen Dialogen und Befehlen konsultieren Sie bitte die Online-Hilfe von WUFI 2D.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. BEISPIELFALL - SCHRITT FÜR SCHRITT .....</b>	<b>4</b>
Schritt 1: Informationen zum Projekt.....	7
Schritt 2: Geometrie des Bauteils .....	8
Schritt 3: Numerisches Gitter.....	12
Schritt 4: Material zuweisen.....	15
Schritt 5: Anfangsbedingungen.....	20
Schritt 6: Randbedingungen .....	22
Schritt 7: Numerische Parameter.....	35
Zwischenschritt: Speichern.....	37
Schritt 8: Berechnung .....	39
Schritt 9: Bewertung der Ergebnisse .....	41

## 1. Beispielfall - Schritt für Schritt

Diese Einführung zeigt anhand eines Beispiels Schritt für Schritt, wie Sie in WUFI 2D® einen Fall eingeben, berechnen und auswerten können. Die Beschreibung zur Durchführung des hier betrachteten Beispiels steht am Anfang jedes Schrittes **grün markiert**, die Komponenten des Programms werden jeweils anschließend allgemein erläutert.

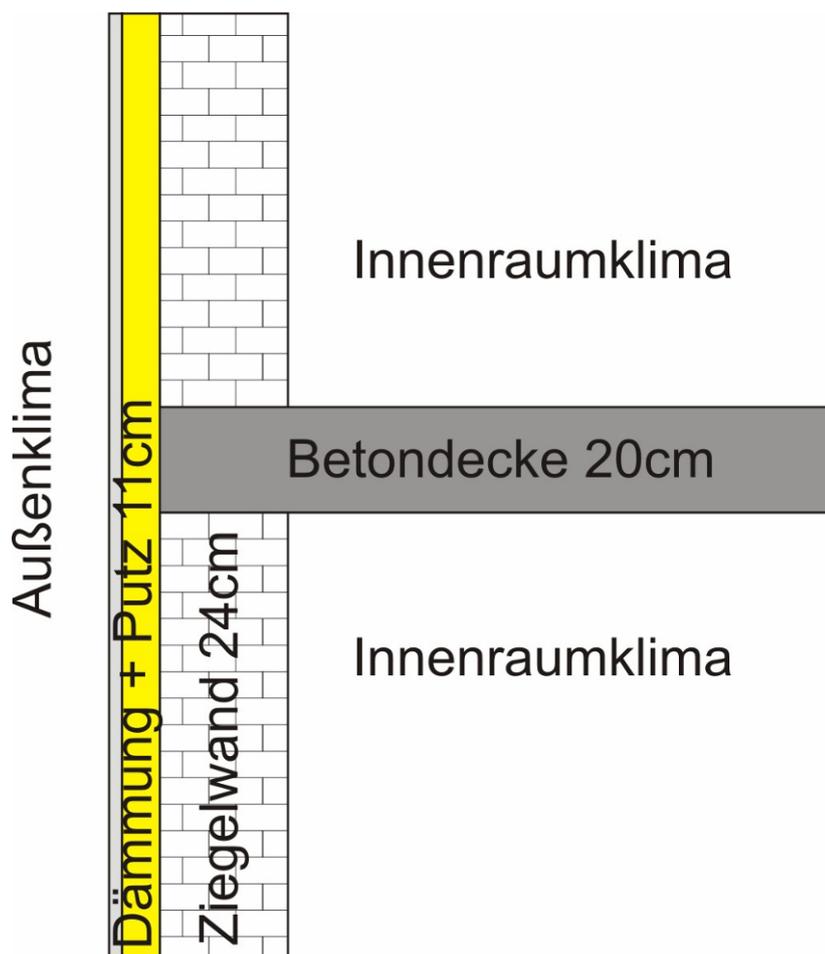
Um einen neuen Fall einzugeben, zu berechnen und auszuwerten gehen Sie entsprechend den folgenden neun Schritten vor:

- 1) Sie können dem Fall einen Namen geben und Informationen zu Projekt, Variante und Auftraggeber eintragen.
- 2) Sie definieren die Geometrie ihres Bauteils, d. h. Sie konstruieren Ihr Bauteil in WUFI 2Ds graphischem Bauteileditor aus mehreren rechteckigen Elementen.
- 3) WUFI 2D legt automatisch ein Rechengitter über das Bauteil. Sie können das Gitter bei Bedarf selbst bearbeiten.
- 4) Sie weisen Ihrer Konstruktion Materialdaten aus der Datenbank zu oder geben diese ggf. von Hand ein.
- 5) Sie geben die Anfangsbedingungen für Ihr Bauteil an. Jedem Material muss eine Anfangstemperatur und eine Anfangsfeuchte oder ein Anfangswassergehalt zugewiesen werden.
- 6) Um die Wechselwirkung des Bauteils mit der Umgebung zu beschreiben, weisen Sie jeder Außenkante Übergangskoeffizienten für Wärme, Wasserdampf und Flüssigtransport, Angaben zu Neigung und Orientierung sowie Randbedingungen („Wetterdaten“) zu.
- 7) Geben Sie Startzeitpunkt, Berechnungszeitraum sowie den Rechenzeitschritt an.
- 8) Starten Sie die Berechnung.
- 9) Bewerten Sie die Ergebnisse.

## Beispielfall

Wir betrachten folgenden Beispielfall in einer schrittweisen Anleitung:

Frisch betonierte Betondecke in einer Außenwand aus Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem. Innen wird der Rohbauzustand angenommen. Da kein Bodenaufbau vorhanden ist, kann eine Symmetrieachse durch die Betondecke gelegt werden, so dass nur eine Hälfte des Bauteils modelliert werden muss. Dies verkleinert das Rechengitter erheblich und erspart Rechenzeit.



Das Bauteil besteht aus einer Betondecke mit einer Stärke von 20 cm, die in eine 24 cm starke Wand aus Hochlochziegeln einbindet. An der Außenseite der Wand befindet sich Mineralfaserdämmung mit einer Stärke von 10 cm, abgeschlossen durch einen mineralischen Außenputz mit einer Stärke von 1 cm.

Als Anfangsbedingung wird der Beton frei gesättigt mit einer Ausgleichsfeuchte bei 100 % r.F angenommen (üblich bei flüssig eingebauten Baustoffen).

**Klima:**

- Innenklima: Normale Feuchtelast nach WTA-Merkblatt 6-2-01
- Außenklima: Holzkirchen, Orientierung West, mit Regen

**Berechnungszeitraum:** 1 Jahr beginnend im Oktober

Bei der Auswertung soll in erster Linie die Temperaturverteilung und die Austrocknung der Betonplatte betrachtet werden.

In den weiteren Darstellungen wird folgendes Symbol für einen Mausklick verwendet (Der Finger zeigt auf das anzuklickende Objekt):



## Schritt 1: Informationen zum Projekt

### Dialog "Projektinformationen"

The screenshot shows the WUFI@2D 3.2 software interface. The main window is titled "Project: untitled". On the left, there is a tree view with categories: Project, Geometry, Grid, Materials, Initial Conditions, Surface/Climate, Computational Parameters, and Processing. The main area contains a form for project information. The form fields are:

- Project name: Betondecke
- Project number: 12345-67
- Client: Mustermann AG
- Contact person: (empty)
- Street: (empty)
- Town / ZIP: (empty)
- Phone: (empty) Fax: (empty)
- e-mail: (empty)
- Person in charge: (empty)
- Remarks: (empty)
- Date: 16.04.2007 (dropdown menu)

Below the form, there is an orange box with the text "Eingabefenster für Projektinformationen".

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“ können Sie in der Drop-Down-Liste ein anderes als das Datum der Erstellung (erste Speicherung) der Projektdatei wählen.

## Schritt 2: Geometrie des Bauteils

### In unserem Beispiel

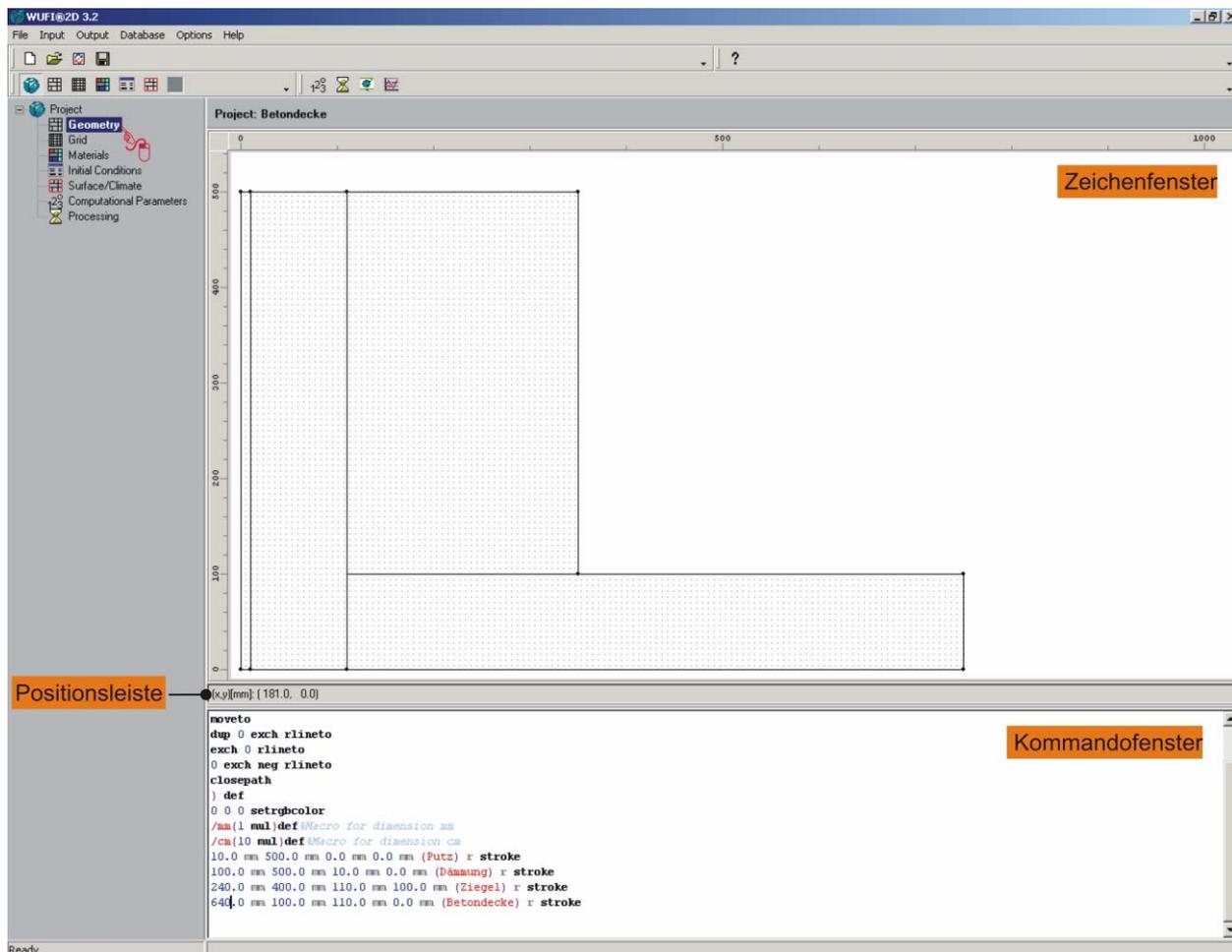
Benutzen Sie die Zeichenfläche dieses Dialogs, um das Bauteil aus rechteckigen Elementen aufzubauen. Jedes Material wird als eigenes Rechteck dargestellt, kompliziertere Formen können aus mehreren Rechtecken zusammengesetzt werden.

Im vorliegenden Fall wurde eine Symmetrieachse durch die Betondecke gelegt, so dass nur eine Hälfte des Bauteils modelliert werden muss. Es werden vier Rechtecke gezeichnet: Putz, Dämmung, Ziegelwand und Betondecke.

Während Sie zeichnen, erstellt WUFI 2D automatisch ein Grafiskript (im Kommandofenster unter der Zeichenfläche), das Ihre grafischen Eingaben beschreibt. Sie können das Skript bearbeiten, um Rechteckelemente hinzuzufügen, Rechtecke umzubenennen, Feineinstellungen an Koordinaten vorzunehmen, das Diagramm zu rotieren usw. Unser Beispielbauteil wird durch das folgende Skript wiedergegeben:

```
10.0 mm 500.0 mm 0.0 mm 0.0 mm (Putz) r stroke  
100.0 mm 500.0 mm 10.0 mm 0.0 mm (Dämmung) r stroke  
240.0 mm 400.0 mm 110.0 mm 100.0 mm (Ziegel) r stroke  
640.0 mm 100.0 mm 110.0 mm 0.0 mm (Betondecke) r stroke
```

## Dialog "Geometry"



Mit einem Mausklick auf "Geometry" im Explorerbaum auf der linken Seite des Hauptfensters wird der oben abgebildete Bildschirm geöffnet. Er enthält ein leeres Zeichenfenster und ein Kommandofenster, in dem schon einige Definitionen enthalten sind.

## Zeichenfenster

Im Zeichenfenster wird die Konstruktion grafisch erstellt. Klicken Sie einfach mit der linken Maustaste in das Fenster, halten Sie die Taste gedrückt und ziehen Sie ein Rechteck auf. Für jedes Rechteck wird im Kommandofenster eine Definitionszeile erstellt (siehe unter Kommandofenster). Für mehrere Rechtecke klicken Sie auf eine Ecke eines bestehenden Rechtecks und ziehen ein neues auf. Die Rechtecke müssen hierbei immer aneinander gehängt werden.

Weitere Funktionen im Zeichenfenster:

### Verschieben

Zum Verschieben der Zeichnungs-Ansicht halten sie die `STRG`-Taste gedrückt, klicken mit der Maus in die Zeichnung und verschieben mit gedrückter Maustaste die Zeichnung in die gewünschte Richtung.

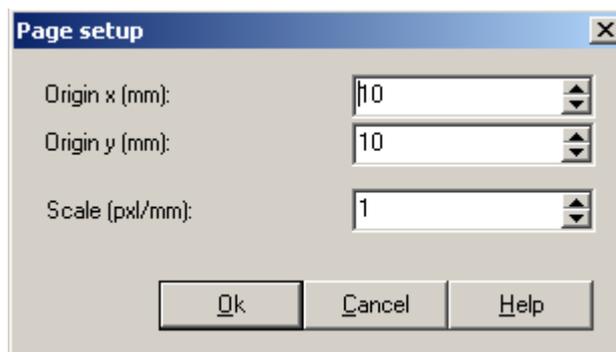
### Zoomen

Um in die Konstruktionsansicht hineinzuzoomen, halten Sie die `SHIFT`-Taste gedrückt und ziehen mit gedrückter Maustaste ein Rechteck von der linken oberen Ecke zur rechten unteren Ecke des zu vergrößernden Bereichs.

Um die vergrößerte Ansicht aufzuheben, ziehen Sie mit gedrückter `SHIFT`-Taste an beliebiger Stelle des Zeichenfensters ein Rechteck von rechts unten nach links oben auf.

### Seiteneinstellung

Durch Drücken der rechten Maustaste im Zeichenfenster gelangt man ins „Page Setup“:



Hier kann die Lage des Koordinatennullpunktes („Origin“) in x- und y-Richtung eingegeben werden. Gezählt wird von der linken unteren Ecke des Zeichenfensters aus.

„Scale“ ist die Standardskalierung, zu welcher die Zeichnung zurückkehrt, wenn Sie die Zoomansicht aufheben. Benötigt die gesamte Zeichnung zuviel Platz, kann der Wert verkleinert werden. Welcher Wert sich am besten eignet, hängt von der eingestellten Bildschirmauflösung ab.

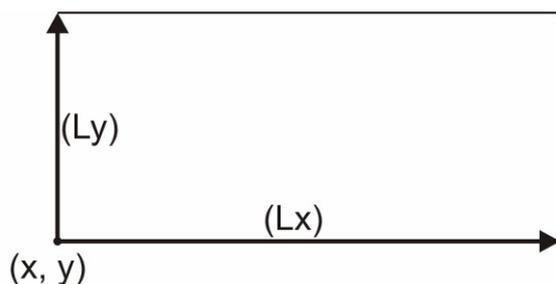
## Positionsleiste

Befindet sich der Mauszeiger im Zeichenfenster, werden hier seine Koordinaten angezeigt.

## Kommandofenster

Das Kommandofenster enthält ein Skript, das die von Ihnen erstellte Grafik durch Zeichenbefehle beschreibt. Definitionen für mm und cm sind schon vorhanden, es können auch eigene Definitionen im PostScript-Stil eingefügt werden.

In diesem Fenster können Sie unter anderem Größe und Benennung der einzelnen Rechtecke verändern. Sobald Sie ein Rechteck im Zeichenfenster erstellt haben, wird im Kommandofenster die dazugehörige Zeile angelegt. Diese setzt sich entsprechend folgender Abbildung zusammen:



```
240.0 mm 400.0 mm 110.0 mm 100.0 mm (Ziegel) r stroke  
Lx      Ly      x      y      Name
```

Die ersten beiden Zahlen sind die Seitenlängen des Rechtecks in x- und y-Richtung (inklusive ihrer Längeneinheiten), es folgen die Koordinaten für den Ursprung des Rechtecks (seine linke untere Ecke) und der Name des Rechtecks in Klammern. Die im Zeichenfenster erstellten Rechtecke werden automatisch r1, r2 usw. genannt. Sie können ein Rechteck umbenennen, indem Sie den Namen im Kommandofenster ändern. Ein Name darf nicht mehrmals vorkommen. Die Befehle „r stroke“ schließen die Zeile ab (das am Skriptanfang definierte Makro „r“ macht aus den vorhergehenden Zahlen vier komplette Koordinatensätze für die vier Ecken des Rechtecks, und der Befehl „stroke“ zeichnet das Rechteck).

Nach Drücken der ENTER-Taste wird die Zeichnung im Zeichenfenster aktualisiert. Mit STRG+ENTER kann eine neue Zeile begonnen werden.

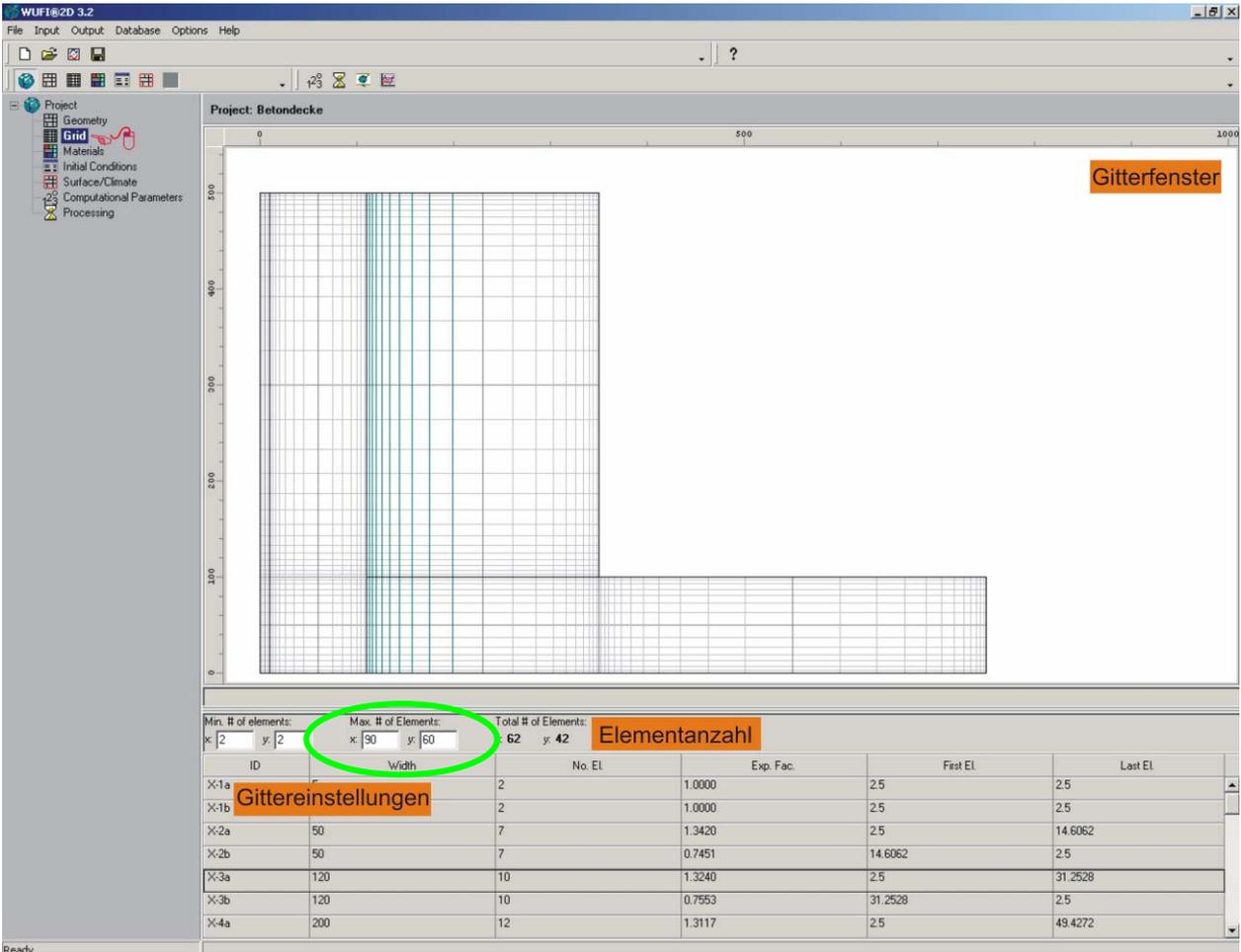
## Schritt 3: Numerisches Gitter

### In unserem Beispiel

Sobald Sie den Dialog „Grid“ öffnen, legt der Gittergenerator von WUFI 2D automatisch ein Rechengitter über das Bauteil.

Für das hier vorgeführte Beispiel wird das automatische Gitter beibehalten, wir verändern lediglich die maximale Anzahl der Gitterelemente. Die Anzahl der maximalen Gitterelemente in x-Richtung wird auf 90 und in y-Richtung auf 60 gestellt (siehe Abbildung).

### Dialog "Grid"



The screenshot shows the WUFI 2D 3.2 software interface. The main window displays a 2D grid over a building footprint. The 'Grid' dialog box is open, showing the 'Max. # of Elements' set to x: 90 and y: 60. The 'Total # of Elements' is 62 x 42. The 'Elementanzahl' table is visible below the dialog.

ID	Width	No. EL	Exp. Fac.	First EL	Last EL
X-1a		2	1.0000	2.5	2.5
X-1b		2	1.0000	2.5	2.5
X-2a	50	7	1.3420	2.5	14.6062
X-2b	50	7	0.7451	14.6062	2.5
X-3a	120	10	1.3240	2.5	31.2528
X-3b	120	10	0.7553	31.2528	2.5
X-4a	200	12	1.3117	2.5	49.4272

Mit einem Mausklick auf "Grid" im Explorerbaum wird der oben abgebildete Bildschirm geöffnet. Die vorher eingegebene Konstruktion wird dargestellt und ein

automatisch erstelltes Gitter wird eingeblendet. Dieses kann hier angepasst werden, falls nötig.

## Gitterfenster

Das Gitterfenster dient zur optischen Kontrolle des erstellten Gitters. Auch hier kann mit `STRG` verschoben und mit `SHIFT` gezoomt werden (wie im Dialog „Geometry“).

Der numerische Rechenkern von WUFI 2D arbeitet am zuverlässigsten, wenn das Gitter so fein wie möglich ist und die Größen zweier benachbarter Gitterelemente sich nicht um mehr als etwa den Faktor zwei unterscheiden (dies ist ein Erfahrungswert). Zu den Bauteilrändern hin und in der Nähe von Materialgrenzen sollte das Gitter feiner werden, da hier steilere Temperatur- und Feuchteprofile zu erwarten sind, welche mit einer ausreichenden Anzahl von Gitterelementen aufgelöst werden müssen. An adiabaten Grenzen (wie z.B. Symmetrieachsen) ist dies dagegen nicht erforderlich, da die Profile hier flach bleiben. Es muss ein günstiger Mittelweg zwischen einer hohen Anzahl von Gitterelementen und einer akzeptablen Rechenzeit gefunden werden.

## Elementanzahl

Die „Mindestanzahl von Gitterelementen“ ist die kleinste Anzahl von Gitterelementen, die der Gittergenerator einem Material zuweisen darf. Sie können diese Zahl erhöhen, wenn Sie einem dünnen Material in Ihrem Bauteil mehr Gitterelemente zuweisen wollen, ohne das ganze Gitter feiner zu machen.

Dies kann nützlich sein, wenn z.B. ein Feuchteprofil in einem dünnen Material feiner aufgelöst werden muss (etwa in einer feuchteadaptiven Dampfbremse) oder wenn Sie den Effekt mildern wollen, dass die Eigenschaften benachbarter Materialien auf dünne Materialien „abfärben“, weil WUFI 2D zur Ermittlung der Flüsse jeweils zwischen den Eigenschaften benachbarter Materialien mitteln muss.

Die „Maximalanzahl von Gitterelementen“ ist die Anzahl von Elementen, die der Gittergenerator zum Verteilen auf das Bauteil zur Verfügung hat. Für das feine Gitter versucht der Generator die volle Anzahl von Elementen zu verwenden, für das mittlere und das grobe Gitter verwendet er entsprechend weniger.

Die Mindest- und Maximalanzahl von Gitterelementen kann in x- und in y-Richtung separat eingestellt werden.

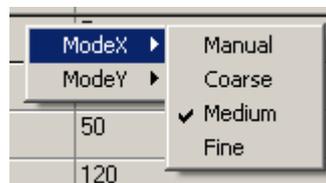
## Gittereinstellungen

Diese Tabelle zeigt die Eigenschaften der einzelnen Gitterabschnitte an. Die Abschnitte sind sowohl in x-Richtung (von links nach rechts) als auch in y-Richtung (von unten nach oben) durchnummeriert. Die Gitterabschnitte treten jeweils paarweise auf („a“ und „b“). In Abschnitt „a“ expandiert das Gitter, im anschließenden Abschnitt „b“ kontrahiert es wieder.

ID	Width	No. El.	Exp. Fac.	First El.	Last El.
X-1a	5	2	1.0000	2,5	2,5
X-1b	5	2	1.0000	2,5	2,5
X-2a	50	7	1.3420	2,5	14.6062
X-2b	50	7	0.7451	14.6062	2,5
X-3a	120	10	1.3240	2,5	31.2528
X-3b	120	10	0.7553	31.2528	2,5

Jede Zeile der Tabelle beschreibt einen Gitterabschnitt. Die Spalte „ID“ identifiziert den Abschnitt anhand seiner Nummer. „Width“ zeigt die Breite des jeweiligen Abschnittes, „No. El.“ die Anzahl der im Abschnitt befindlichen Gitterelemente. Der Expansionsfaktor „Exp. Fac.“ gibt an, um welchen Faktor zwei aufeinanderfolgende Elemente breiter oder schmaler werden. „First El.“ gibt die Breite des ersten Elements des Abschnittes an, „Last El.“ die Breite des letzten.

Ein Rechts-Klick auf eine beliebige Stelle der Gittertabelle öffnet ein weiteres Auswahlm Menü:



Hier kann für die x- und y-Richtung getrennt die Gitterfeinheit eingestellt werden:

**Manual:** Das Gitter kann manuell angepasst werden, indem die Elementanzahl und der Expansionsfaktor für jeden Gitterabschnitt eingegeben werden.

**Coarse, Medium und Fine:** Es wird ein grobes, mittleres oder feines Gitter generiert, unter Berücksichtigung der im Elementanzahl-Bereich angegebenen minimalen und maximalen Anzahl der Gitterelemente (siehe oben).

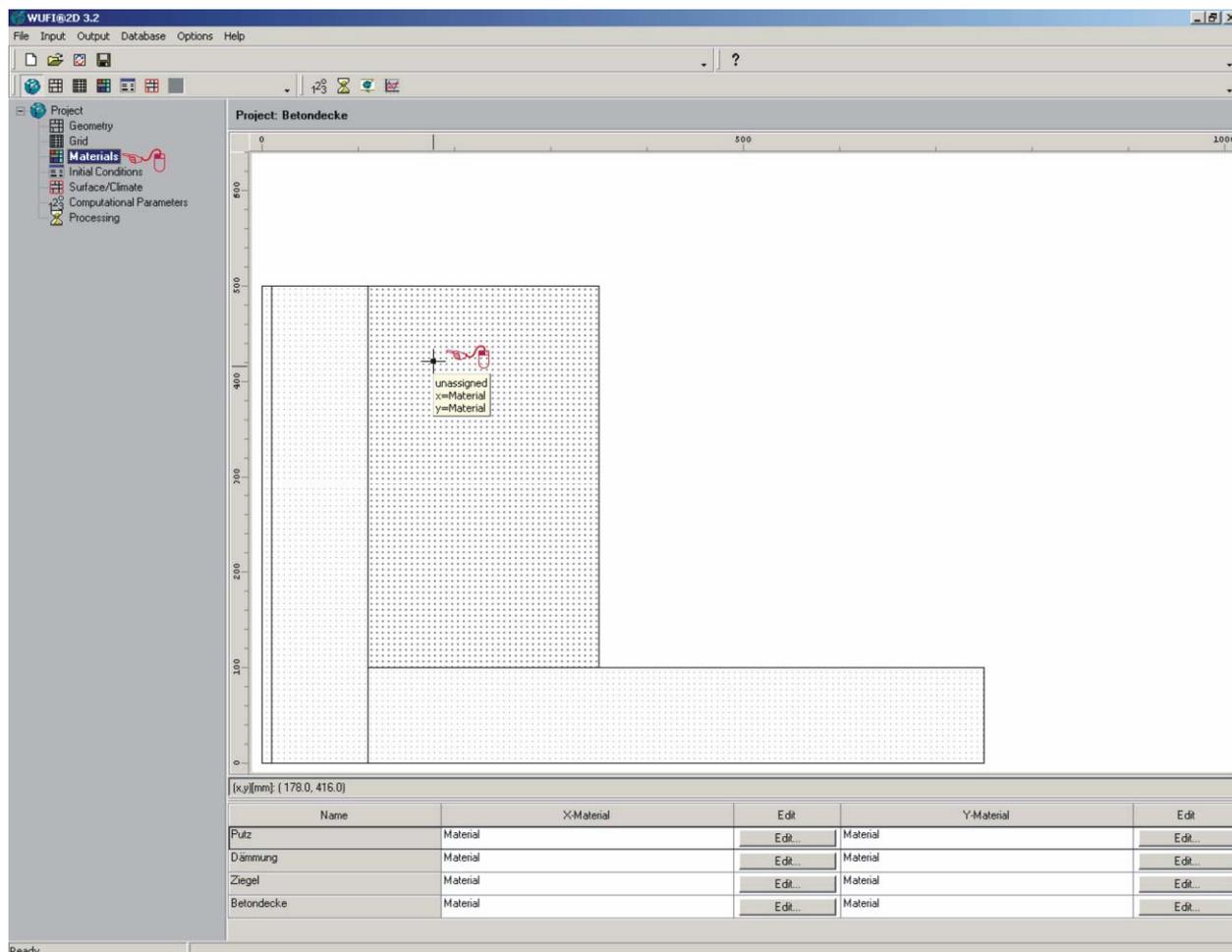
## Schritt 4: Material zuweisen

### In unserem Beispiel

Für das hier vorgeführte Beispiel werden die folgenden Materialien aus der Datenbank eingelesen und den einzelnen Rechtecken des Bauteils zugewiesen:

- Mineralischer Außenputz
- Mineralfaser (Wärmeleit.: 0,04 W/mK)
- Hochdämmender Ziegel (Dichte=600)
- Beton C35/45.

### Dialog "Materials"

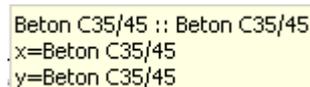


Mit einem Mausklick auf "Materials" wird der oben abgebildete Bildschirm geöffnet. Er zeigt die vorher eingegebene Konstruktion. Klicken Sie auf ein Rechteck, um diesem ein Material zuzuweisen.

Die Materialeigenschaften in x- und y-Richtung können identisch (isotropes Material) oder unterschiedlich (anisotropes Material) sein:

1. Ist dem Rechteck noch kein Material zugewiesen, wird durch einen Klick mit der *linken* Maustaste das im nächsten Dialog auszuwählende Material *sowohl der x- als auch der y-Richtung* zugewiesen werden.
2. Ist der Fläche schon ein Material zugewiesen, wird durch einen Klick mit der *linken* Maustaste das Material der *x-Richtung* zugewiesen...
3. ...und durch einen Klick mit der *rechten* Maustaste wird das Material der *y-Richtung* zugewiesen.

Die Tabelle unter der Bauteilzeichnung zeigt die dem Bauteil zugewiesenen Materialien. Sie können auch mit der Maus auf ein Rechteck zeigen, um ein kleines Fenster mit den in beiden Richtungen zugewiesenen Materialien zu öffnen:

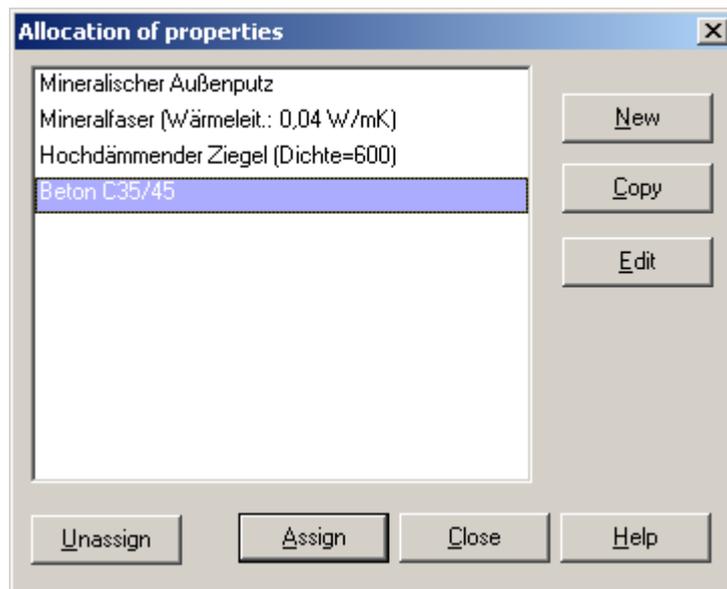


```
Beton C35/45 :: Beton C35/45
x=Beton C35/45
y=Beton C35/45
```

Der Links- oder Rechtsklick auf das Rechteck öffnet den Dialog „Allocation of properties“.

## Dialog "Allocation of Properties"

Dieser Dialog listet die Materialien auf, die den Rechtecken bereits zugewiesen wurden. Sie können ein Material aus der Liste erneut verwenden oder der Liste ein neues Material hinzufügen. Beim ersten Aufruf ist die Liste leer.



### **Schaltflächen:**

- New:** Der Liste ein neues Material hinzufügen. Es öffnet sich der Dialog „Material Database“, in dem Sie das Material auswählen können (siehe unten).
- Copy:** Aktuelles Material kopieren, um es zu bearbeiten oder um eine unabhängige Kopie des Materials zu erstellen. Benutzen Sie unabhängige Kopien, wenn Sie Rechtecken, die das gleiche Material enthalten, verschiedene Anfangsbedingungen (siehe unten) zuweisen wollen.
- Edit:** Öffnet den Dialog „Material Properties“ zum Editieren des gewählten Materials (siehe unten).
- Unassign:** Hebt die Zuweisung eines Materials auf (getrennt in x- oder y-Richtung, siehe oben).
- Assign:** Weist dem gewählten Rechteck ein Material zu (in x- und/oder y-Richtung, siehe oben).
- Close:** Schließt das Fenster.
- Help:** Öffnet die Hilfe für diesen Dialog.

## Dialog "Material Database"

Der Dialog „Material Database“ listet die in der Materialdatenbank enthaltenen Materialien auf und bietet sie zur Auswahl an. (Wollen Sie der Datenbank ein neues Material hinzufügen, verwenden Sie den Datenbankeditor. Dieser befindet sich in der Menüleiste des Hauptfensters unter „Database → Materials...“.)

WUFI: Material database

Source: Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) - Holzkirchen, Deutschland

Catalog: All Catalogues

Sort by: Name

Name	Den. [kg/m³]	Ther. Cond. [W/mK]	Diff. Res. Fac. [-]	Free Sat. [kg/m³]	Poro. [m³/m³]	H. Cap. [J/kgK]
Number of Materials: 104						
Kalksandstein (Dichte: 1900 kg/m³)	1900	0.8	25	210	0.24	850
Kalkzementputz	1900	0.8	25	210	0.24	850
Kalkzementputz (w-Wert: 1,0 kg/m²h0,5)	1900	0.8	19	210	0.24	850
Kellerziegel	800	0.18	15	193	0.6	850
KlimatexFlock Zellulosefaser	50	0.038	1.8	426	0.95	2000
Kombination A-Schicht 1 von 4 (außen, Oberputz)	1310	0.87	8	192	0.36	850
Kombination A-Schicht 2 von 4 (Widerstand Oberputz-Grundputz)	1310	0.87	8	192	0.36	850
Kombination A-Schicht 3 von 4 (Grundputz)	1219	0.25	10.8	160	0.3	850
Kombination A-Schicht 4 von 4 (innen, Wld. Grund-Mauerst.)	1219	0.25	10.8	160	0.3	850
Kork (Wärmeleit.: 0.04 W/mK)	150	0.04	10	160	0.9	1880
Krensheimer Muschelkalk	2440	2.25	140	75	0.13	850
Kunsthazoberputz	1100	0.7	1E3	100	0.12	850
Mineralfaser (Wärmeleit.: 0.04 W/mK)	60	0.04	1.3	100	0.95	850
Mineralische Dämmplatte	115	0.043	3.4	100	0.95	850
<b>Mineralischer Außenputz</b>	<b>1900</b>	<b>0.8</b>	<b>25</b>	<b>210</b>	<b>0.24</b>	<b>850</b>
Obernkirchner Sandstein	2150	2.3	32	110	0.14	850
OSB-Platte (Dichte 553 kg/m³)	553	0.12	134	610	0.61	1700
OSB-Platte (Dichte 595 kg/m³)	595	0.13	165	814	0.9	1500
OSB-Platte (Dichte 615 kg/m³)	615	0.13	175	636	0.9	1500
OSB-Platte (Dichte: 630 kg/m³)	630	0.13	650	636	0.6	1500
PA-Folie	65	2.9	4.38E3	11.2	0.001	2300
Pavatex Diffutherm Holzweichfaserplatte	168	0.044	3.3	526	0.68	2100
PF (Wärmeleit.: 0.04 W/mK)	43	0.04	30	526	0.95	1500
Porenbeton (Dichte: 400 kg/m³)	400	0.1	7.9	380	0.81	850
Porenbeton (Dichte: 400 kg/m³) - Alte Rezeptur	400	0.1	7	340	0.81	850
Porenbeton (Dichte: 500 kg/m³)	500	0.12	8	435	0.77	850
Porenbeton (Dichte: 600 kg/m³)	600	0.14	8.3	470	0.72	850

Info-Text: w-Wert 0.1 kg/m²h0.5 - aus H.M. Künzel: Austrocknung von Wandkonstruktionen mit WDVS

Thickness [cm]: 0.01, 0.02

Optional Data: Moisture Storage Function, Liquid Transport Coefficient, Suction, Thermal Conductivity [W/mK], Water Vapour Diffusion Resistance

Buttons: Assign, Help, Close

Um ein Material aus der Datenbank einzulesen

1. wählen Sie die gewünschte Quelle und den Katalog.
2. Wählen Sie das benötigte Material.
3. Drücken Sie die „Assign“-Schaltfläche, um das Material zu der Materialienliste im Dialog „Allocation of properties“ hinzuzufügen.

Für jedes Material sind die Grundkennwerte in den Spalten hinter dem Materialnamen aufgeführt. Weitere Werte werden unter „Wärme- und feuchtetechnische Kennwerte“ dargestellt, wenn die Option „Show optional data“ gesetzt ist.

## Dialog "Material Properties"

Dieser Dialog zeigt die Kennwerte eines Materials an. Sie können die Eigenschaften des Materials überprüfen und ändern. Um die Materialdaten ändern zu können, muss das Material erst durch einen Klick auf das Vorhängeschloss „entsperrt“ werden. Wurde ein Material entsperrt, beginnt sein Name mit einem Stern (\*), um es vom originalen Material aus der Datenbank unterscheiden zu können.

**Material Properties** X

Material Name: Hochdämmender Ziegel (Dichte=600)

Material Data | Info | Details

**Basic Values**

Bulk Density [kg/m³]	600
Porosity [m³/m³]	0.77
Spec. Heat Capacity [J/kgK]	850
Thermal Conductivity dry [W/mK]	0.12
Water Vapour Diffusion Resistance Factor dry [-]	16

**Generation of the Moisture Storage Function**

	RH [-]	W.Cont. [kg/m³]
Reference Water Content	0.8	11
Free Water Saturation	1.0	188

**Generation Parameter**

Thermal Conductivity Supplement [%/M.-%]	10
--	----

**Additional**

Material Color	
Typical Built-In Moisture [kg/m³]	100

**Moisture Storage Function**

Liquid Transport Coefficient  
Thermal Conductivity, moisture-dependent  
Water Vapour Diffusion Resistance Factor, moisture-depend

Graph | Table

Generate       Simple  
 Enhanced

Water Content [kg/m³]

Relative Humidity [-]

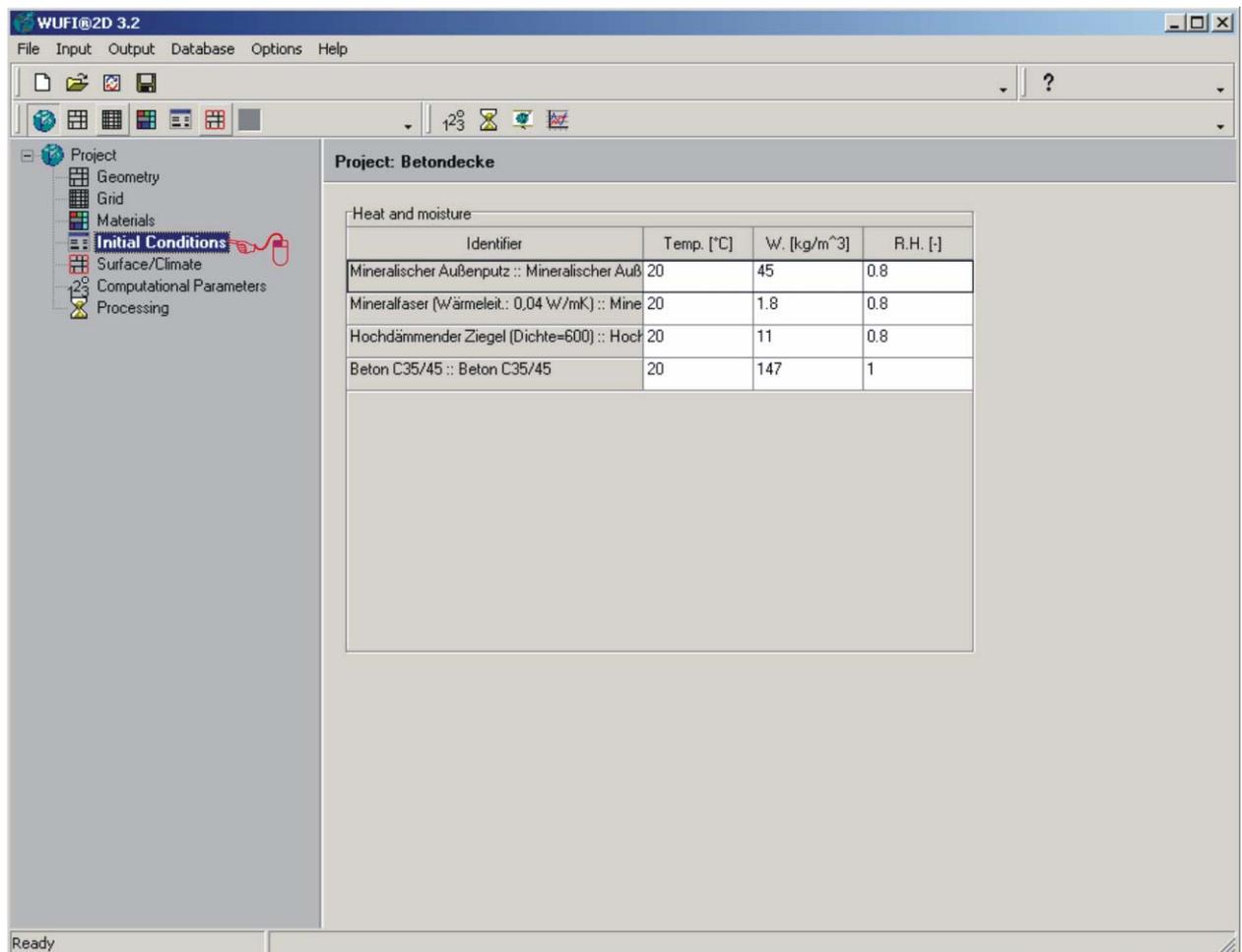
? Help       OK       Cancel

## Schritt 5: Anfangsbedingungen

### In unserem Beispiel

In dem hier betrachteten Beispiel setzen wir den Wassergehalt des Betons auf die freie Sättigung ( $147 \text{ kg/m}^3$ ) und übernehmen die anderen Vorgaben unverändert.

### Dialog "Initial Conditions"



Mit einem Mausklick auf "Initial Conditions" wird der oben abgebildete Bildschirm geöffnet. Für jedes zugewiesene Material können hier die gewünschten Anfangsbedingungen für Temperatur und Wassergehalt oder relative Feuchte angegeben werden. (Alle Rechteckelemente des Bauteils, welche dasselbe Mate-

rial enthalten, starten mit denselben Anfangsbedingungen. Wollen Sie *unterschiedliche* Anfangsbedingungen für Elemente mit demselben Material ansetzen, weisen Sie ihnen unabhängige *Kopien* des Materials zu; siehe den Dialog „Allocation of Properties“ weiter oben.)

Da sich die thermischen Verhältnisse in Bauteilen meist sehr schnell gemäß den Randbedingungen einstellen, ist es für die große Mehrzahl der Fälle nicht erforderlich, ausgefeilte Anfangstemperaturen anzusetzen. Meist ist der thermische Zustand des Bauteils schon nach wenigen Stunden unabhängig vom Anfangszustand geworden. Der pauschale Vorgabewert von 20 °C über das gesamte Bauteil ist daher meist ausreichend. Lediglich bei der Berechnung von sehr kurzfristigen Prozessen (z.B. im Labor) kann es erforderlich sein, hier spezifischere Angaben zu machen.

## Schritt 6: Randbedingungen

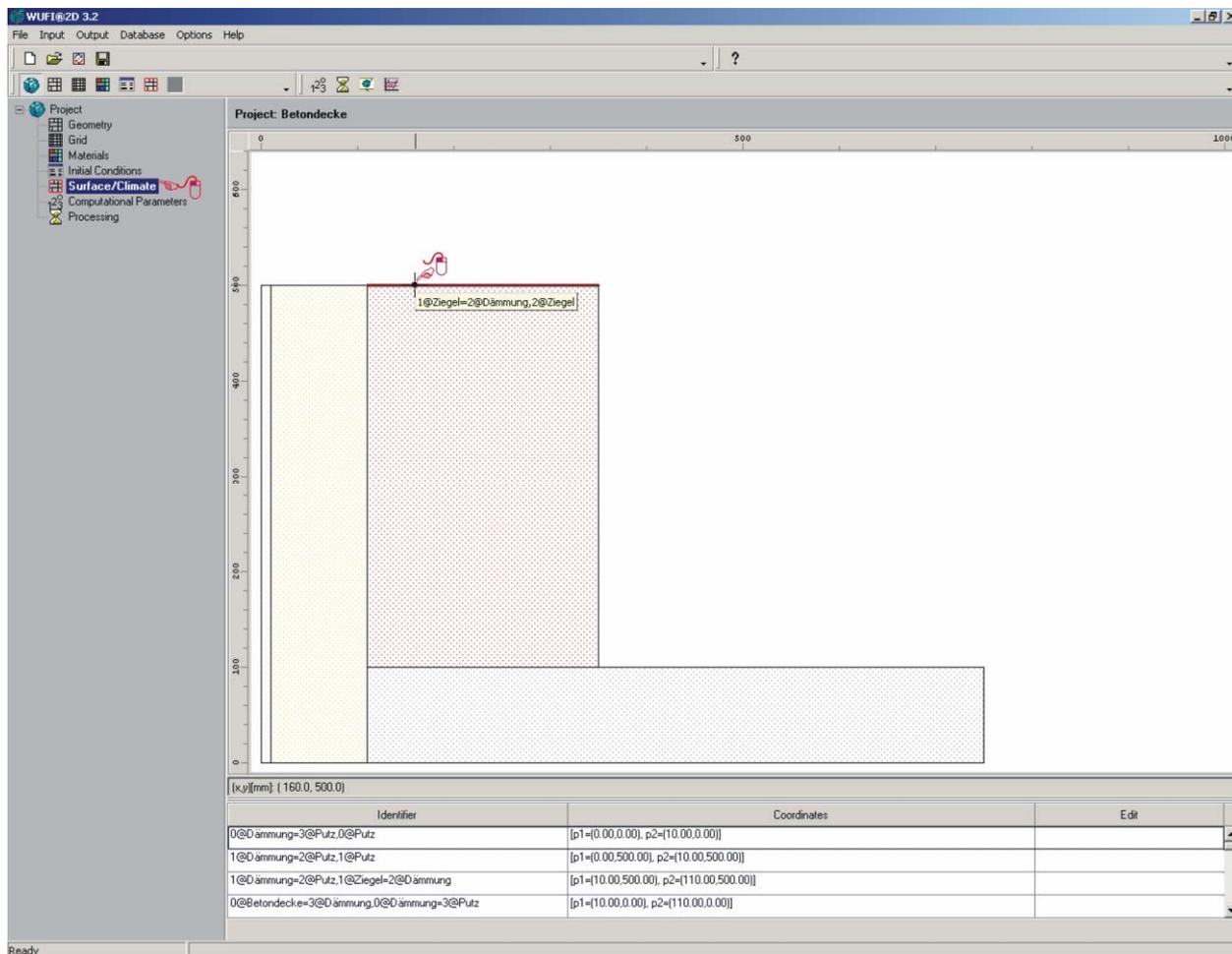
### In unserem Beispiel

Die für den Beispielfall nötigen Eingabedaten zur Definition der Randbedingungen sind in der folgenden Tabelle angegeben:

	Außenklima	Innenklima	Adiabat
Surface Coefficients			
Adiabatic/ System Border			X
Treat as Inner Surface		X	
Heat Transfer Coefficient [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]	17	8	
Short-Wave Radiation Absorptivity [-]	0.4 (Putz, hell)		
Long-Wave Radiation Emissivity [-]	0.9		
Rain Water Absorption Factor [-]	0.7		
Color in Model	●	●	●
Climate File	Holzkirchen	WTA	
Azimuth [deg]	90	-	
Inclination [deg]	90	-	

Die folgenden Abschnitte beschreiben, wo und wie Sie diese Daten eingeben können.

## Dialog "Surface/Climate"



Mit einem Mausklick auf "Surface/Climate" wird das oben abgebildete Fenster geöffnet. Hier müssen Sie allen Rändern der Konstruktion Randbedingungen zuweisen.

In dem hier gezeigten Beispiel wird die Außenwand mit dem Holzkirchner Klima (einschließlich Regen) beaufschlagt. Die Symmetriekante und alle Schnittkanten werden als adiabat (kein Verlust von Wärme oder Feuchte) betrachtet.

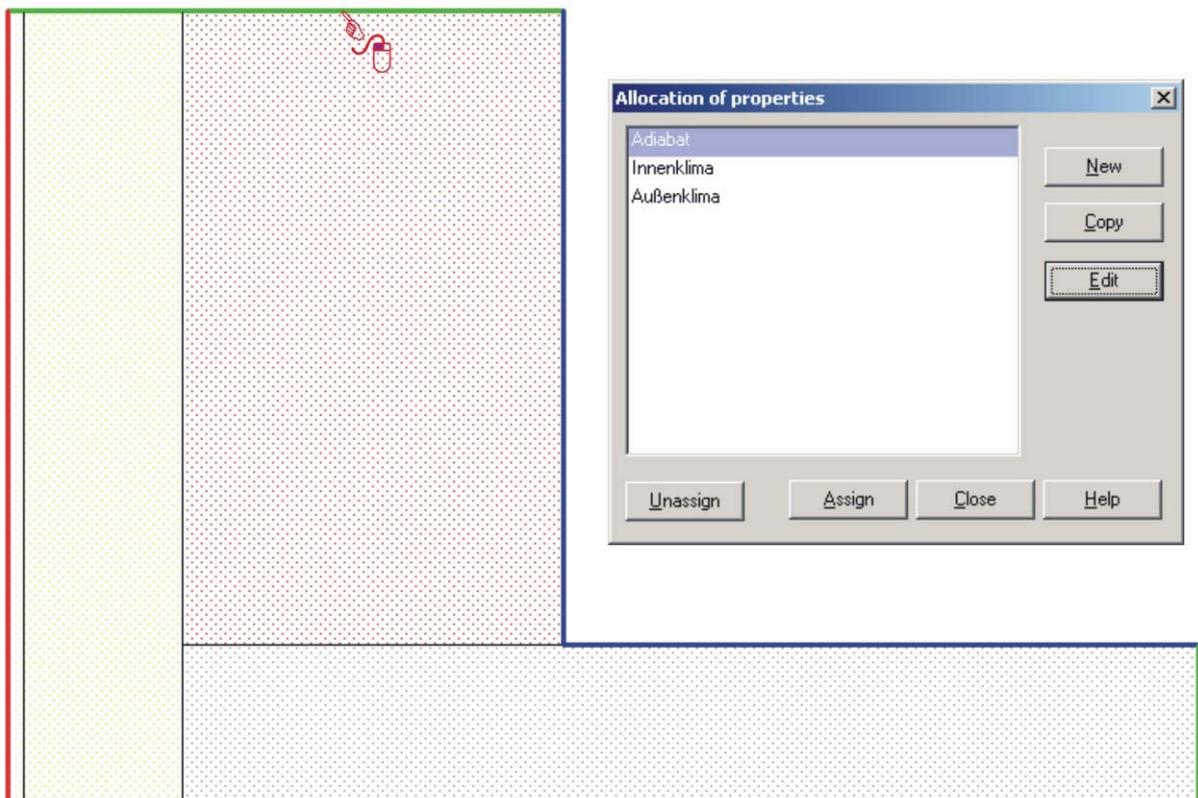
Klicken Sie auf ein Segment des Randes, um den Dialog „Allocation of properties“ zu öffnen..

## Dialog "Allocation of Properties"

Dieser Dialog listet die Randbedingungen auf, die bereits Randsegmenten zugewiesen wurden. Sie können Randbedingungen aus der Liste erneut verwenden oder neue Randbedingungen zur Liste hinzufügen. Beim ersten Aufruf ist die Liste leer.

Um der Liste einen neuen Satz von Randbedingungen hinzuzufügen, klicken Sie auf „New“. Der Liste wird ein neuer Eintrag hinzugefügt, mit einer vom Programm generierten Bezeichnung (z.B. 1@Ziegel=2@Dämmung,2@Ziegel). Bei Bedarf können Sie die Bezeichnung mit einem Doppelklick in etwas Verständlicheres ändern (z.B. „Außenoberfläche“).

Um die Randbedingungen einzugeben, klicken Sie auf die Schaltfläche „Edit“.



Das oben gezeigte Bild enthält die Konstruktion und den Dialog „Allocation of properties“ mit den drei für das Beispiel verwendeten Sätzen von Randbedingungen (die Randbedingungen „Adiabat“ wurden den drei im Diagramm grün gezeichneten Rändern zugewiesen, die Randbedingungen „Außenklima“ dem roten Rand und die Randbedingungen „Innenklima“ den beiden blauen Rändern).

## **Schaltflächen:**

- New:** Der Liste wird ein neuer Satz von Randbedingungen hinzugefügt. Er trägt zunächst einen vom Programm erzeugten Namen (dieser beschreibt, für welches Randsegment Sie den Listeneintrag erzeugt haben).
- Copy:** Erstellt eine Kopie des markierten Satzes von Randbedingungen. Dies kann nützlich sein, wenn Sie einen neuen Satz von Randbedingungen erstellen wollen, welcher sich nur in einzelnen Einstellungen von einem existierenden Satz unterscheidet.
- Edit:** Öffnet den Dialog „Surface/Climate“ zum Editieren des markierten Satzes von Randbedingungen (siehe unten).
- Unassign:** Hebt die Zuweisung der gewählten Randbedingung auf.
- Assign:** Weist der gewählten Kante die markierte Randbedingung zu.
- Close:** Schließt das Fenster.
- Help:** Öffnet die Online-Hilfe für diesen Dialog.

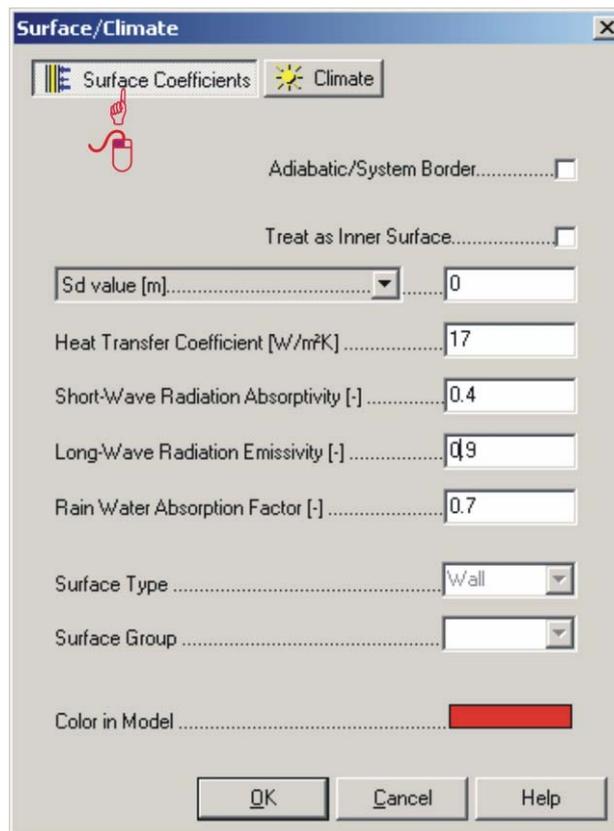
**TIPP:** Die Bezeichnung der Randbedingung kann mit einem Doppelklick geändert werden.

**TIPP:** Die Randbedingungen für die beiden Randsegmente, die sich an einer Hausecke treffen, sind oft identisch, mit Ausnahme der unterschiedlichen Richtungen, in die die Oberflächen zeigen. In diesem Fall erzeugen Sie nicht mit „New“ einen neuen und leeren Satz von Randbedingungen, sondern kopieren Sie mit „Copy“ den bestehenden Satz. Nun brauchen Sie nur noch unter „Edit“ die Ausrichtung zu ändern und müssen keine vollständig neuen Randbedingungen erstellen.

## Fenster "Surface/ Climate"

Mit einem Mausklick auf „Edit“ im Dialog „Allocation of properties“ wird das unten abgebildete Fenster geöffnet. Dieser Dialog hat eine Seite für Oberflächenparameter („Surface Coefficients“) und eine Seite für das einwirkende Klima („Climate“).

### Surface Coefficients



Die Screenshots zeigen die Einstellungen für das „Außenklima“ in unserem Beispiel. Die Eingabemöglichkeiten sind im Folgenden beschrieben:

**Adiabatic/System Border:** Diese Option macht die Oberfläche zu einer adiabaten Systemgrenze. Der Oberfläche wird ein unendlich hoher Widerstand für den Wärme- und Feuchteübergang zugewiesen, so dass über sie hinweg keinerlei Wärme- oder Feuchteausaustausch stattfindet. Die Hauptanwendung für diese Option sind Symmetrieachsen, da weder Wärme noch Feuchte über eine solche fließen können. Ist die Option gesetzt, werden keine weiteren Einstellungen für die Randbedingungen benötigt.

**Treat as Inner Surface:** Diese Option definiert die Oberfläche als Innenraumoberfläche. WUFI 2D berechnet automatisch den Wasserdampfübergangskoeffizienten aus dem Wärmeübergangskoeffizienten (für Details siehe unten), und diese Berechnung erfolgt leicht unterschiedlich für Außen- und Innenoberflächen.

**Sd-Value [m] oder Vapor Transfer Coefficient [kg/m<sup>2</sup>sPa]:**

Der Diffusionsübergangswiderstand an der Oberfläche kann auf zwei verschiedene Weisen eingegeben werden:

**s<sub>d</sub>-value:**

Erlaubt es, gegebenenfalls den Einfluß einer diffusionshemmenden Oberflächenschicht zu berücksichtigen (z.B. Tapete, Fliesen, Dampfbremse, ...), indem hier deren sd-Wert angegeben wird. Die Schicht muß dann nicht mehr explizit im Bauteil-aufbau modelliert werden.

Der durch die stets vorhandene Luftgrenzschicht erzeugte natürliche Übergangswiderstand wird von WUFI 2D automatisch berechnet und hinzugeaddiert.

**Vapor transfer coefficient:**

Gibt den *gesamten* Diffusionsübergangswiderstand an der Oberfläche an (den natürlichen Übergangswiderstand plus gegebenenfalls eine Oberflächenbeschichtung), falls Sie für den natürlichen Anteil andere Werte verwenden wollen als die von WUFI 2D automatisch berechneten.

Addieren Sie alle Übergangswiderstände zusammen, die Sie berücksichtigen wollen und nehmen Sie davon das Reziproke, um den Übergangskoeffizienten zu erhalten.

In den meisten Fällen (Standardwerte für den natürlichen Übergangswiderstand und keine zusätzliche Oberflächenbeschichtung), geben Sie einfach s<sub>d</sub>=0 ein. Für weitere Informationen konsultieren Sie bitte die Online-Hilfe.

**Heat Transfer Coefficient [W/m<sup>2</sup>K]:**

Der Wärmeübergangskoeffizient der Oberfläche.

Short-Wave Radiation Absorptivity [-]:

Die kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl der Oberfläche (d.h. der Bruchteil der einfallenden Sonnenstrahlung, welcher von der Oberfläche absorbiert wird).

Long-Wave Radiation Emissivity [-]:

Die langwellige Strahlungsemissionsszahl der Oberfläche (d.h. der Emissionsgrad der Oberfläche für thermische Abstrahlung).

Wir empfehlen, diesen Wert auf Null zu setzen; für Details konsultieren Sie bitte die Online-Hilfe.

Rain Water Absorption Factor [-]:

Die Regenwasserabsorptionszahl der Oberfläche. Dieser Reduktionsfaktor berücksichtigt den Umstand, dass ein Teil des auf die Oberfläche treffenden Regenwassers wieder wegspritzt und für die kapillare Wasseraufnahme nicht mehr zur Verfügung steht.

Bei senkrechter Wand wird üblicherweise ein Wert von 0.7 angenommen.

Surface Type:

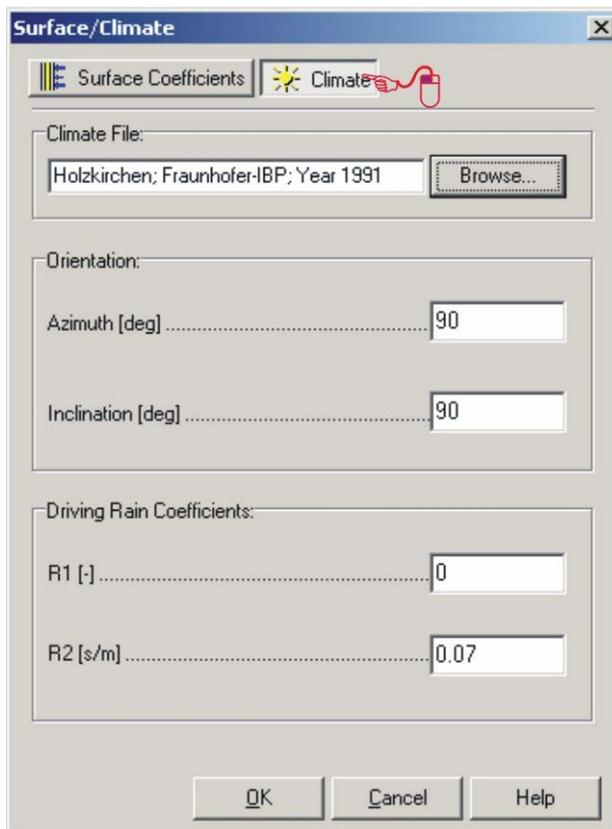
Surface Group:

Diese Optionen sind nur in der CFD-Version verfügbar.

Color in Model:

Wählen Sie die Farbe, mit der das gerade bearbeitete Randsegment im Bauteilaufbau dargestellt werden soll.

## Climate



Der Screenshot zeigt die Einstellungen für das „Außenklima“ in unserem Beispiel. Die Eingabemöglichkeiten sind im Folgenden beschrieben:

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| Climate File              | Spezifiziert die auf das Randsegment einwirkenden Klimabedingungen. Klicken Sie auf die „Browse...“-Schaltfläche, um im Dialog „Climate“ eine Klimadatei oder eine sonstige Klimaspezifikation auszuwählen (siehe unten). |
| Azimuth [deg]             | Die Orientierung der Bauteiloberfläche. Die Angabe erfolgt in Grad. Hierbei ist 0° Süd, 90° West, -90° Ost und ±180° Nord. Zwischenwerte sind zulässig.   |
| Inclination [deg]         | Die Neigung der Bauteiloberfläche. Die Angabe erfolgt in Grad. Wände haben in der Regel 90°, ein Flachdach 0°.  |
| Driving Rain Coefficients | Diese Koeffizienten werden benutzt, um die Schlagregenbelastung abzuschätzen. Die Schlag-   |

regenbelastung errechnet sich als  
 Schlagregen = Normalregen\*(R<sub>1</sub>+R<sub>2</sub>\*V<sub>wind</sub>).

Für Details zu R1 und R2 konsultieren Sie bitte die Online-Hilfe.

## Dialog "Climate"

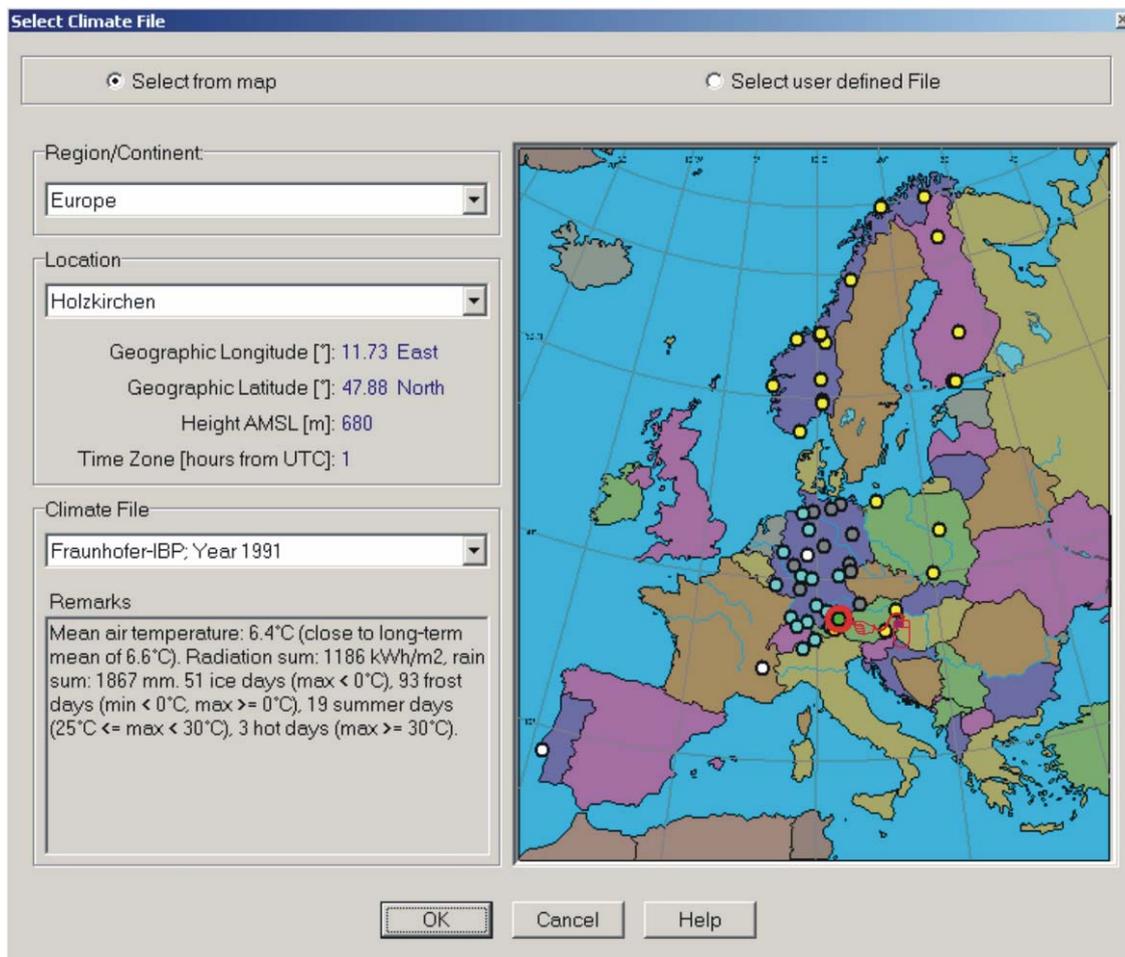
Die „Browse...“-Schaltfläche auf der Seite „Climate“ des Dialogs „Surface/Climate“ öffnet den folgenden Dialog, in dem Sie das Innen- oder Außenklima wählen können, welches auf das gerade bearbeitete Randsegment einwirken soll. Sie können Städte aus einer Karte oder eigene Klimadateien auswählen. Außerdem stehen einige vereinfachte Klimamodelle (hauptsächlich für Innenklima) zur Verfügung, wie sie von einigen Normen vorgegeben werden.

### Außenklima (in der Registerkarte „Map/File“)

Einige Klimadateien mit gemessenen Außenklimadaten für verschiedene Städte werden mit WUFI 2D geliefert; Sie können aber auch Ihre eigenen Klimadateien benutzen. Die mitgelieferten Dateien werden einfach auf einer Karte ausgewählt, welche die betreffenden Städte zeigt; Ihre eigenen Dateien wählen Sie mit einem Dateibrowser. Klicken Sie auf die Registerkarte „Map/File“ und dort auf die Schaltfläche „Browse...“



Die „Browse...“-Schaltfläche öffnet den Dialog „Select Climate File“.



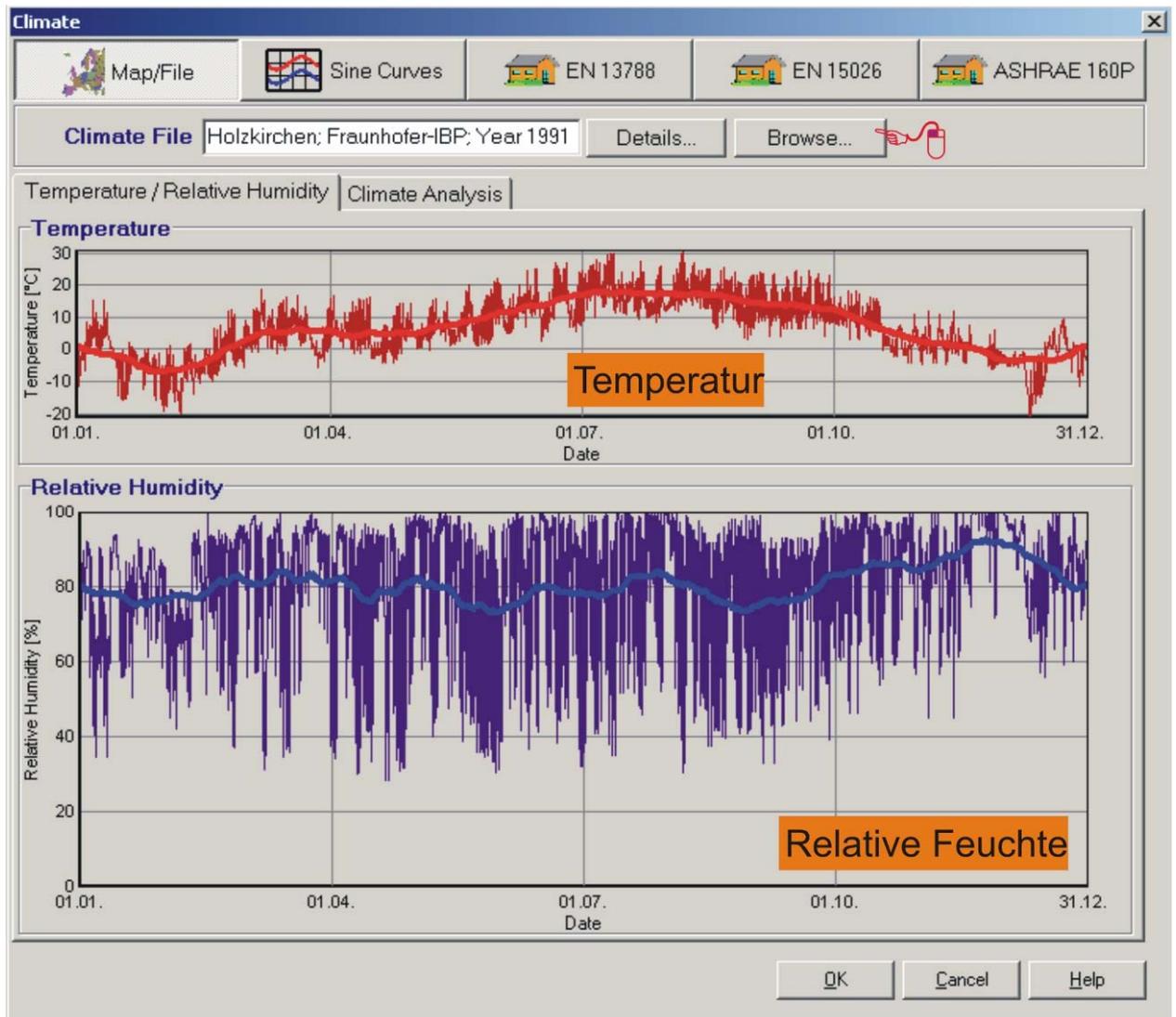
Benutzen Sie diesen Dialog, um entweder auf der Karte eine der mit WUFI 2D gelieferten Klimadateien auszuwählen, oder um einen Dateibrowser zu öffnen, mit dem Sie eine aus anderer Quelle stammende Klimadatei auswählen können.

Mit der Drop-Down-Liste „Region/Continent“ können Sie zwischen Karten verschiedener Regionen wechseln. Den gewünschten Klimastandort wählen Sie anschließend entweder aus der Liste „Location“ oder direkt durch Anklicken in der Karte (in unserem Beispiel wird der Ort Holzkirchen verwendet). Die farbig markierten Orte repräsentieren vorhandene Klimadaten; die grau markierten stehen für die Orte, deren geographische Daten bereits im Programm hinterlegt sind und deren Klimadatei nur noch in den Klimaordner kopiert werden müssen. Dabei handelt es sich um Daten, die nicht mit WUFI 2D mitgeliefert werden, sondern käuflich erworben werden müssen wie z.B. die Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes.

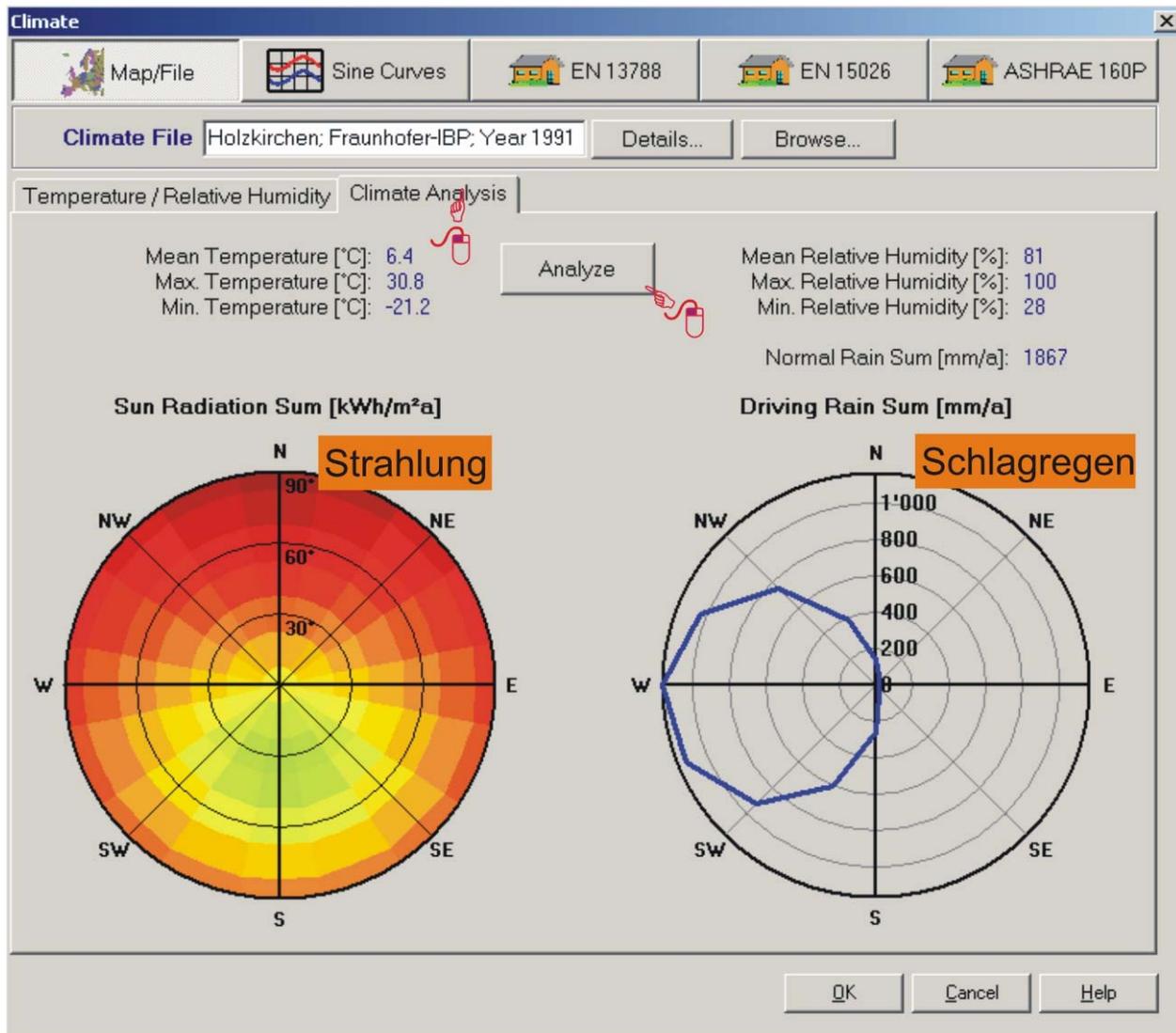
Bestätigen Sie Ihre Auswahl durch Drücken der OK-Schaltfläche.

Ist eine Klimadatei gewählt, zeigt WUFI 2D automatisch den Verlauf von Temperatur und Relativer Feuchte auf der Registerkarte „Temperature/Relative Humidity“. In den Diagrammen werden die stündlichen Werte (dünne Kurven) und die

gleitenden Monatsmittel (dicke Kurven) von Temperatur (oben, rot) und relativer Feuchte (unten, blau) für den Zeitraum der Klimadatei dargestellt.



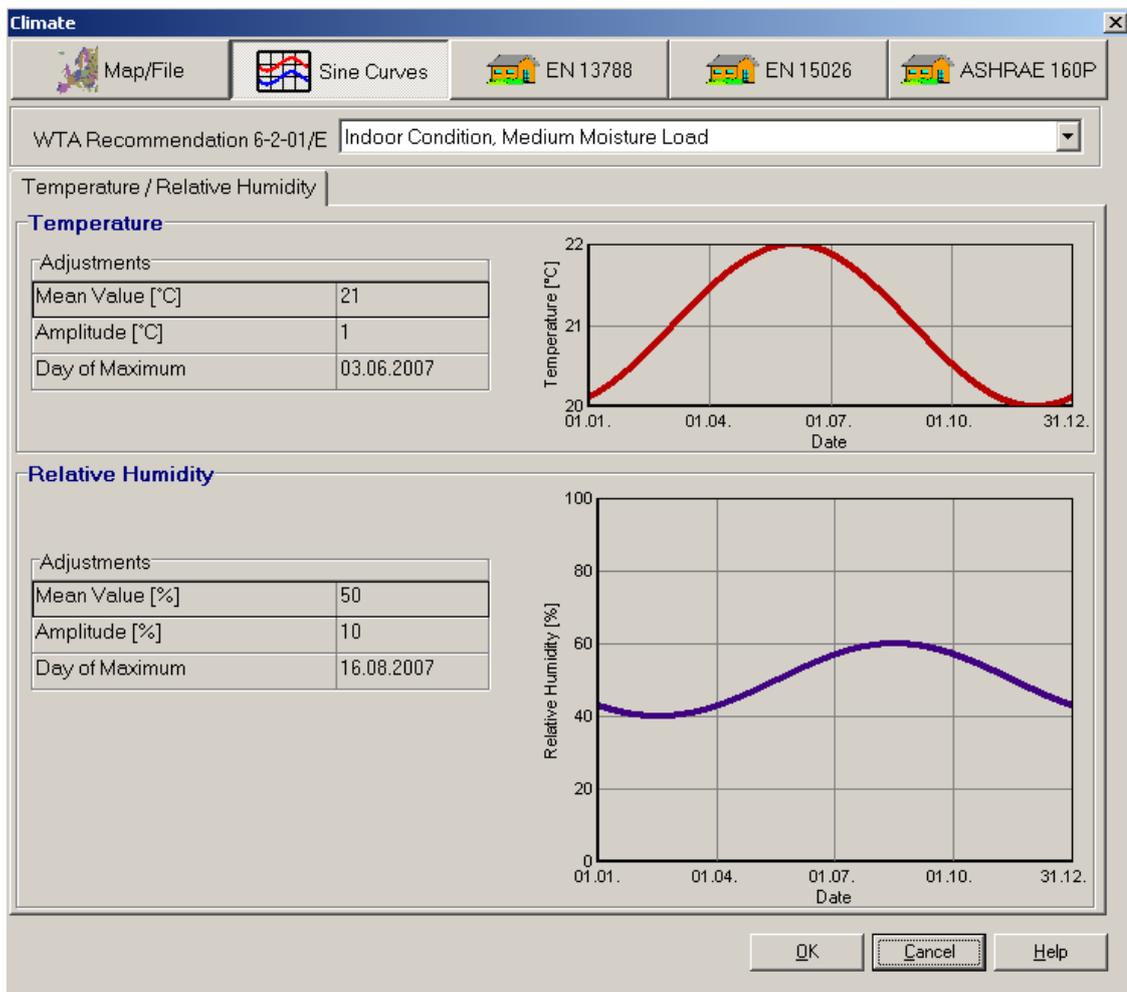
WUFI 2D bietet auch eine Analysemöglichkeit für Mittel- und Extremwerte von Temperatur und relativer Feuchte sowie die Verteilung von Sonnenstrahlung und Schlagregen. Diese finden Sie auf der Registerkarte „Climate Analysis“.



Da die Berechnung etwas aufwändiger ist, erfolgt sie erst nach Mausklick auf die Schaltfläche „Analyze“. Nach kurzer Berechnung erhalten Sie links oben die Durchschnitts-, Maximal- und Minimalwerte für die Temperatur und darunter in der Strahlungsrose eine Auswertung der jährlichen Strahlungssummen auf Empfangsflächen mit unterschiedlichen Orientierungen und Neigungen. Niedrige Strahlungswerte werden durch dunkelrote, hohe Werte durch eine helle blau-grünliche Farbgebung dargestellt. Die Skalierung ist unabhängig vom Standort stets dieselbe, somit ist auf den ersten Farbeindruck erkennbar, ob es sich um einen Standort mit hoher oder niedriger Strahlungsintensität handelt.

Auf der rechten Seite sind oben die statistischen Werte für die relative Luftfeuchte sowie die Normalregensumme angegeben. Darunter zeigt die Schlagregenrose die Verteilung der jährlichen Schlagregensumme auf vertikale Flächen unterschiedlicher Orientierung. Die Skalierung des Schlagregens wird jeweils an die maximale Schlagregenmenge des Standorts angepasst. Die Mengenangabe erfolgt analog zum Normalregen in mm/Jahr.

## Innenklima (Sinuskurven, Innenklimamodelle)



Für das Innenklima bietet WUFI 2D einfache Sinuskurven sowie verschiedene Innenklimamodelle an.

Unter „Sine Curve“ finden Sie entsprechend dem WTA-Merkblatt 6-2-01/D „Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse“ einen über das Jahr sinusförmigen Verlauf von Temperatur und relativer Feuchte zwischen Maximalwerten im Sommer und Minimalwerten im Winter. Aus der Drop-Down-Liste können Sie vordefinierte Kurven für das Außenklima oder ein Innenklima mit niedriger, normaler oder hoher Feuchtelast auswählen.

Wählen Sie „User-defined sine curve parameters“ aus der Liste, um die Mittelwerte und Amplituden der Kurven selbst zu definieren oder konstante Verhältnisse z.B. bei Klimatisierung einzustellen (Option „konstant“ aktivieren). Für die meisten Rechnungen sind die Standardeinstellungen für Wohnräume (normale Feuchtelast, Temperatur 21 °C mit Amplitude 1 °C) sinnvoll und ausreichend. Diese Einstellungen werden auch für die Berechnung des Beispielfalles verwendet.

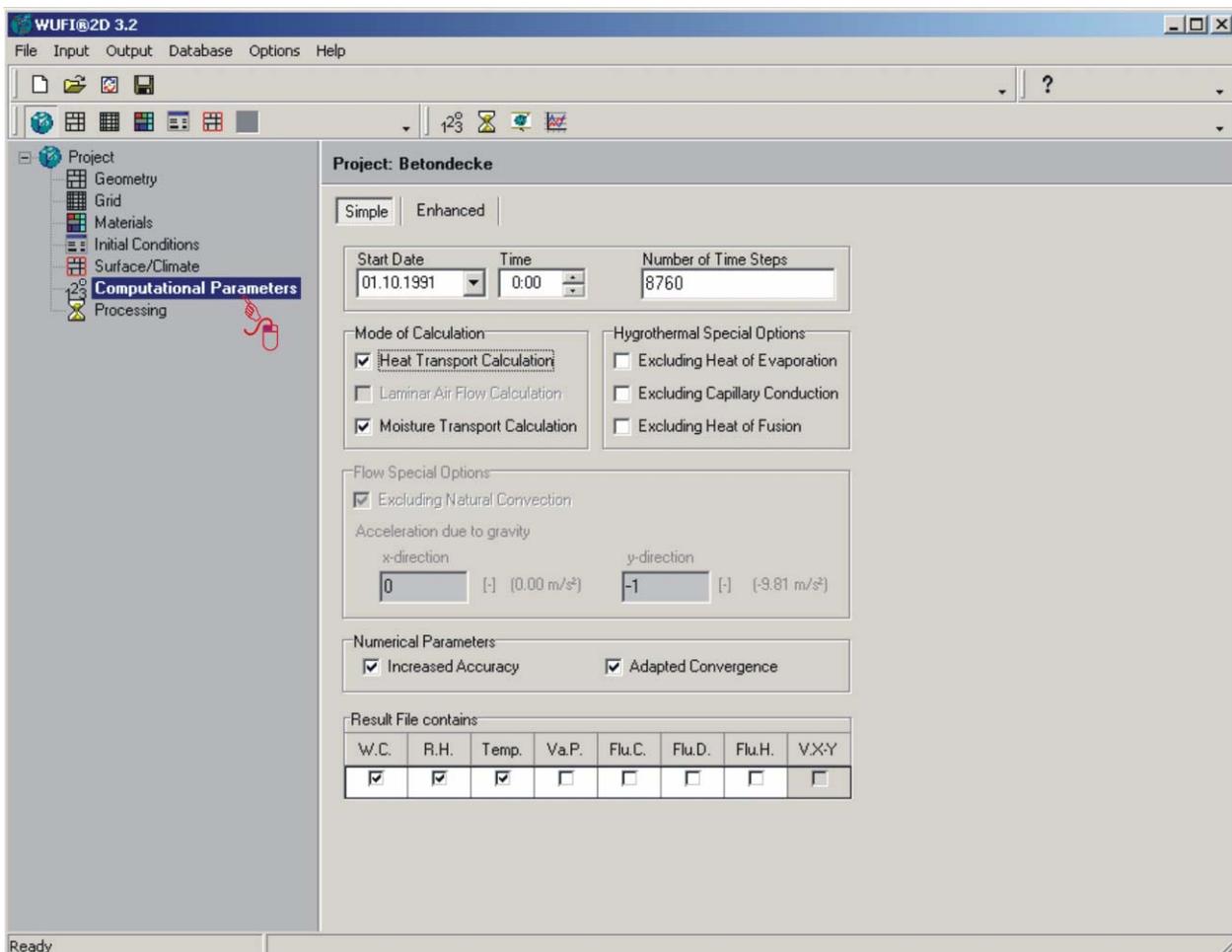
## Schritt 7: Numerische Parameter

### In unserem Beispiel

Das gewählte Beispiel wird über 8760 Stunden gerechnet, was einem Jahr entspricht. Startdatum ist der 01.10.1991. 1991 ist das Jahr der Holzkirchner Klimadatei, ansonsten ist die Jahreszahl ohne Bedeutung und wird von WUFI 2D ignoriert. In der Ergebnisdatei sollen Wassergehalt, relative Feuchte und Temperatur gespeichert werden.

### Dialog "Computational Parameters"

Mit einem Mausklick auf "Computational Parameters" wird das unten abgebildete Fenster geöffnet. Hier können Sie den Ablauf der Berechnung steuern.



Die im Bild gezeigten Einstellungen sind entsprechend den Anforderungen des Beispiels eingegeben. Im Folgenden werden die einzelnen Punkte kurz erläutert:

Registerkarte „Simple“

Grundeinstellungen für die Berechnung.

Registerkarte „Enhanced“

Hier werden die numerischen Parameter für den Solver eingestellt.

### **Zeiteinstellungen**

Start Date, Time

Der Anfangszeitpunkt der Berechnung; das Jahr wird ignoriert. WUFI 2D sucht diesen Zeitpunkt in der Klimadatei und beginnt dort mit der Berechnung.

Number of Time Steps

Die Anzahl der Zeitschritte für die Berechnung. Der Vorgabewert beträgt 8760 Schritte (zu je einer Stunde), also ein Jahr. (Die Zeitschrittweite kann auf der Registerkarte „Enhanced“ eingestellt werden. Der Vorgabewert ist eine Stunde.)

### **Mode of Calculation**

Heat Transport Calculation

Wärmetransport bei der Berechnung berücksichtigen.

Laminar Air Flow Calculation

Funktion wird nur in der CFD-Version unterstützt.

Moisture Transport Calculation

Feuchtetransport bei der Berechnung berücksichtigen.

### **Hygrothermal Special Options**

Excluding Heat of Evaporation

Latentwärmeeffekte bei Kondensation und Verdunstung werden in der Berechnung nicht berücksichtigt.

Excluding Capillary Conduction

Kapillartransport wird bei der Berechnung nicht berücksichtigt (Dampftransport dagegen schon).

Excluding Heat of Fusion                      Latentwärmeeffekte bei Eisbildung und Schmelzvorgängen werden in der Berechnung nicht berücksichtigt.

### Flow Special Options

Diese Optionen sind nur in der CFD-Version verfügbar.

### Numerical Parameters

Increased Accuracy                              Berechnung mit strengeren Konvergenzkriterien (erhöhte Rechenzeit)

Adapted Convergence                            Berechnung mit stärkerer Konvergenzdämpfung (erhöhte Rechenzeit).

### Result File Contains

Geben Sie hier die Ergebnisgrößen an, die in die Ergebnisdatei geschrieben werden sollen. Stellen Sie sicher, dass alle Größen ausgewählt sind, die später mit WUFI2DMotion oder WUFIgraph ausgewertet werden sollen.

W.C. (Water Content [kg/m <sup>3</sup> ])	Wassergehalt
R.H. (Relative Humidity [-])	Relative Feuchte
Temp. (Temperature [°C])	Temperatur
Va.P. (Vapor Pressure [hPa])	Dampfdruck
Flu.C. (Capillary Flux [kg/m <sup>2</sup> s])	Kapillarflüsse
Flu.D. (Diffusion Flux [kg/m <sup>2</sup> s])	Diffusionsflüsse
Flu.H. (Heat Flux [J/m <sup>2</sup> s])	Wärmefluss
V.X-Y	Wird nur in der CFD-Version benötigt.

## Zwischenschritt: Speichern

Um Ihre bis jetzt durchgeführte Arbeit zu speichern, wählen Sie File → Save oder klicken Sie auf das Diskettensymbol in der Symbolleiste. Es öffnet sich ein Fenster mit einem Dateibaum. Der Einstiegspunkt in die Dateistruktur ist unter Options → Settings als „Home Directory“ definiert (siehe hierzu den entsprechenden Abschnitt in der Kurzanleitung).

WUFI 2D speichert die Projektdaten in mehrere Dateien im Projektverzeichnis. Daher reicht es, wenn Sie an die gewünschte Stelle im Dateibaum gehen und hier einen neuen Ordner mit dem Projektnamen erstellen.

Bei späterem Öffnen des Projektes müssen Sie wiederum nur das gewünschte Verzeichnis angeben; WUFI 2D lädt automatisch alle benötigten Dateien.

## Schritt 8: Berechnung

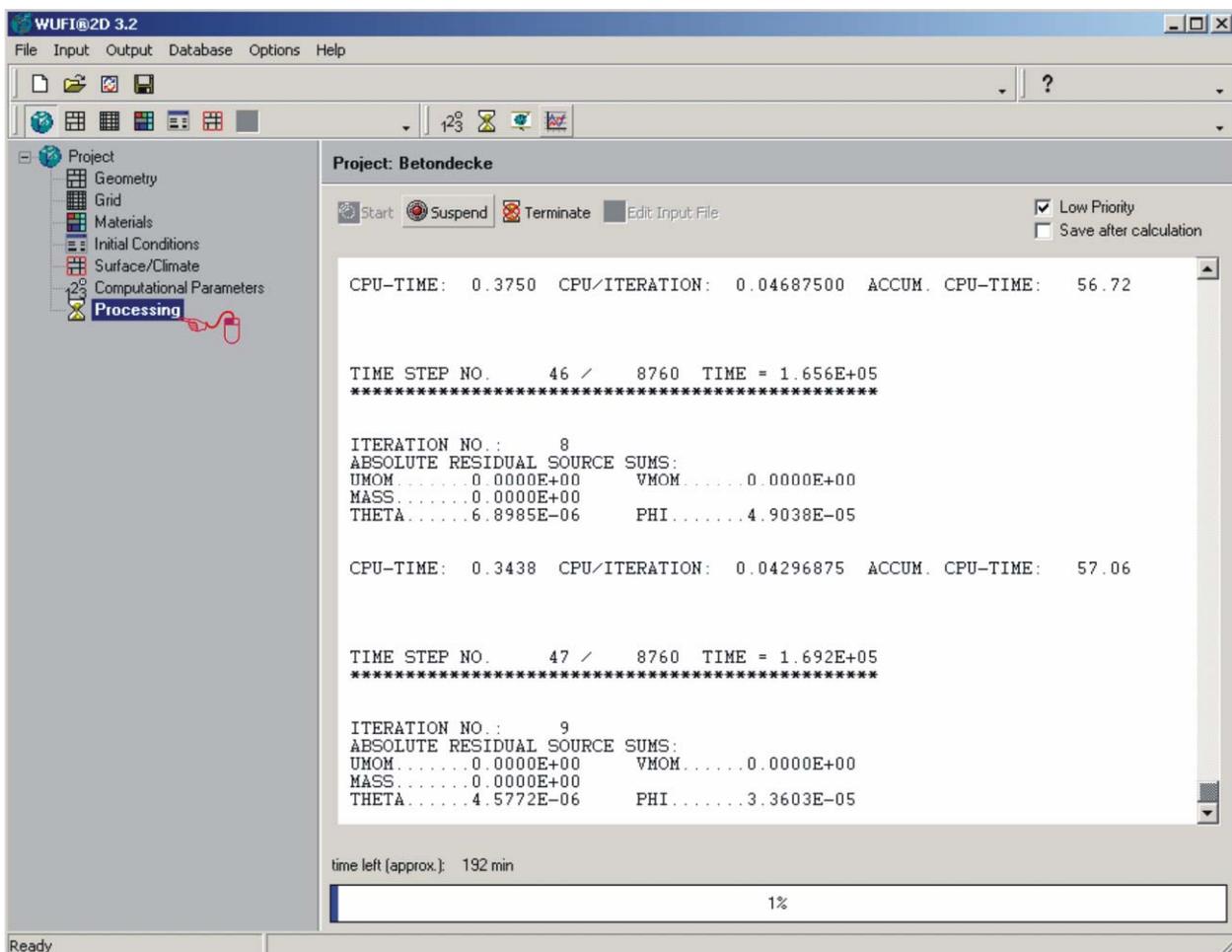
In diesem Schritt wird die Berechnung der instationären Wärme- und Feuchtetransportprozesse im Bauteil durchgeführt. Dieser Vorgang nimmt einige Zeit in Anspruch. Die Berechnung kann je nach Abmessungen der Konstruktion, Feinheit des Gitters, Intensität der Transportvorgänge und Anzahl der gewählten Zeitschritte mehrere Stunden bis Tage dauern.

## In unserem Beispiel

Für das hier vorgestellte Beispiel muss nur noch auf „Processing“ und „Start“ geklickt werden.

## Dialog "Processing"

Mit einem Mausklick auf "Processing" wird eine Eingabedatei (input.dat) für den Rechenkern erstellt und das unten abgebildete Fenster erscheint.



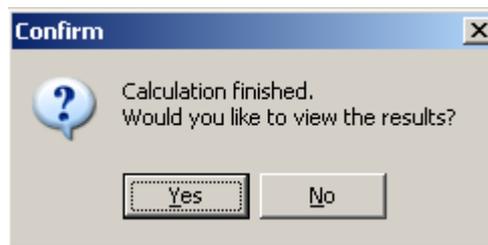
Der „Processing“-Dialogs bietet die folgenden Funktionen:

 Start	Starten der Berechnung
 Resume	Fortsetzen der unterbrochenen Berechnung
 Suspend	Unterbrechen der laufenden Berechnung
 Terminate	Abbrechen der laufenden Berechnung
 Edit Input File	Editieren der Eingabe-Datei für den Rechenkern (nur für Experten)

**Low Priority**      Stellt dem Berechnungsprozess nur geringe Priorität zu Verfügung. Andere ausgeführte Programme laufen schneller.

**Save after calculation**  
Speichert das Projekt (und die Ergebnisse) nach fertiggestellter Berechnung.

Nach der Beendigung der Berechnung öffnet sich ein „Confirm“-Fenster mit der Frage, ob die Ergebnisse angezeigt werden sollen.



Eine Bestätigung mit „Yes“ startet WUFI2DMotion, welches die berechneten Ergebnisse dargestellt.

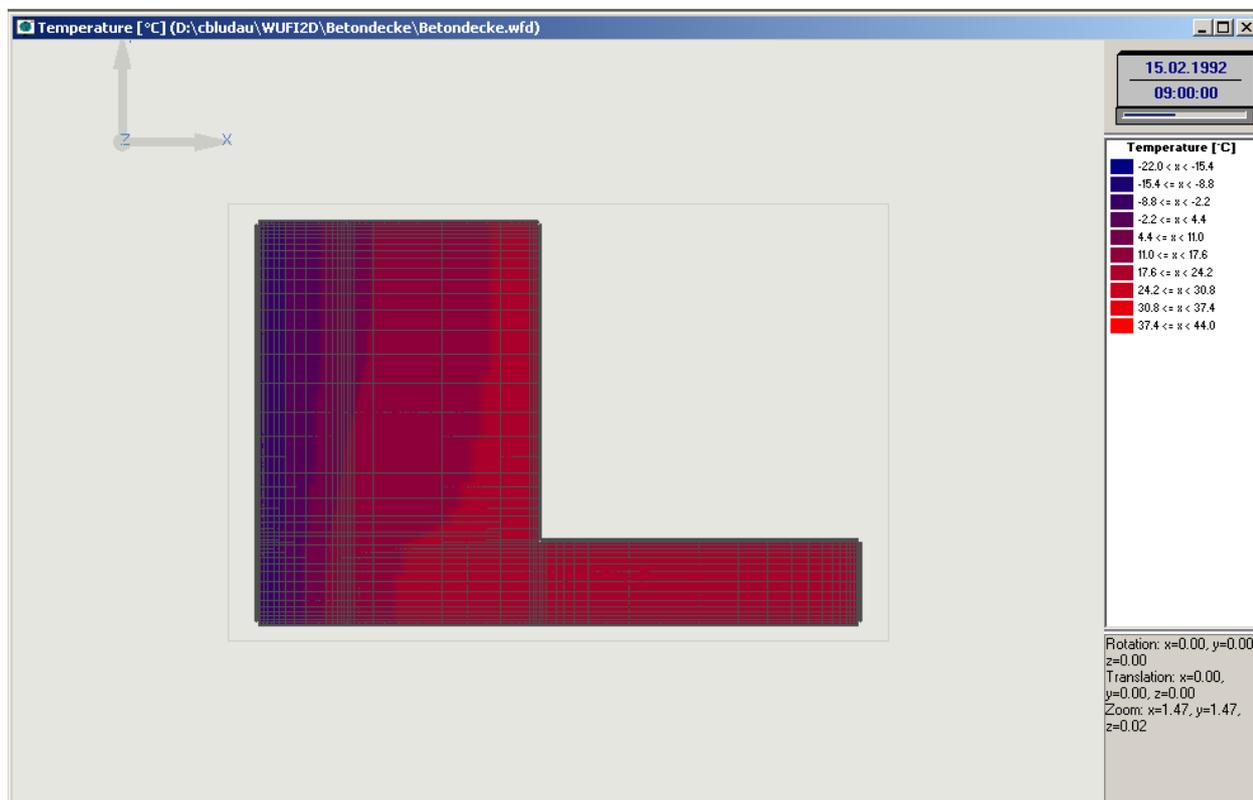
## Schritt 9: Bewertung der Ergebnisse

In diesem Schritt wird die Analyse und Bewertung der Ergebnisse erläutert. Die Ergebnisse können mit WUFI2DMotion als 2D-Film oder mit WUFIGraph als Verlaufskurven betrachtet werden. Ein besonderes Augenmerk wird in diesem Beispiel auf die Temperatur gelegt; relative Feuchte und Wassergehalt werden nur kontrolliert.

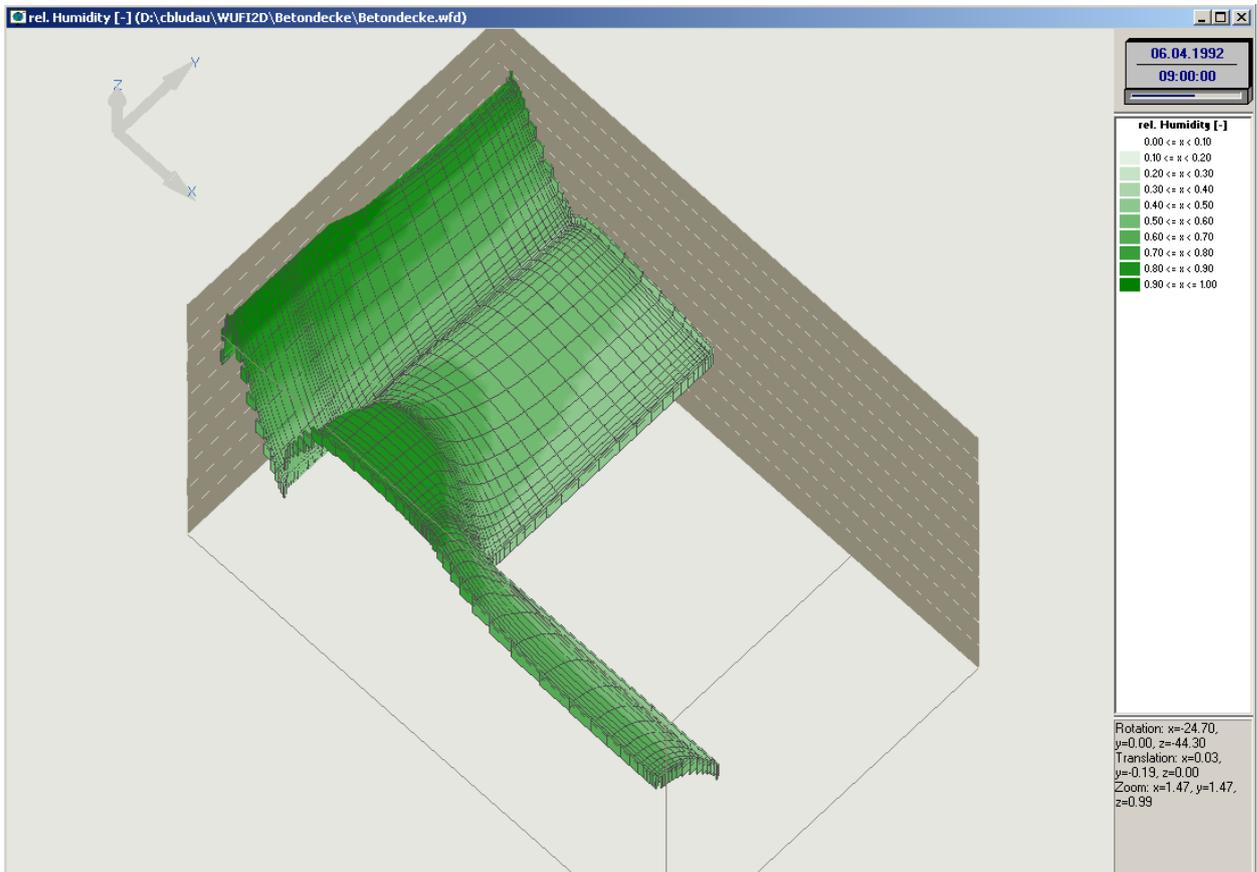
### Betrachtung mit WUFI2DMotion

Zur Betrachtung der Ergebnisse in WUFI2DMotion antworten Sie in dem sich nach der Berechnung öffnenden Fenster „Calculation finished. Would you like to view the results?“ mit „Yes“, oder klicken Sie auf die WUFI2DMotion-Schaltfläche (🎬), oder wählen Sie Output → View the Results.

WUFI2DMotion zeigt je ein Fenster für jede der ausgegebenen Ergebnisgrößen. Entsprechend unserer Auswahl im Beispiel erhalten wir jeweils ein Fenster für Wassergehalt, Temperatur und relative Feuchte. Wählen Sie per Mausklick zunächst das Temperatur-Fenster. Starten Sie anschließend den Film (Movie → Start). Die Temperaturverteilung zum Zeitpunkt des 15. Februars zeigt deutlich den Wärmebrückeneffekt im Bereich der Betonplatte.



Wechseln Sie nun in das Fenster „rel. Humidity“. An dem hier dargestellten Zeitpunkt im April ist die Betondecke dort bereits stärker getrocknet, wo sie der Innenraumluft ausgesetzt ist, während der in der Wand befindliche Deckenteil noch höhere Feuchtwerte aufweist.



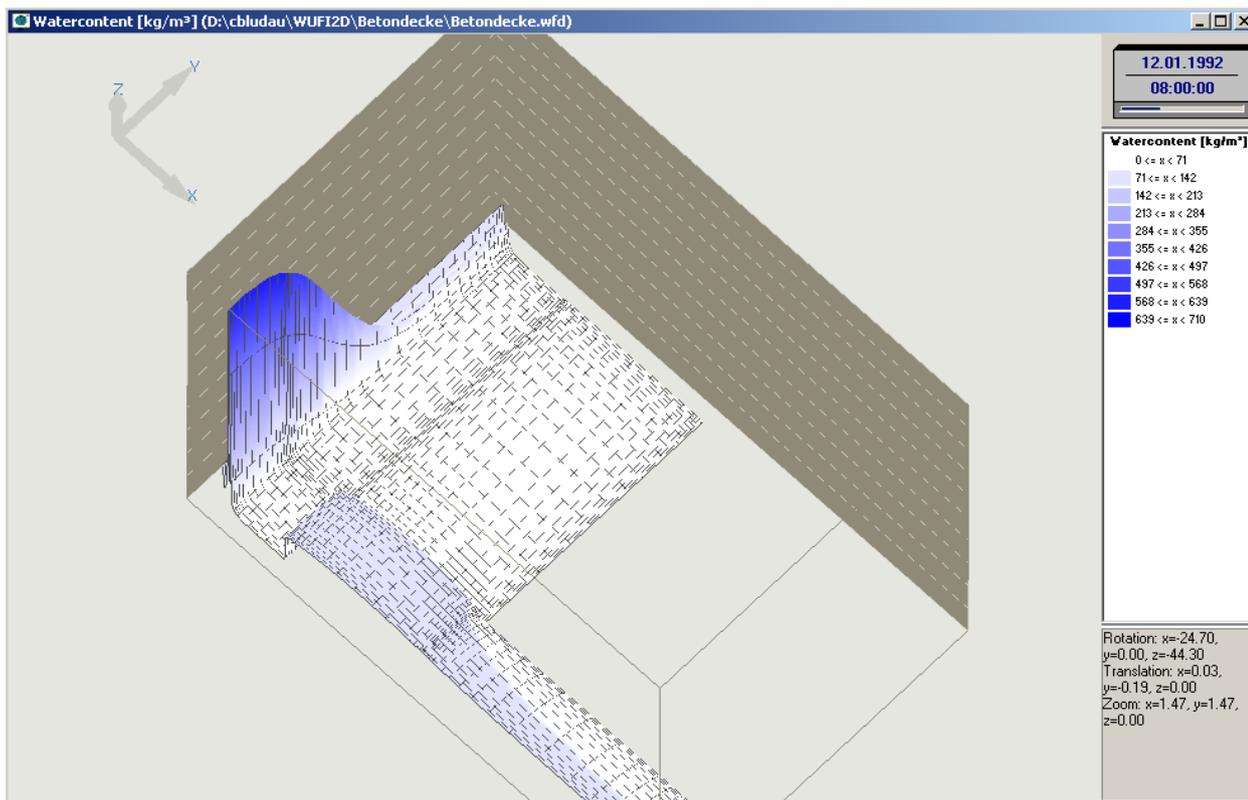
**TIPP:** Mit der gedrückten Maustaste können Sie sich die Ansicht in die gewünschte Lage drehen. Zusätzlich zur Farbcodierung werden die Werte der 2D-Felder dann auch durch die Höhen in Richtung der z-Achse wiedergegeben.

**TIPP:** Mit der Schaltfläche „Reset“ () kehren Sie wieder zur Draufsicht zurück.

**TIPP:** Zum Vergrößern und Verkleinern der Ansicht verwenden Sie die **SHIFT**-Taste entsprechend der Beschreibung unter Schritt 2 (Dialog „Geometry“)

**TIPP:** Die Grafik können Sie mit der **STRG**-Taste im Ansichtsfenster verschieben, entsprechend der Beschreibung in Schritt 2 (Dialog „Geometry“).

Wechseln Sie nun in das Fenster „Water content“ und starten Sie den Film noch einmal von vorne (Reset mit ) . Hier zeigt sich schon ab November ein deutlicher Anstieg des Wassergehalts an der Innenseite des Putzes im Bereich der Betonplatte. Diese Feuchteansammlung trocknet jedoch bis Juni wieder aus.

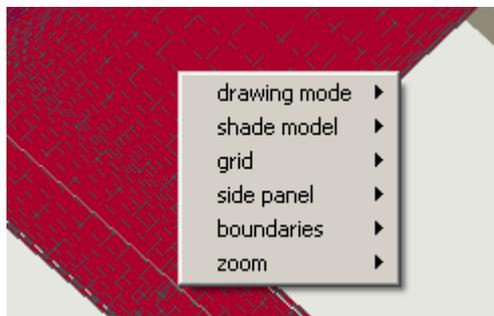


**TIPP:** Wenn Sie die einzelnen Fenster „minimieren“, läuft der Film schneller. Minimierte Fenster können Sie durch „Maximieren“ wieder in den Vordergrund holen.



## Weitere Funktionen von WUFI2DMotion

Bei einem Klick mit der rechten Maustaste auf eines der Fenster erscheint folgendes Fenster:



Hier lassen sich die Darstellungsparameter für den Film ändern.

drawing mode → colored

Ist diese Option abgewählt, werden die Werte der 2D-Felder nur durch ihre Höhe in Richtung der z-

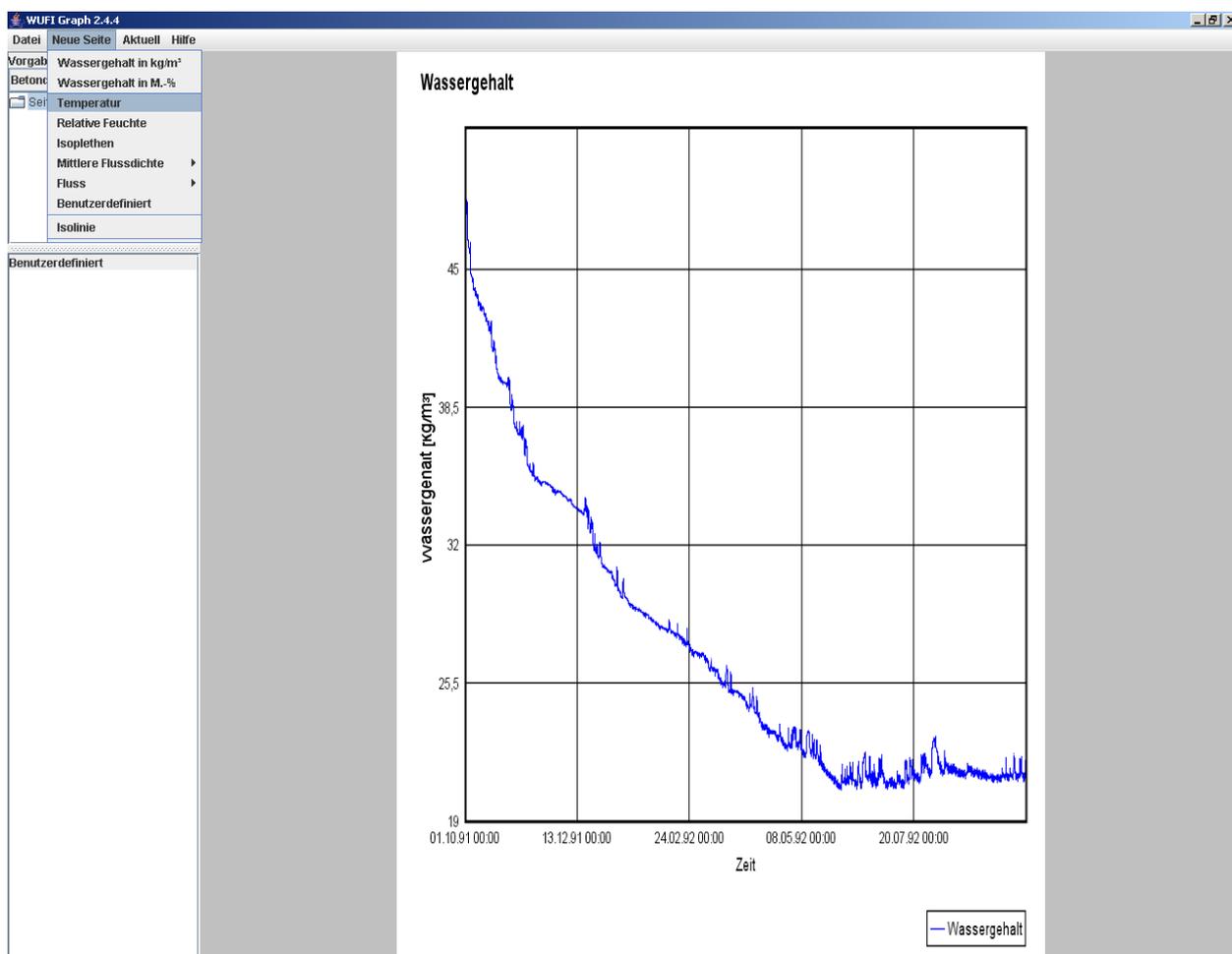
	Achse dargestellt. Ist die Option gewählt, wird das Gitter zusätzlich entsprechend den Farben der Farbskala eingefärbt. Die (editierbare) Farbskala befindet sich rechts neben dem Ergebnisdia-gramm
shade model → smooth/ flat	Schaltet weichere Farbverläufe ein oder aus.
grid → visible	Blendet das Gitter ein oder aus.
grid → depth test	Schaltet die Darstellung von verdeckten Gitterli-nien ein oder aus.
side panel → visible	Blendet die Seitenflächen des Diagramms ein o-der aus.
side panel → lighted	Hebt die Seitenflächen des Diagramms durch eine hellere Farbe hervor.
side panel → numbering	Schaltet die Beschriftung der z-Achse an oder aus.
boundaries	Blendet die Randbedingungen ein oder aus (mög-lich sind: top, left, bottom, right)
zoom → factor → x, y, z	Vergrößert oder verkleinert die Darstellung in x-, y-, oder z-Richtung um den angegebenen Faktor.
zoom → in	Zoomt in die Darstellung hinein.
zoom → out	Zoomt aus der Darstellung heraus.

## Betrachtung mit WUFI Graph

Zur Auswertung der Ergebnisse mit WUFI Graph klicken Sie auf die entsprechende Schaltfläche (🖨️) oder rufen Sie das Programm direkt aus dem „Start“-Menü von Windows auf. Wenn Sie WUFI Graph direkt über Windows öffnen, müssen Sie die entsprechende Ergebnisdatei (\*.wfd) von Hand öffnen.

WUFI Graph zeigt die Ergebnisse als Kurven, welche den zeitlichen Verlauf der verschiedenen berechneten Größen darstellen. Die Anzeige ist in Seiten, Diagrammen und Kurven organisiert. Jede Seite enthält ein oder mehrere Diagramme, und jedes Diagramm enthält eine oder mehrere Kurven.

Nach dem Start öffnet sich folgendes Fenster, mit einer vordefinierten „Seite 1“. Diese Seite zeigt den Gesamtwassergehalt der Konstruktion an.



Anhand des Gesamtwassergehalts kann eine erste Bewertung des Ergebnisses erfolgen. Er zeigt an, ob im Bauteil während des betrachteten Zeitraums eine Feuchtezunahme oder -abnahme stattfindet.

### Steigender Gesamtwassergehalt

Wenn eine über mehrere Jahre geführte Rechnung eine langfristige Feuchtezunahme zeigt, 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 in der Konstruktion der „normale“ eingeschwungene Feuchtezustand einzustellen versucht. Ein schwerwiegenderer Grund könnte aber auch ein bauphysikalisch fehlerhafter Bauteilaufbau sein, der zu einer Akkumulation von Feuchte in der Konstruktion führt.

Über eine Verlängerung des Berechnungszeitraums oder eine Erhöhung des Anfangsfeuchtegehalts sollten Sie daher versuchen, den Gesamtwassergehalt der Konstruktion im eingeschwungenen Zustand zu ermitteln. Wenn der eingeschwungene Zustand auch nach längerer Zeit noch nicht erreicht wird oder der langfristige Gesamtwassergehalt so hoch liegt, dass Schädigungen durch Verrottung, Schimmel, Korrosion oder Frostsprengung auftreten können, ist davon auszugehen, dass die überprüfte Konstruktion nicht funktionsfähig ist.

### Sinkender Gesamtwassergehalt

Wenn der Wassergehalt unter die Anfangswerte sinkt, bedeutet dies ein Austrocknen der Konstruktion. Falls die Anfangsbedingungen niedrig waren (z.B. über das Bauteil gemittelt 60 % r.F.), können Sie mit der Auswertung der einzelnen Materialien fortfahren. Günstiger wäre es jedoch auch hier, zunächst über eine Verlängerung der Rechenzeit den eingeschwungenen Zustand des Bauteils zu erreichen.

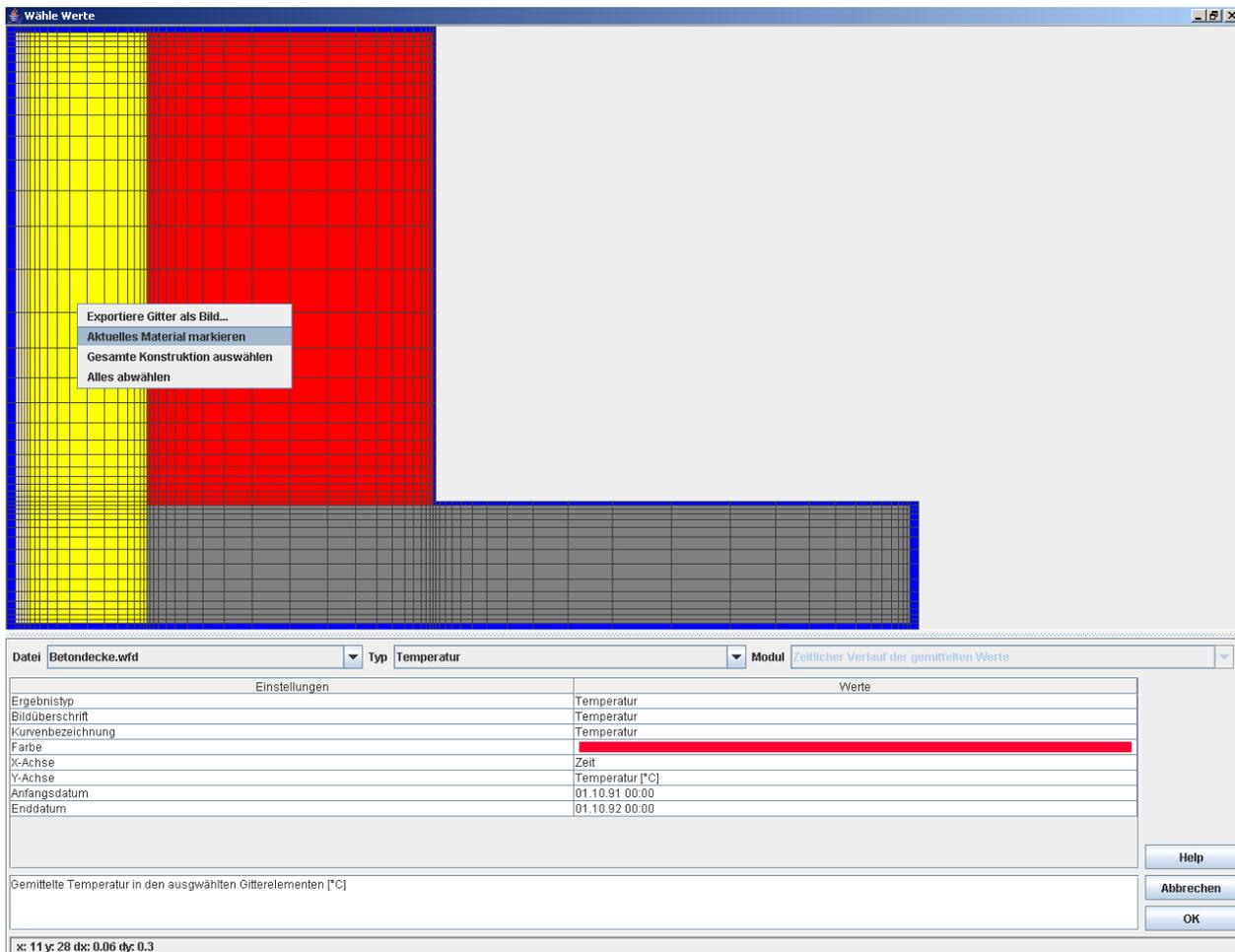
### Gleichbleibender Gesamtwassergehalt

Bleibt der Wassergehalt abgesehen von jahreszeitlich bedingten Schwankungen von einem Jahr auf das nächste konstant, befindet sich die Konstruktion im eingeschwungenen Zustand. Dieser Zustand ist unabhängig von den Anfangsbedingungen und spiegelt das Verhalten des Bauteils unter den angelegten Klimabedingungen wider. In diesem Fall können Sie mit der Betrachtung der Wassergehalte in den einzelnen Materialien fortfahren.

Eine Betrachtung des Wassergehalts in den einzelnen Materialien lässt eine genauere Aussage über verschiedene Stellen am und im Bauteil zu.

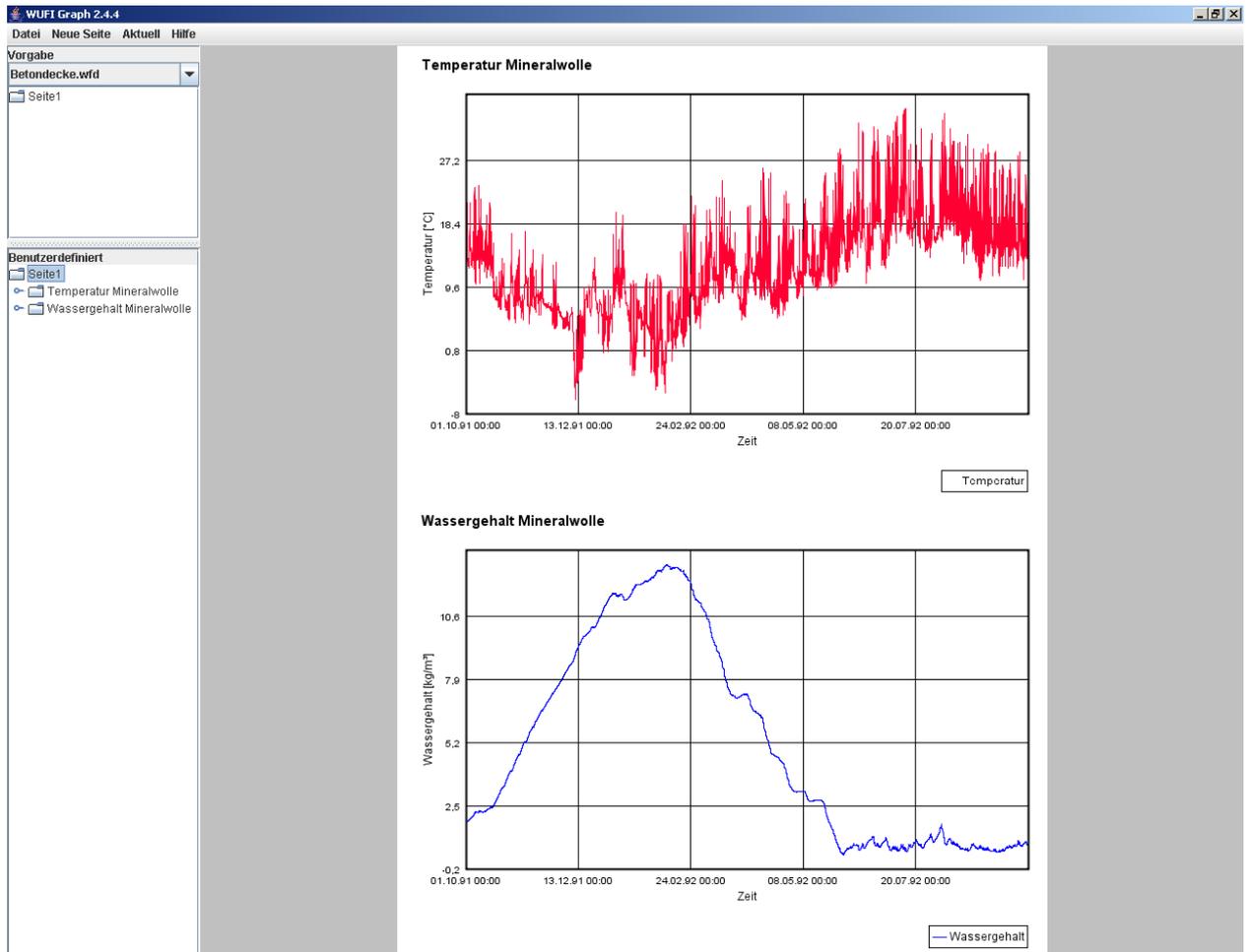
**In unserem Beispiel** fügen Sie nun eine neue Seite mit einer Temperaturkurve ein. Wählen Sie im Menü „Neue Seite“ den Punkt Temperatur aus. Es erscheint das unten gezeigte Fenster. Hier klicken Sie mit der rechten Maustaste auf die Mineralfaserdämmung (gelb). Wählen Sie im Kontextmenü „Aktuelles Material markieren“. Auf diese Weise wird das gesamte Material ausgewählt (der markierte Bereich wird nun blau dargestellt) und WUFIgraph wird die Temperatur über

die Mineralwolle mitteln. Unter „Bildüberschrift“ geben Sie nun noch „Temperatur Mineralfaser“ an. Drücken Sie „OK“, und WUFIgraph erzeugt die neue Seite.



Markieren Sie nun auf der linken Seite unter „Benutzerdefiniert“ die „Seite 1“, öffnen Sie das Menü „Aktuell“ und wählen Sie dort „Neues Bild Wassergehalt in kg/m<sup>3</sup>“. Der „Select“-Dialog öffnet sich erneut zur Auswahl der auszuwertenden Gitterregion. Die letzte Markierung wird jeweils beibehalten, daher ist die Mineralwolle noch markiert und Sie müssen nichts tun. Ändern Sie die Bildüberschrift in „Wassergehalt Mineralfaser“ und drücken Sie dann „OK“.

Auf diese Weise haben Sie eine Seite erzeugt, auf der oben der zeitliche Verlauf der mittleren Temperatur und unten der Verlauf des mittleren Wassergehalts der Mineralfaserdämmschicht dargestellt wird.

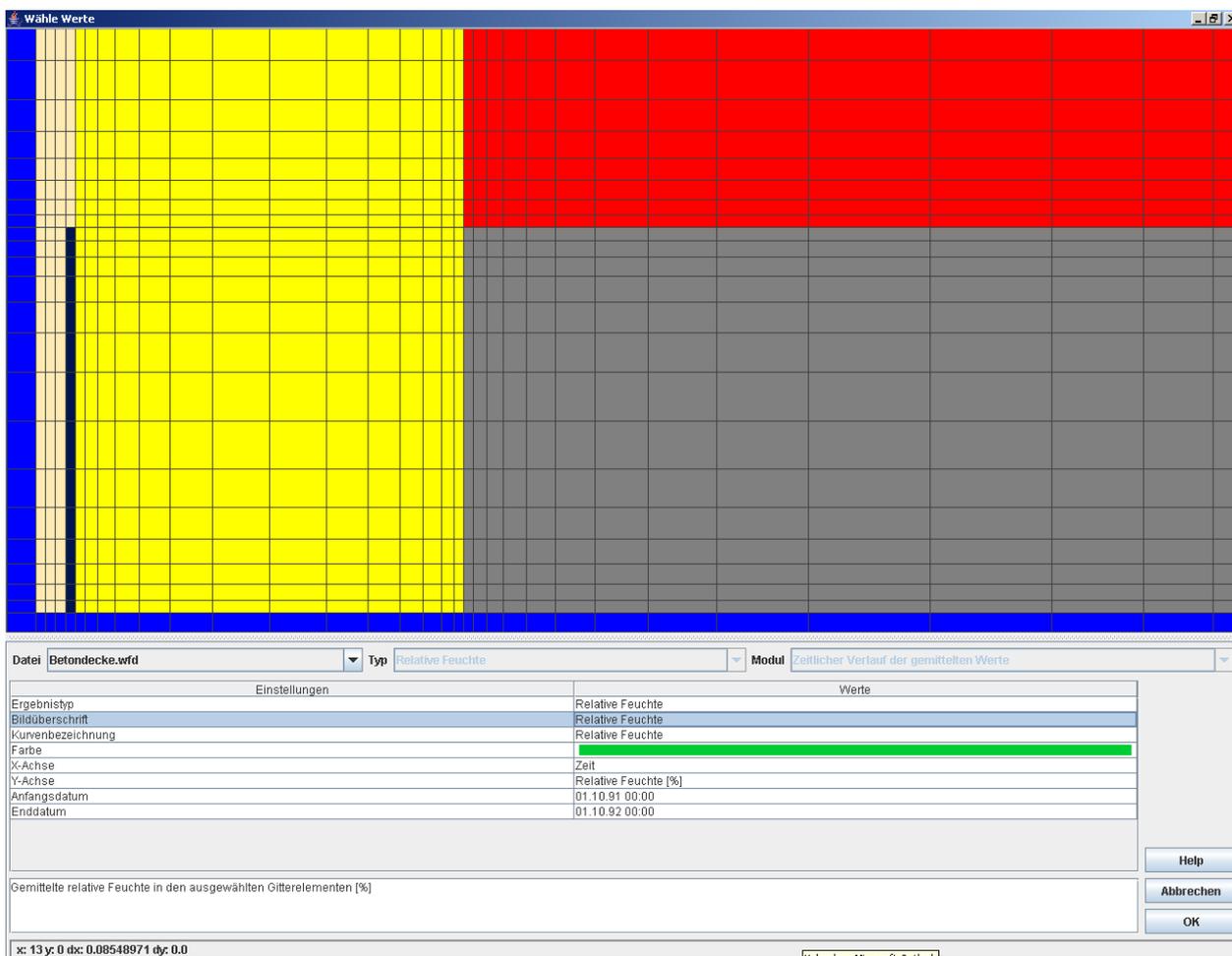


**TIPP:** Der Inhalt des Menüs „Aktuell“ ändert sich je nachdem, was Sie in der Liste der benutzerdefinierten Seiten ausgewählt haben. Wenn nichts ausgewählt ist, können Sie mit dem Menü eine neue Seite anlegen. Wenn eine Seite ausgewählt ist, können Sie mit dem Menü auf dieser Seite ein neues Diagramm einfügen. Wenn ein Diagramm ausgewählt ist, können Sie mit dem Menü in das Diagramm eine neue Kurve einfügen. Wenn eine Kurve ausgewählt ist, können Sie mit dem Menü deren Eigenschaften bearbeiten.

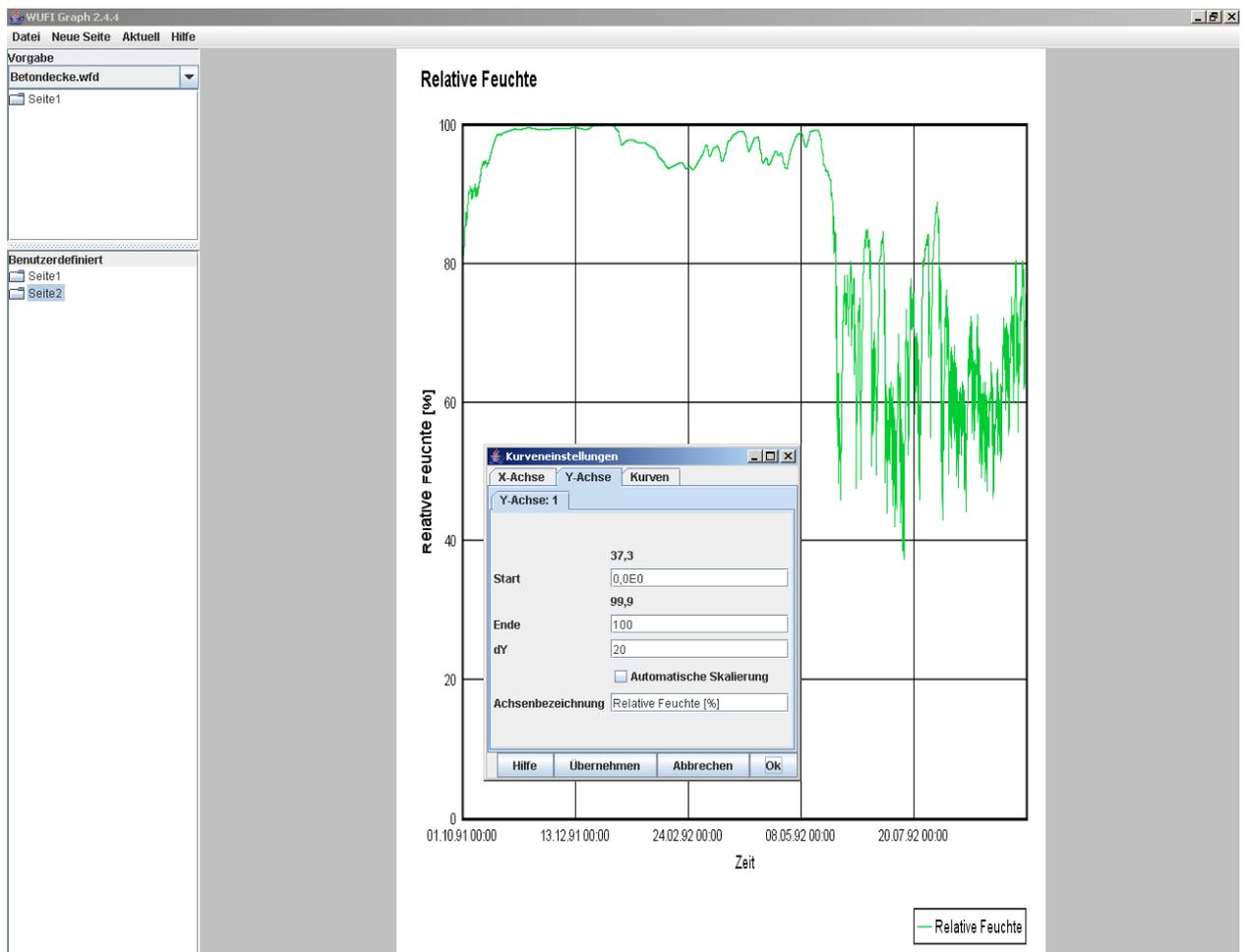
**TIPP:** Ein Menü der jeweiligen Auswahlmöglichkeiten erhalten Sie auch, wenn Sie mit der rechten Maustaste auf den ausgewählten Listeneintrag klicken.

**TIPP:** Beachten Sie, dass im Auswahlfenster die letzte Markierung für die zu mittelnden Gitterelemente jeweils beibehalten wird, wenn sich das Fenster erneut öffnet. Wollen Sie dieselbe Region erneut auswerten, brauchen Sie keine neue Auswahl anzulegen. Wollen Sie eine andere Region auswerten, müssen Sie die alte Auswahl erst entfernen (Rechtsklick auf das Gitter). Sollten Sie die alte Markierung nicht entfernen, wird der vorher gewählte Bereich in die neue Mittelung mit einbezogen.

Als nächster Schritt soll der zeitliche Verlauf der relativen Feuchte in der ersten Gitterreihe des Putzes (von der Dämmung aus gesehen) erzeugt werden. Hierzu wird eine „Neue Seite“ mit dem Ergebnistyp „Relative Feuchte“ erstellt. Mit der gedrückten **SHIFT**-Taste ziehen Sie nun mit der Maus einen Rahmen über der unteren linken Ecke der Konstruktion auf. Auf diese Weise vergrößern Sie den vom Rahmen überstrichenen Bereich. Klicken Sie mit der rechten Maustaste in die Zeichnung und wählen Sie „Alles abwählen“, da sonst die noch markierte Mineralfaser mit in die Ergebnisauswertung einbezogen wird. Anschließend wählen Sie die entsprechenden Gitterelemente für die neue Auswertung aus. Diese verfärben sich nach der Auswahl in einen dunkleren Farbton (siehe Bild).



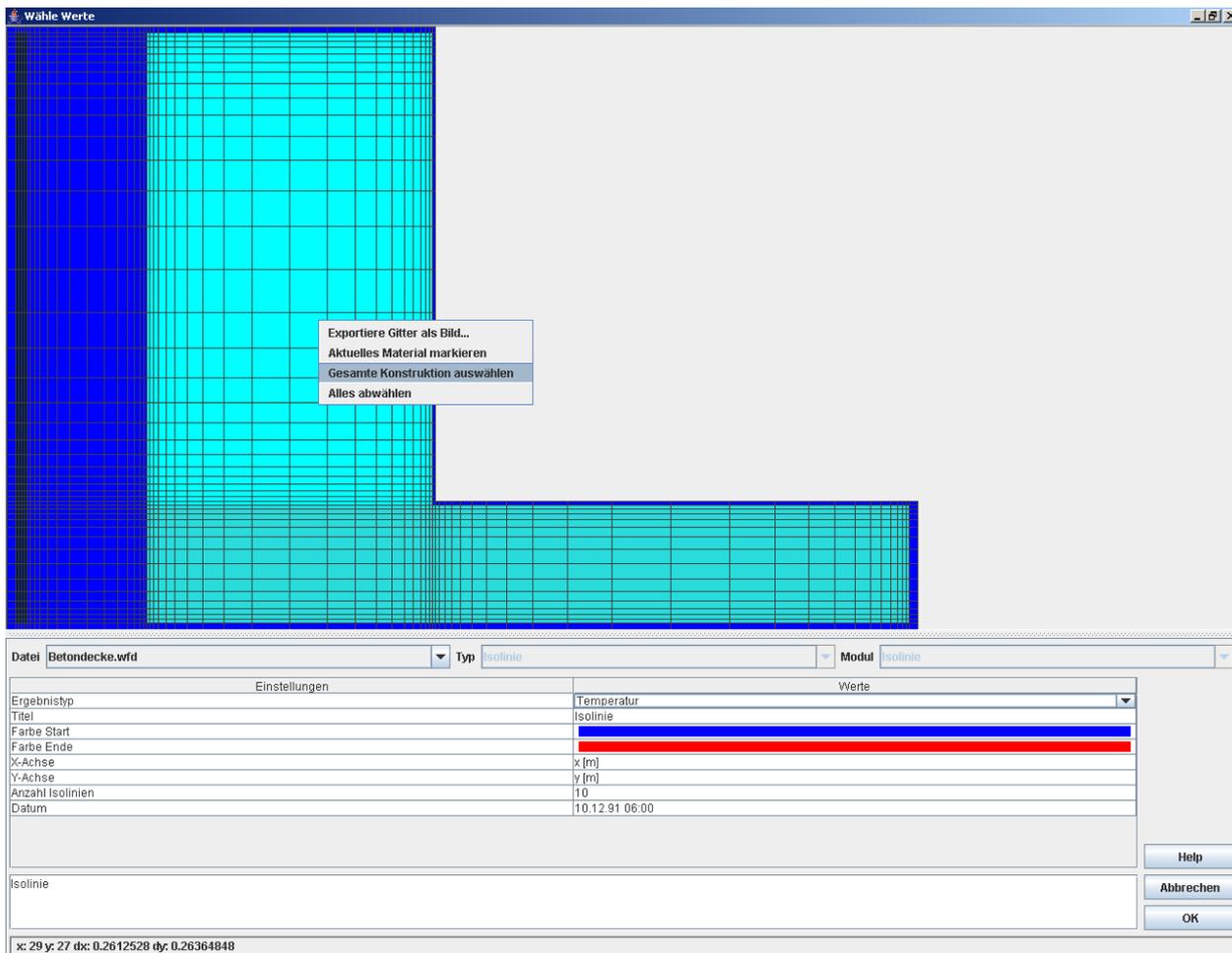
Bestätigen Sie die neue Auswahl durch Drücken der „OK“-Schaltfläche. Sie erhalten nun die im Folgenden dargestellte „Seite 2“.



Öffnen Sie ein Kontextmenü durch Rechtsklick auf die Zeichnung und wählen Sie „Einstellungen“, um in das Fenster „Kurveinstellungen“ zu gelangen. Hier können Sie die Achsenbeschriftung und –skalierung bearbeiten, die Reihenfolge der Kurven ändern (falls mehrere vorhanden sind), usw. **In unserem Beispiel** wurde die automatische Skalierung für die y-Achse deaktiviert und manuell eine Skalierung von 0 (Start) bis 100 (Ende) bei einem Inkrement von 20 (dy) eingestellt. Durch Drücken von „Übernehmen“ können Sie die Auswirkungen auf das Diagramm überprüfen; „OK“ wendet die geänderten Einstellungen an und schließt das Fenster.

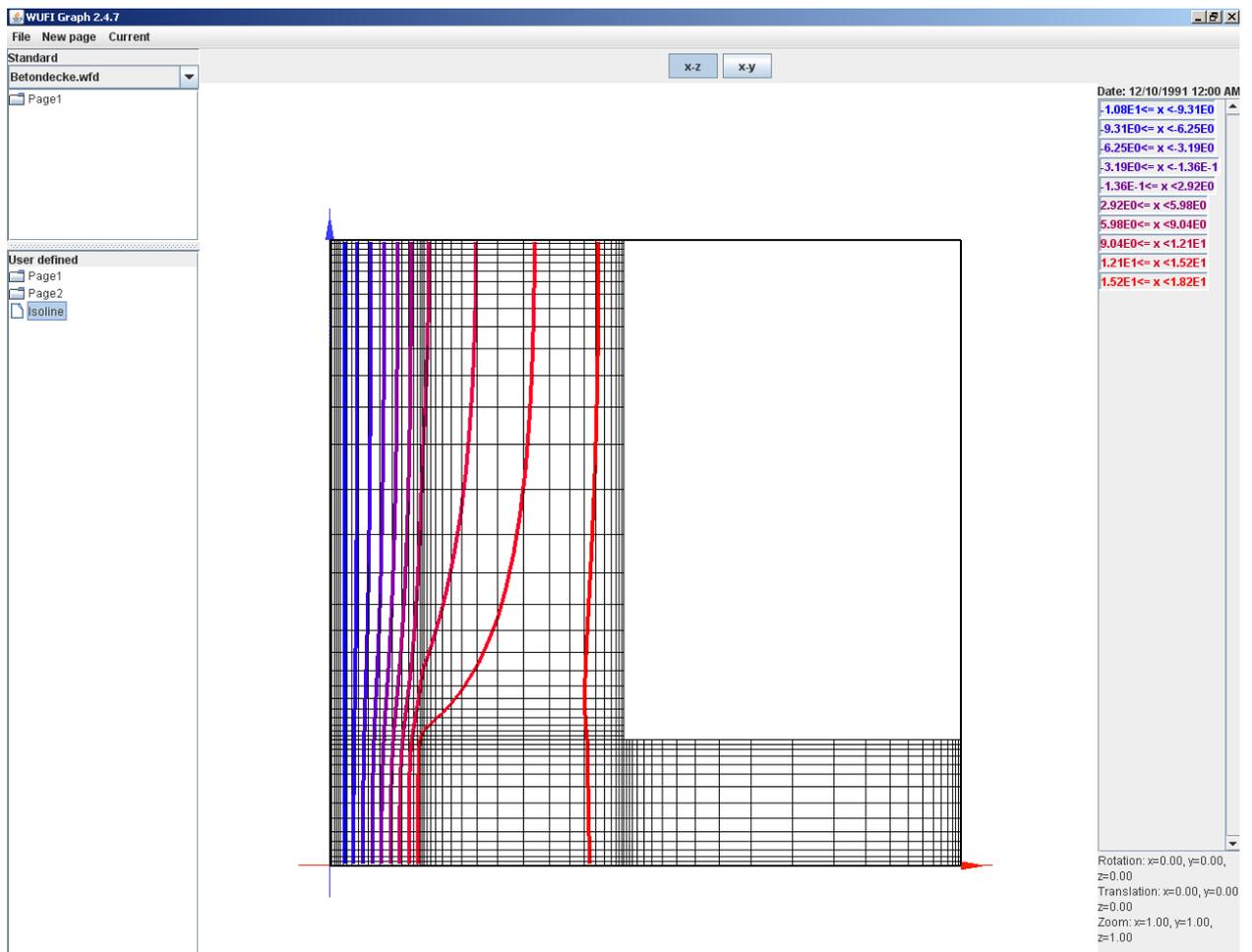
**TIPP:** Sie können in das Diagramm zoomen, indem Sie über den zu vergrößern Bereich einen Zoomrahmen von links oben nach rechts unten aufziehen. Machen Sie die Vergrößerung rückgängig, indem Sie (irgendwo im Diagramm) einen Rahmen von rechts unten nach links oben aufziehen.

Zum Abschluss soll noch eine Seite mit der Darstellung der Isolinien für die Temperatur am 10.12.91 um 6:00 Uhr erstellt werden. Hierzu klicken Sie wiederum auf das Menü „Neue Seite“ und wählen den Menüpunkt „Isolinie“. Es öffnet sich das folgende Fenster:



Klicken Sie im Gitterauswahlfenster mit der rechten Maustaste auf die Konstruktion und wählen Sie „Gesamte Konstruktion auswählen.“ Unter „Ergebnistyp“ wählen Sie „Temperatur“. Nun brauchen Sie nur noch unter „Datum“ den gewünschten Zeitpunkt auszuwählen und mit „OK“ zu bestätigen, dann wird für den gewählten Zeitpunkt die Temperaturverteilung über den Bauteilquerschnitt als Isoliniendiagramm dargestellt.

**TIPP:** Manche Isoliniendarstellungen wirken besser, wenn die Randbedingungen um die Konstruktion mit dargestellt werden (blauer Rand im Gitterauswahlfenster). Ziehen Sie dazu einen Auswahlrahmen über das gesamte Gitter einschließlich der durch den blauen Rand dargestellten Randbedingungen.



Die wie oben beschrieben erstellten Seiten können natürlich auch gedruckt werden. Wählen Sie hierzu in der Seitenliste die gewünschte Seite, das gewünschte Diagramm oder die gewünschte Kurve und wählen Sie im Menü „Datei“ den Befehl „Auswahl drucken...“.

Sie können die erstellten Seiten zur späteren Überarbeitung auch als Projekt abspeichern; wählen Sie hierzu aus dem Menü „Datei“ den Punkt „Grafikprojekt Speichern...“.

### ANMERKUNG:

Beim Speichern eines Grafikprojektes muss folgendes beachtet werden:

- Wird das Grafikprojekt im gleichen Verzeichnis wie die Ergebnisdatei von WUFI2D (\*.wfd) gespeichert, wird der Pfad *relativ* abgelegt.
- Wird das Grafikprojekt in einem anderen Verzeichnis als die Ergebnisdatei (\*.wfd) gespeichert, wird der Pfad *absolut* abgelegt.

WUFIgraph wird oft verwendet, während die Ergebnisdatei noch im Cache-Verzeichnis liegt. Die Ergebnisdatei wird in der Regel irgendwann in ein Projektverzeichnis verschoben werden, aber wenn das Grafikprojekt mitverschoben wird, kann über den relativen Pfad die Ergebnisdatei immer noch gefunden werden.

Wird bei einem absolut angelegten Pfad die WUFI-2D-Ergebnisdatei verschoben, kann sie nicht mehr gefunden werden. Sie wird dann in der Liste der geöffneten Ergebnisdateien rot dargestellt. Abhilfe können Sie schaffen, indem Sie die Datei des Grafikprojektes (irgendeiname.w2g.xml) mit einem Editor öffnen und den Pfad korrigieren. Er befindet sich in der dritten Zeile der Grafikprojektdatei hinter dem Element „resultfile filename=“. Bitte beachten Sie, dass die Datei anschließend in UTF-8-Kodierung abgespeichert werden muss, sonst kann sie später nicht mehr geöffnet werden.

Nach dem erneuten Öffnen des Grafikprojektes wird die Ergebnisdatei wieder gefunden.

**TIPP:** Speichern Sie das Grafikprojekt im selben Verzeichnis wie die Ergebnisdatei von WUFI 2D, dann laufen Sie bei späterem Öffnen des Grafikprojektes nicht Gefahr, dass die Ergebnisdatei nicht mehr gefunden werden kann.

## Weitere Funktionen in der Isoliniendarstellung

In der Isoliniendarstellung gibt es noch weitere Funktionen, die über die Tastatur ausgewählt werden können:

Pfeiltasten (Numpad)	Verschieben der Zeichnung in Pfeilrichtung.
5 (Numpad)	Zurücksetzen der Grafik auf ursprüngliche Darstellung.
PageUp (BildHoch)	In die Grafik hereinzoomen.
PageDown (BildRunter)	Aus der Grafik herauszoomen.

Modi-Wahl:

Ctrl + z	Schaltet in den Modus ZOOMEN
Ctrl + v oder Ctrl + t	Schaltet in den Modus VERSCHIEBEN
Ctrl + r	Schaltet in den Modus DREHEN
Ctrl + s	Zeigt den aktuellen Modus an.

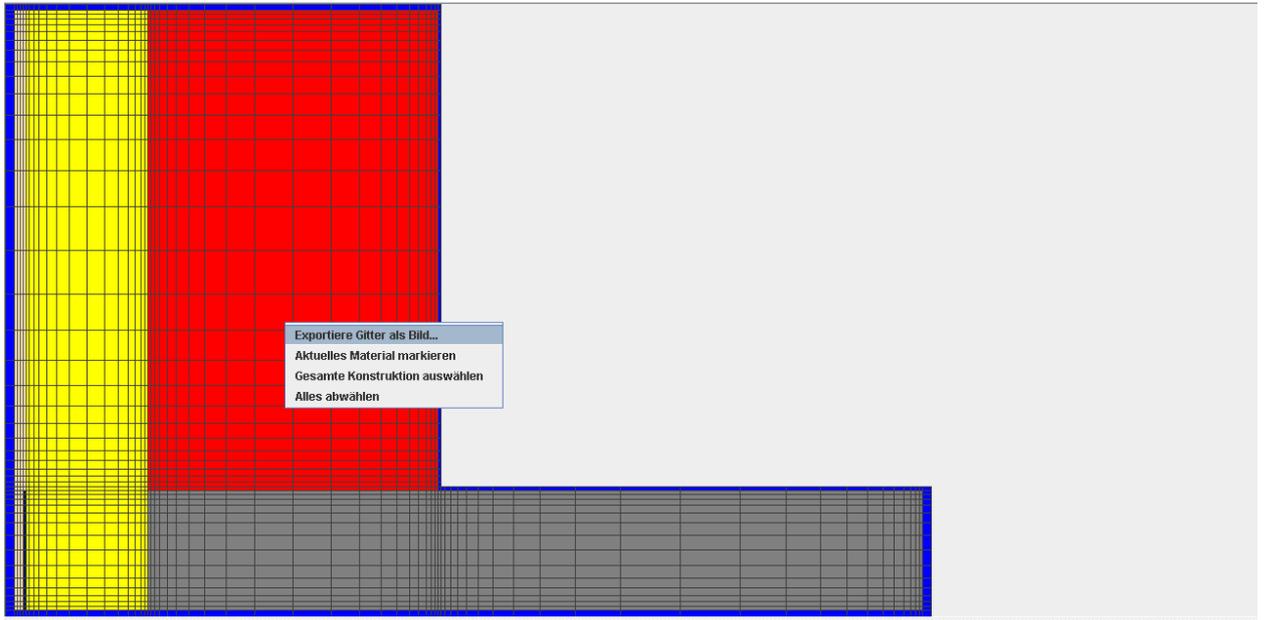
x,y,z                      Wendet den aktuell eingestellten Modus mit dem entsprechenden Inkrement auf die x,y oder z-Achse an.

+,-                         Erhöht oder verringert das Inkrement

Sie können das Diagramm auch rotieren, indem Sie es mit der Maus fassen und in die gewünschte Richtung drehen.

## Weitere Funktionen im Gitterwahlfenster

Die weiteren im Gitterauswahlfenster zur Verfügung stehenden Funktionen werden im Folgenden kurz erläutert.



Bei einem Klick mit der rechten Maustaste auf die Zeichnung öffnet sich ein Fenster mit vier Funktionen:

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| Exportiere Gitter als Bild...  | Speichert die aktuelle Ansicht des Gitters als Bild-Datei (*.png) ab.  |
| Aktuelles Material markieren   | Markiert alle zusammenhängenden Gitterelemente, denen das gleiche Material zugewiesen ist wie dem Element an der Position des Mauszeigers. |
| Gesamte Konstruktion auswählen | Markiert die gesamte Konstruktion, jedoch ohne die Randbedingungen (blauer Rand).  |
| Alles Abwählen                 | Entfernt alle Markierungen aus der Konstruktion.   |

Im unteren Bereich des Fensters können folgende Auswahlen getroffen werden

Datei	Betondecke.wfd	Typ	Temperatur	Modul	Zeitlicher Verlauf der gemittelten Werte
Einstellungen			Werte		
Ergebnistyp			Temperatur		
Bildüberschrift			Temperatur		
Kurvenbezeichnung			Temperatur		
Farbe					
X-Achse			Zeit		
Y-Achse			Temperatur [°C]		
Anfangsdatum			01.10.91 00:00		
Enddatum			01.10.92 00:00		
Gemittelte Temperatur in den ausgewählten Gitterelementen [°C]					
<input type="button" value="Help"/>					
<input type="button" value="Abbrechen"/>					
<input type="button" value="OK"/>					

⌘: 26 y: 27 dx: 0.17514211 dy: 0.26364848

Datei	Hier kann zwischen mehreren geöffneten Ergebnisdateien gewählt werden.
Typ	Erlaubt die Wahl des Ergebnistyps: Wassergehalt, Temperatur, relative Feuchte, Isoplethen und Benutzerdefiniert
Modul	Dieser Punkt ist nur bei benutzerdefiniertem Typ wählbar und ermöglicht das Wechseln zwischen „Zeitlicher Verlauf der gemittelten Werte“ (Zeit auf der x-Achse) und „Gemittelte X-Y-Werte“ (Zwei Wertepaare werden zu jedem Zeitpunkt gegeneinander aufgetragen, z.B. relative Feuchte über Temperatur).
Ergebnistyp	Durch Ihre frühere Wahl vorgegeben. Ausnahme: bei „Typ“ ist „Benutzerdefiniert“ gewählt; dann kann hier zwischen Darstellung von relativer Feuchte, Temperatur oder Wassergehalt gewählt werden.
Bildüberschrift	Ermöglicht die Eingabe einer Diagrammüberschrift. Handelt es sich um eine weitere Kurve in einem bestehenden Diagramm, kann diese nicht geändert werden.
Kurvenbezeichnung	Geben Sie einen Namen für die aktuelle Kurve ein; er wird in der Legende erscheinen.
Farbe	Dieses Feld ermöglicht die Farbwahl für die Darstellung der Kurve.
X-Achse	Beschriftung der X-Achse.
Y-Achse	Beschriftung der Y-Achse.
Anfangsdatum	Startzeitpunkt der Darstellung.
Enddatum	Endzeitpunkt der Darstellung.

**TIPP:** Klicken Sie in WUFIGraph mit der rechten Maustaste auf ein Objekt oder Fenster, es öffnet sich ein Menü mit möglichen Funktionen.