

Strömungsberechnung mit OpenFOAM

Studienarbeit

für das 5. Semester

der Fachrichtung Maschinenbau, Vertiefung Virtual Engineering
an der Berufsakademie Mosbach

von **Michael Wendel**

Dezember 2005

Bearbeitungszeitraum

3 Monate

Kurs

TMB2003

Ausbildungsfirma

Comau

Heilbronn

Gutachter der Studienakademie

Prof. Dr.-Ing Uwe Janoske

Teachware: OpenFOAM

Inhaltsverzeichnis

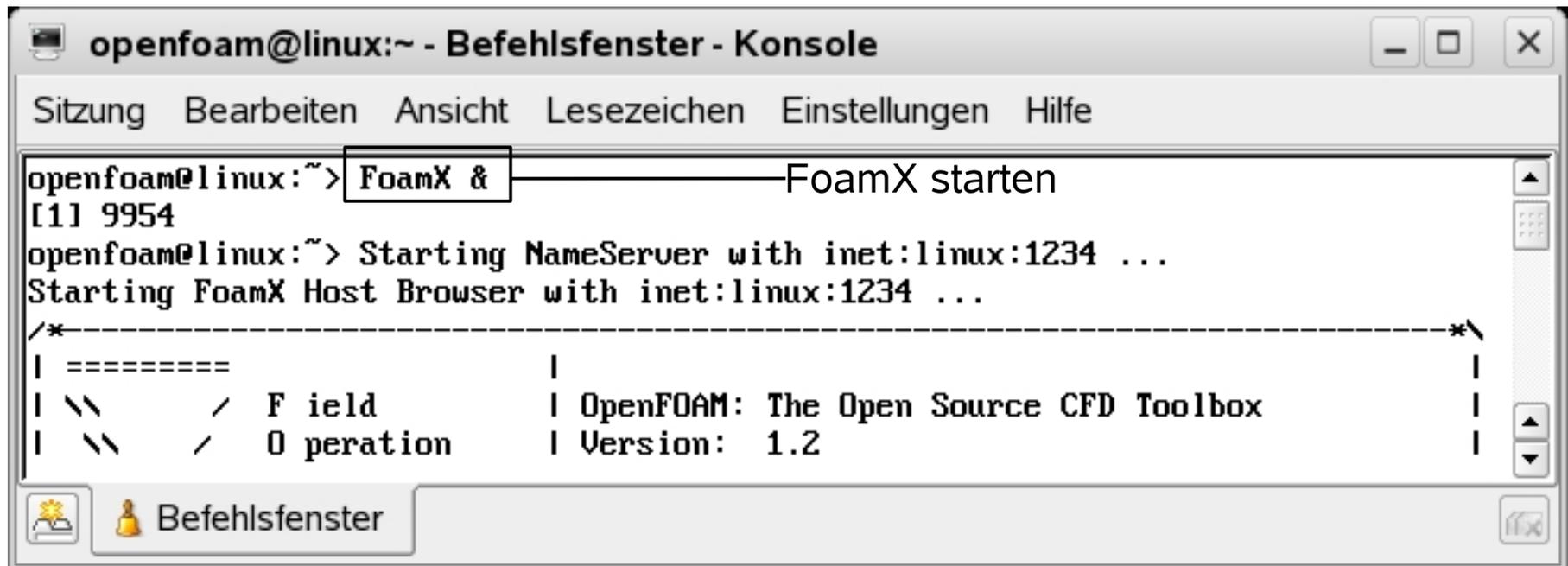
Einführung.....	4
Beispiel cavity.....	6
Beispiel cavity mit Netzverfeinerung.....	30
Geschwindigkeit entlang x, y, z-Achse.....	50
Netzgenerierung für variierende Maschendichte.....	55
Erhöhung der Reynoldszahl.....	62

Die einzelnen Programme von OpenFoam lassen sich am besten über die Konsole starten. Als Solver wird FoamX und als Post-Prozessor wird ParaView verwendet.

Starten kann man die einzelnen Programme wie folgt:

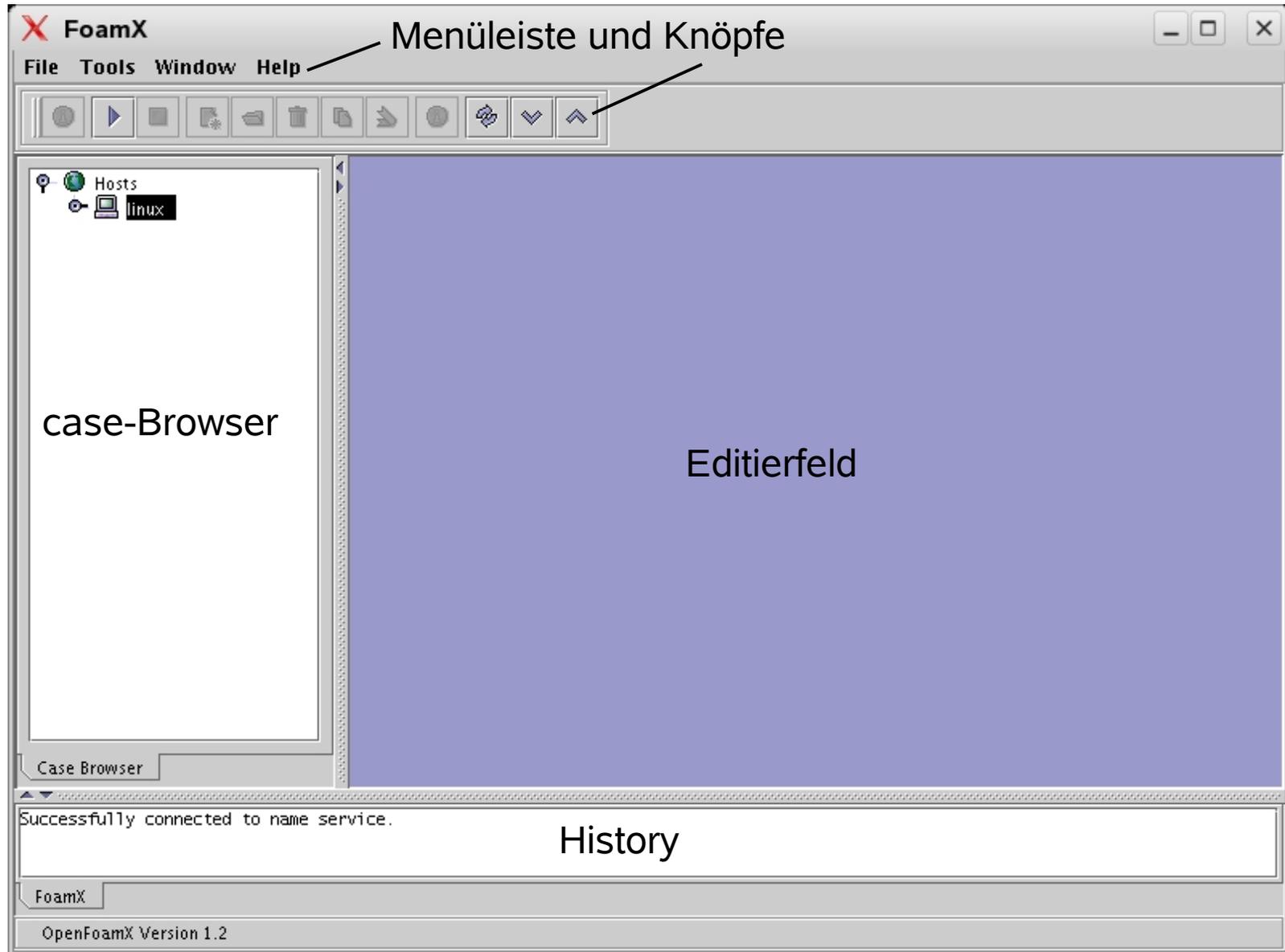
Solver: FoamX &
Post-Processor: paraview &
 paraFoam <root> <case> &
 (z.b. paraFoam \$FOAM_RUN/tutorials/icoFoam cavity &)

Das '&'-Zeichen ermöglicht die weitere Benutzung der Konsole

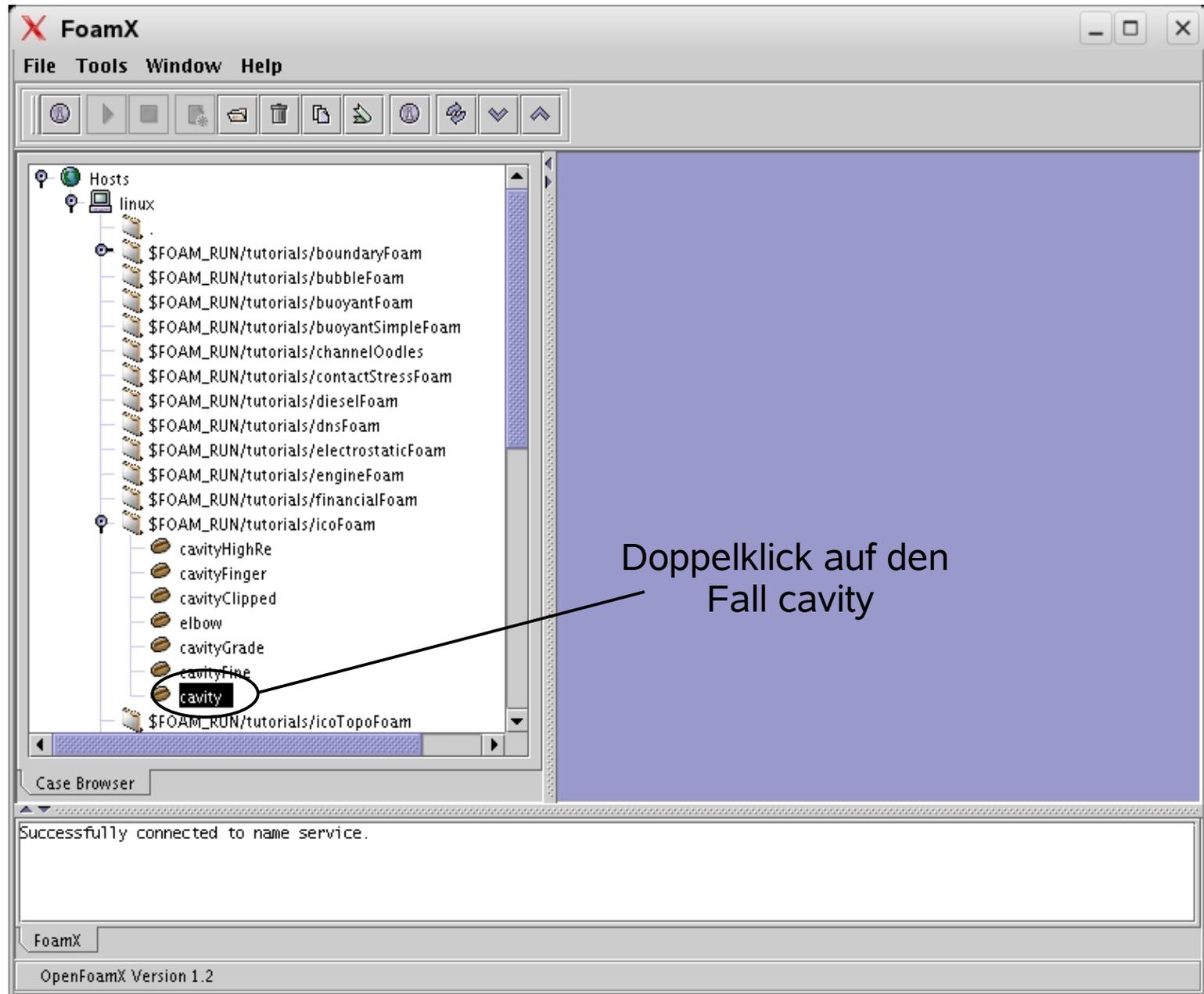


```
openfoam@linux:~ - Befehlsfenster - Konsole
Sitzung Bearbeiten Ansicht Lesezeichen Einstellungen Hilfe
openfoam@linux:~> FoamX &
[1] 9954
openfoam@linux:~> Starting NameServer with inet:linux:1234 ...
Starting FoamX Host Browser with inet:linux:1234 ...
/*-----*/
| ===== |
| \ / Field | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox |
| \ / Operation | Version: 1.2 |
```

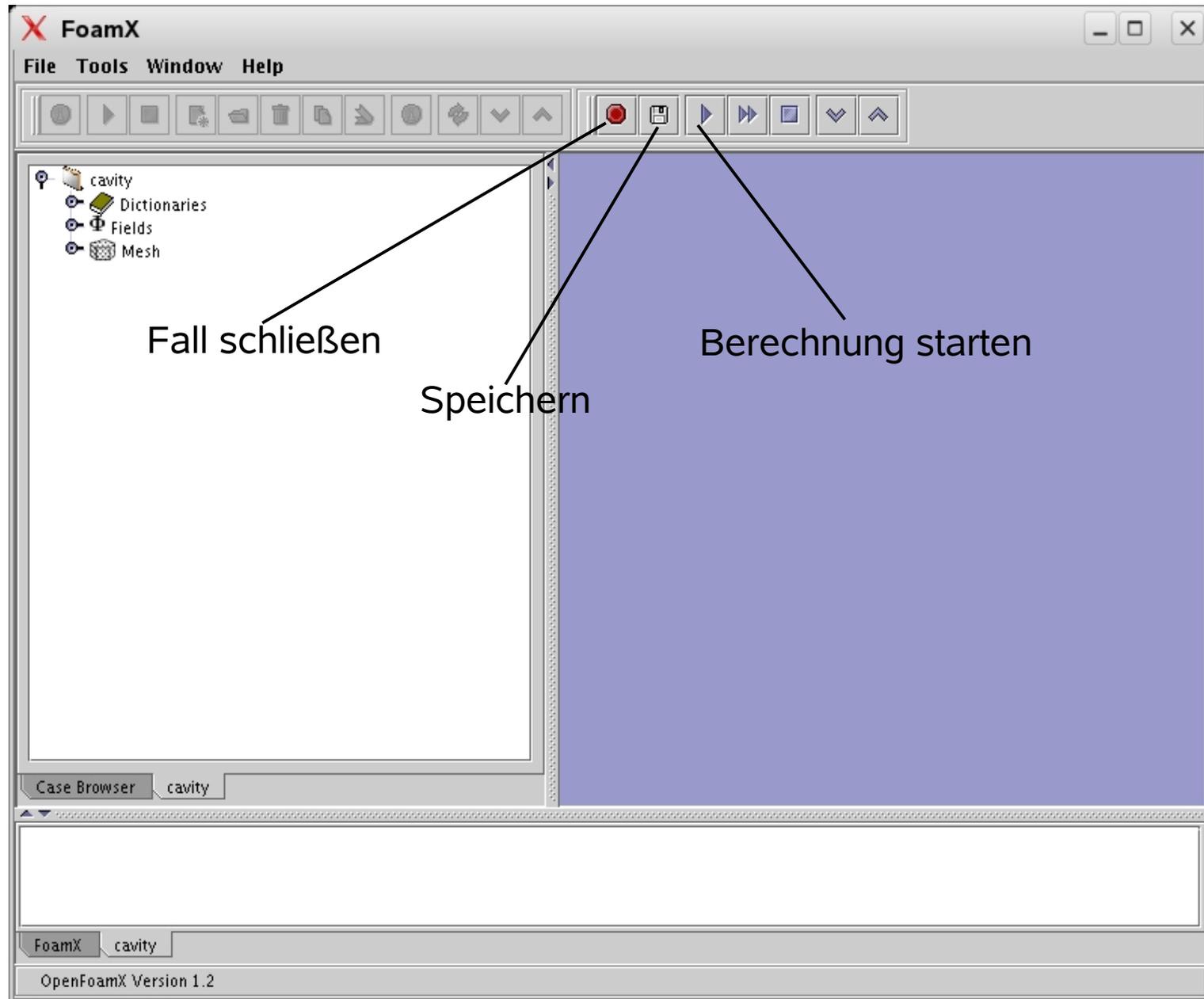
OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



1. Beispiel: Querschnitt einer Schmiermittelfuge mit nach rechts bewegender Platte

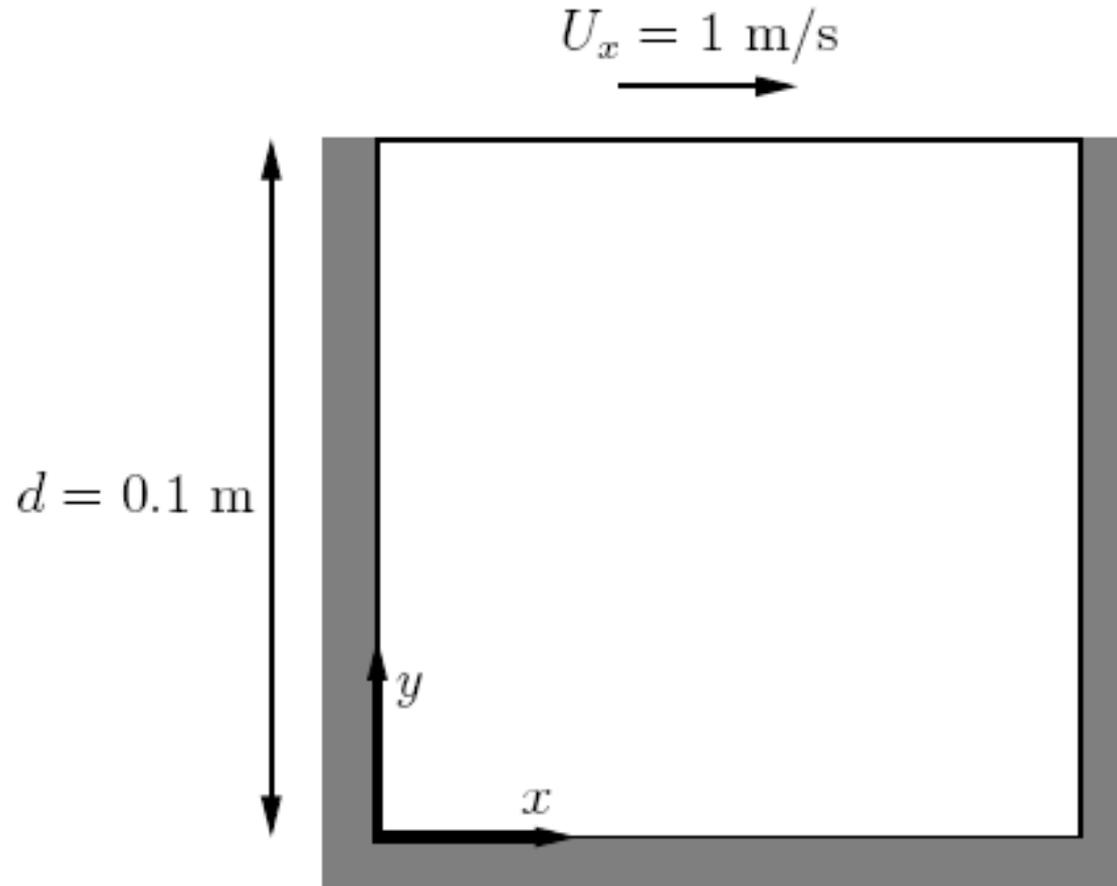
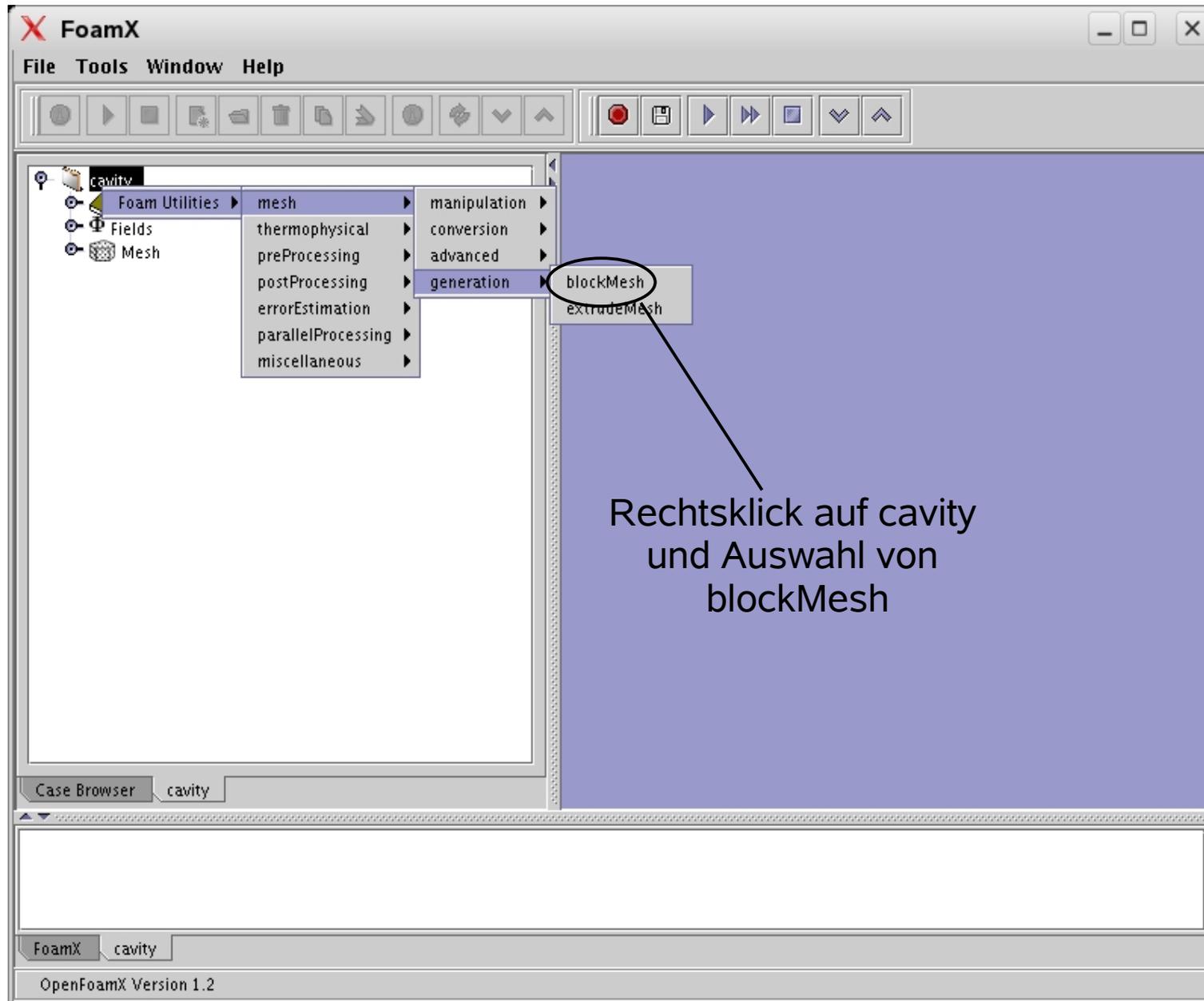


Figure 2.1: Geometry of the lid driven cavity.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



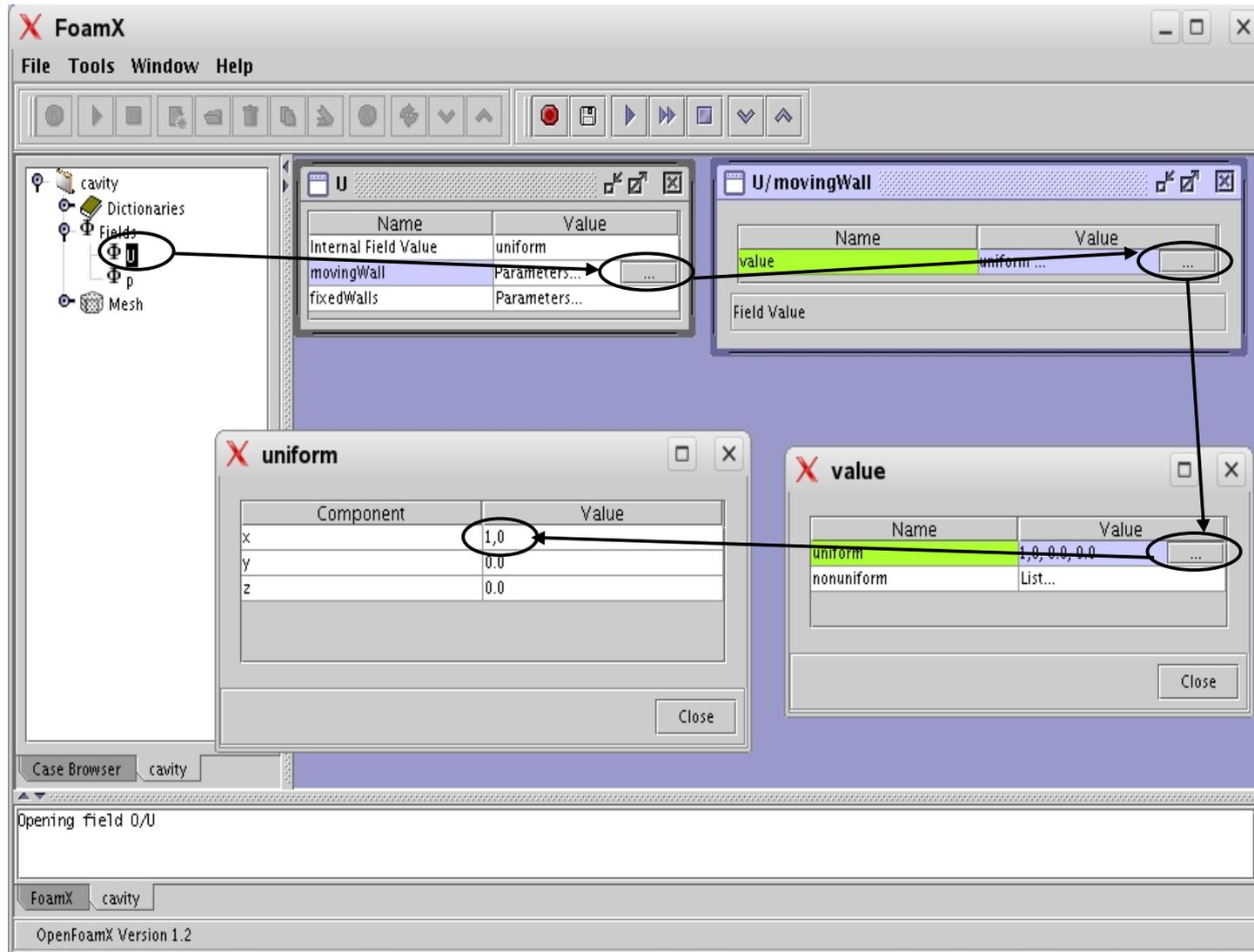
Rechtsklick auf cavity
und Auswahl von
blockMesh

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



Erzeugen des Mesh und Aktualisierung von Mesh&Fields

Überprüfung der Geschwindigkeit der movingWall. Danach alle Fenster wieder schließen.



OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



```
openfoam@linux:~/...s/icoFoam/cavity/0 - Befehlsfenster - Konsole
Sitzung Bearbeiten Ansicht Lesezeichen Einstellungen Hilfe

bash: cd: 0: Datei oder Verzeichnis nicht gefunden
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam> cd 0
bash: cd: 0: Datei oder Verzeichnis nicht gefunden
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam> cd cavity
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavity> cd 0
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavity/0> kwrite U &
[1] 17539
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavity/0>

U [Geändert] - KWrite
Datei Bearbeiten Ansicht Lesezeichen Extras Einstellungen Hilfe

// Field Dictionary

FoamFile
{
// * * * * *
* //g|

dimensions      [0 1 -1 0 0 0];
internalField   uniform (0 0 0);

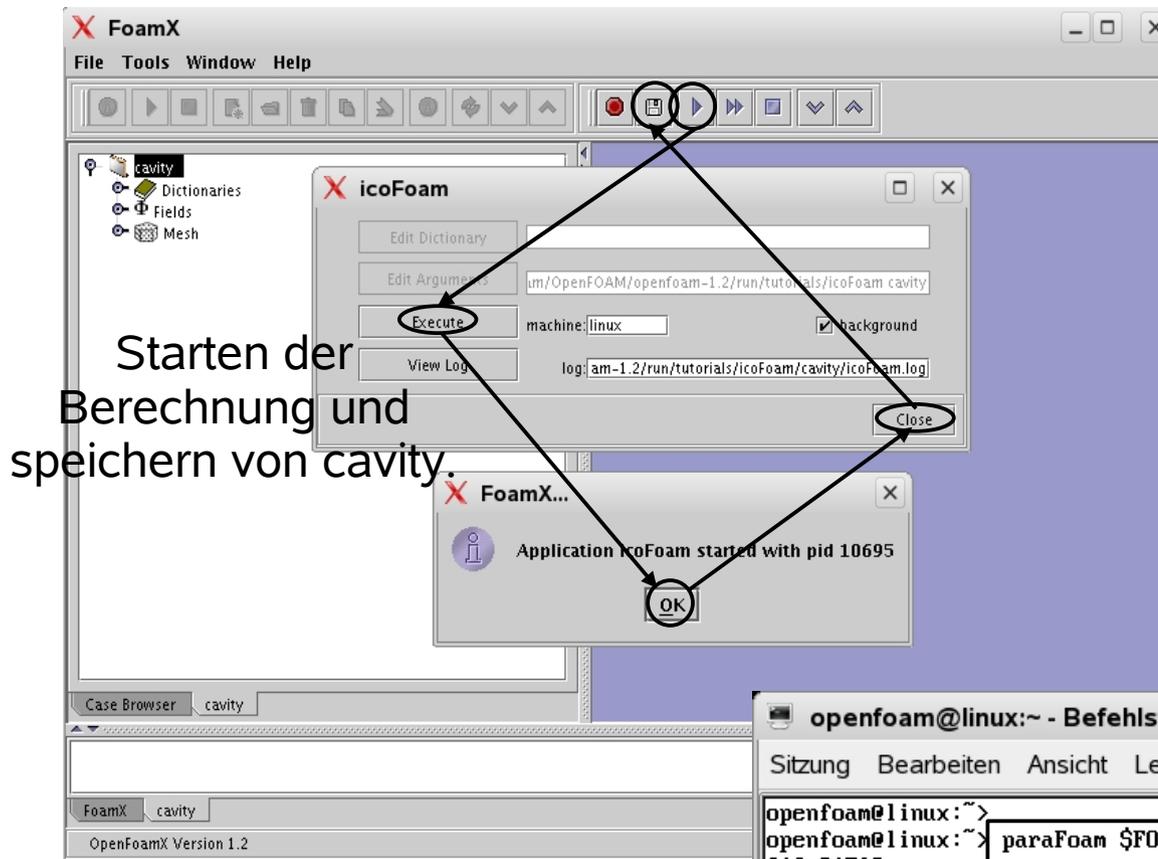
boundaryField
{
movingWall.....
{
type            fixedValue;
value           uniform (1 0 0);
}

fixedWalls.....
{
type            fixedValue;
value           uniform (0 0 0);
}

frontAndBack,...
{
type            empty;
}
}
}
```

Die Geschwindigkeit kann nur auf diese Weise editiert werden. Die Zeile (1 0 0) steht für (x m/s y m/s z m/s).

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics

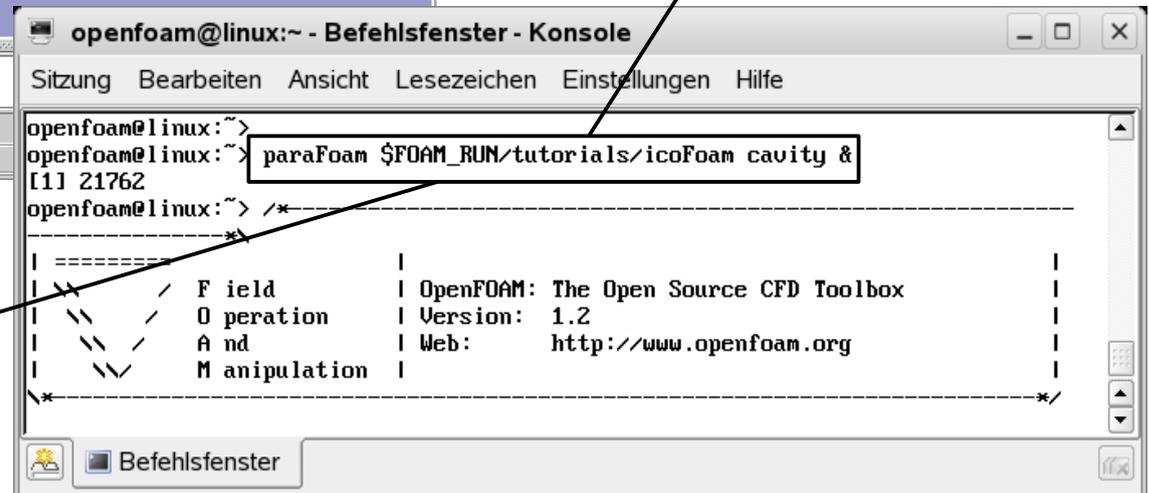


Starten der
Berechnung und
speichern von cavity.

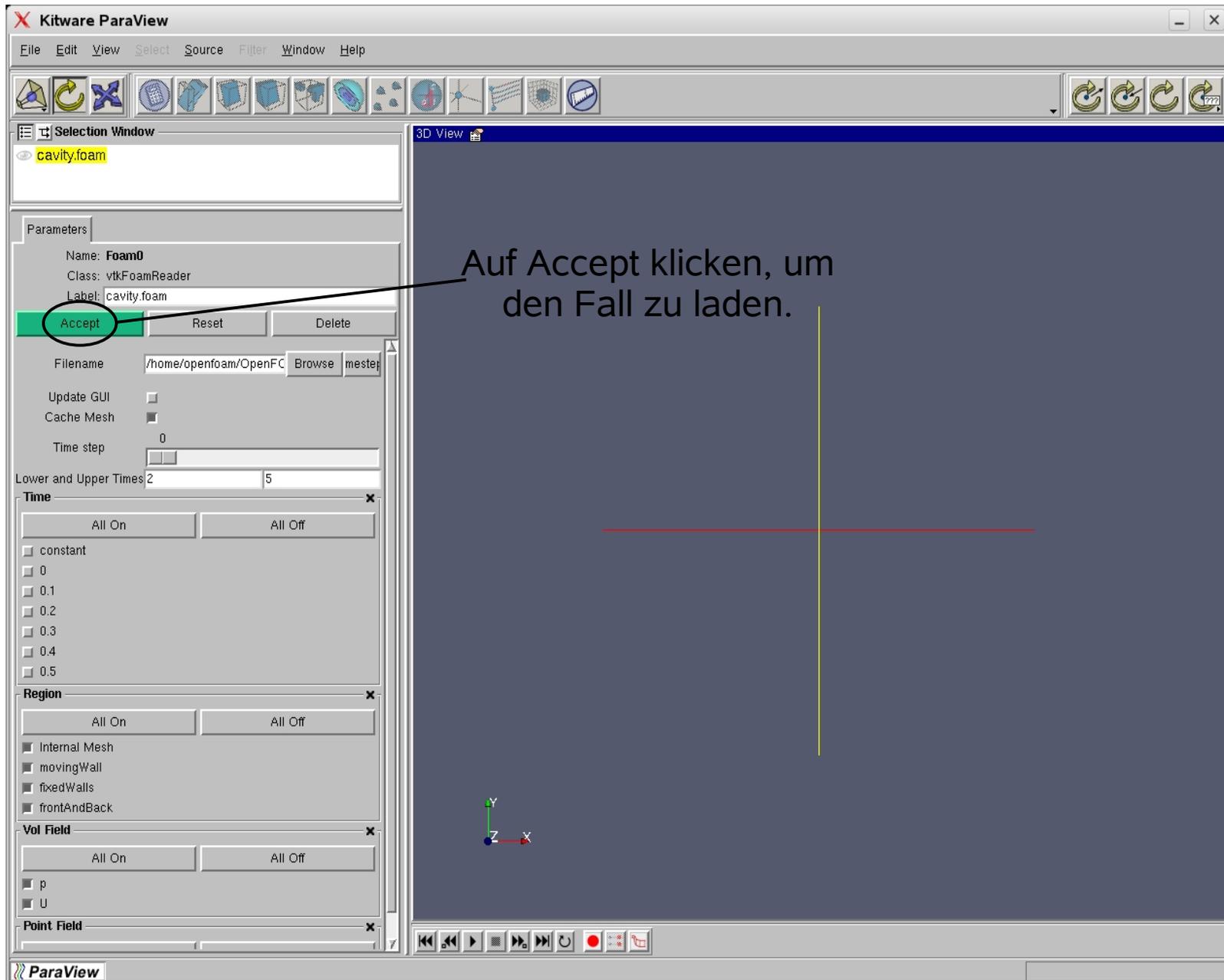
Laden von cavity in paraView
durch Eingabe in die Konsole:

`paraFoam <root> <case> &`

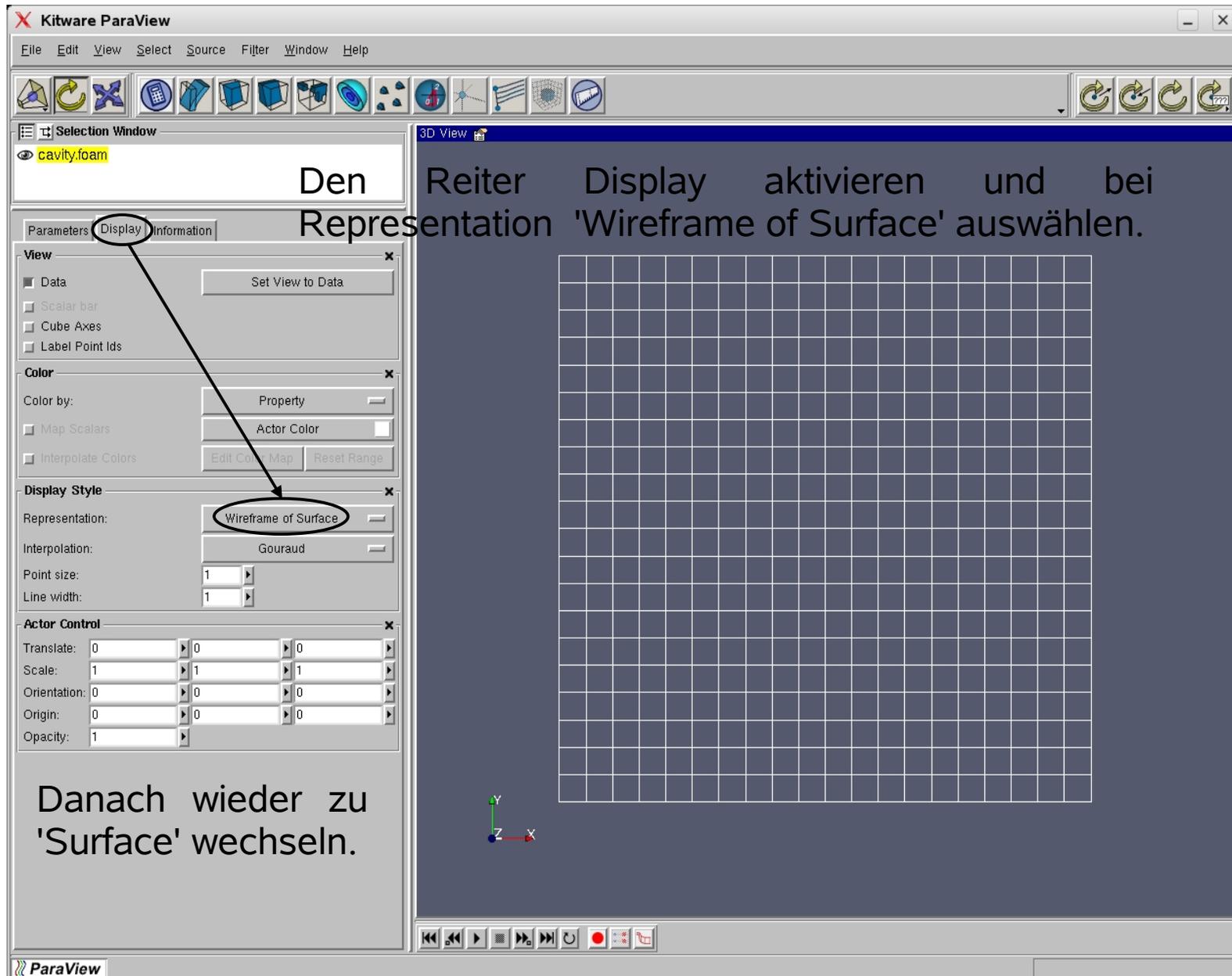
`$FOAM_RUN` steht für
`$HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-1.2`



OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



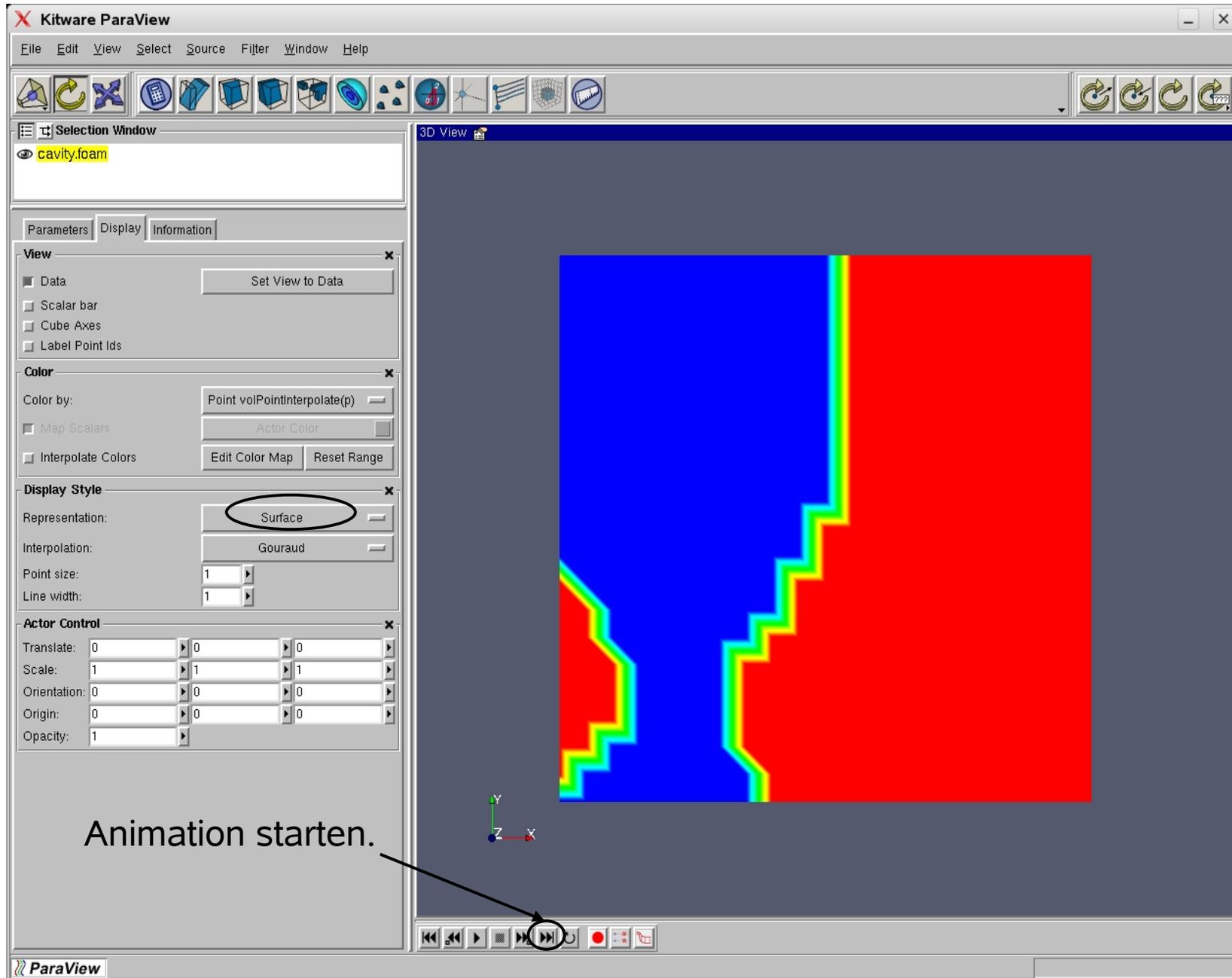
OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



Den Reiter Display aktivieren und bei Representation 'Wireframe of Surface' auswählen.

Danach wieder zu 'Surface' wechseln.

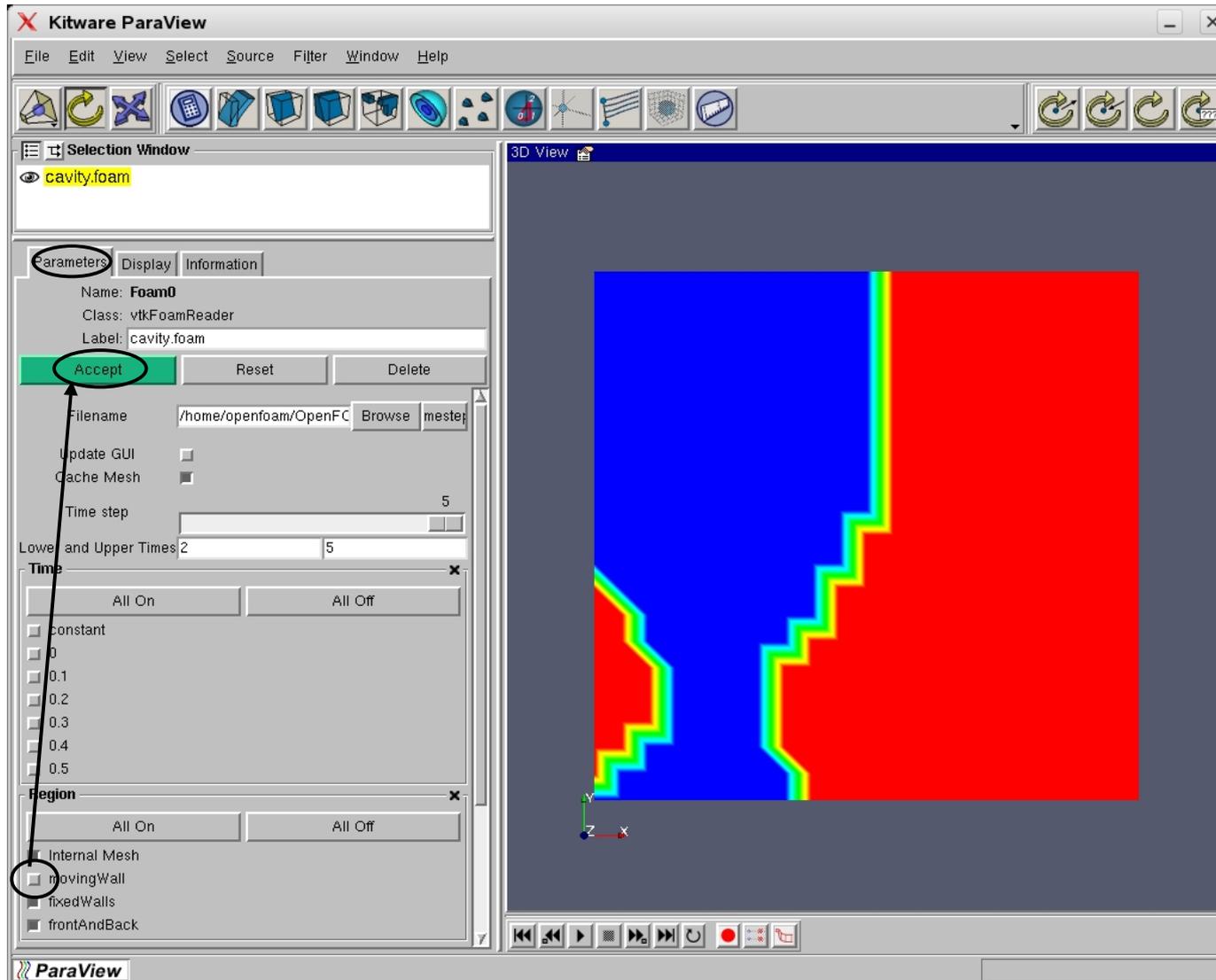
OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



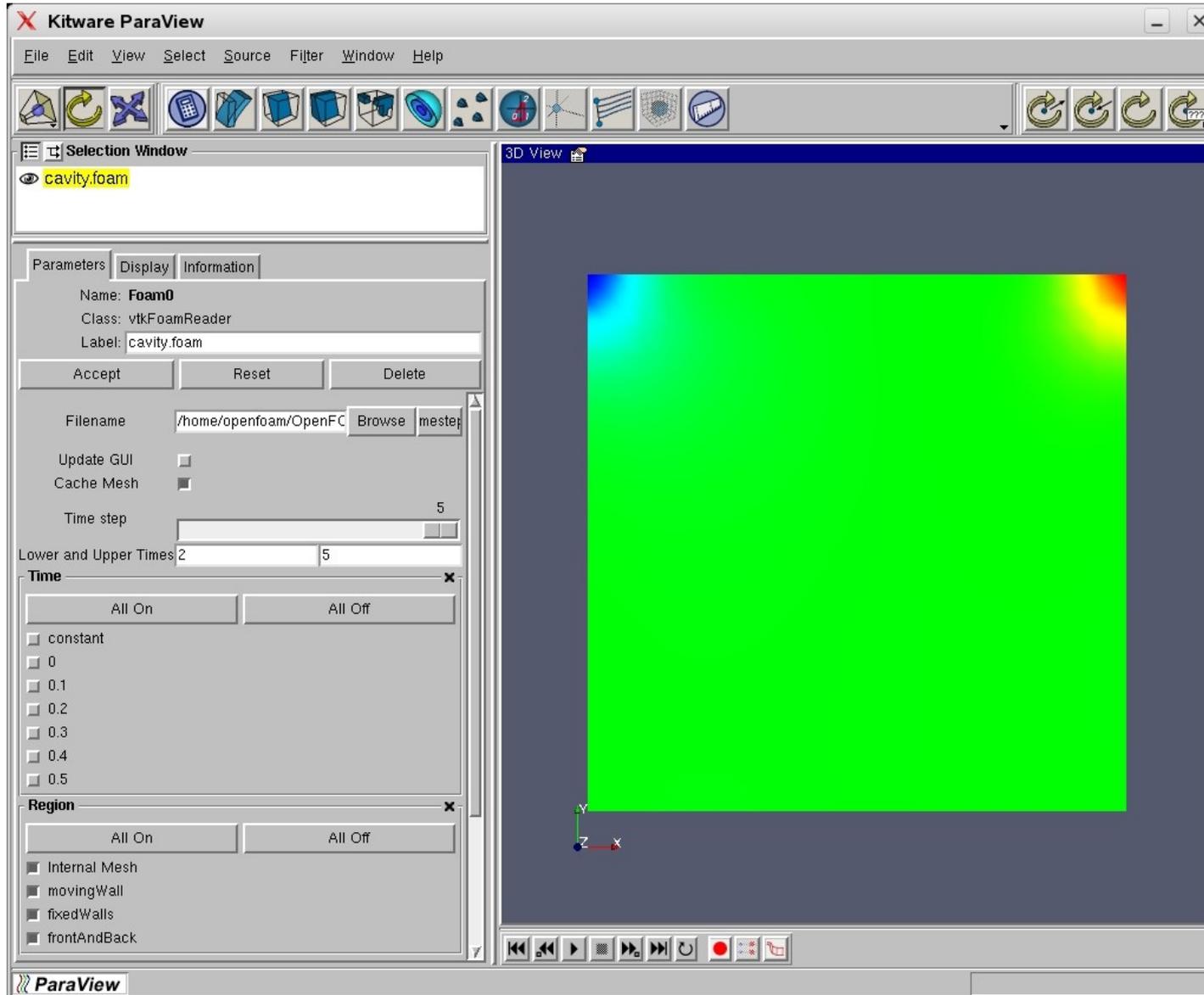
Dieser Anzeigefehler lässt sich beheben durch eine Änderung bei Region. Danach auf 'Accept', Änderung wieder rückgängig machen und wieder 'Accept' drücken.



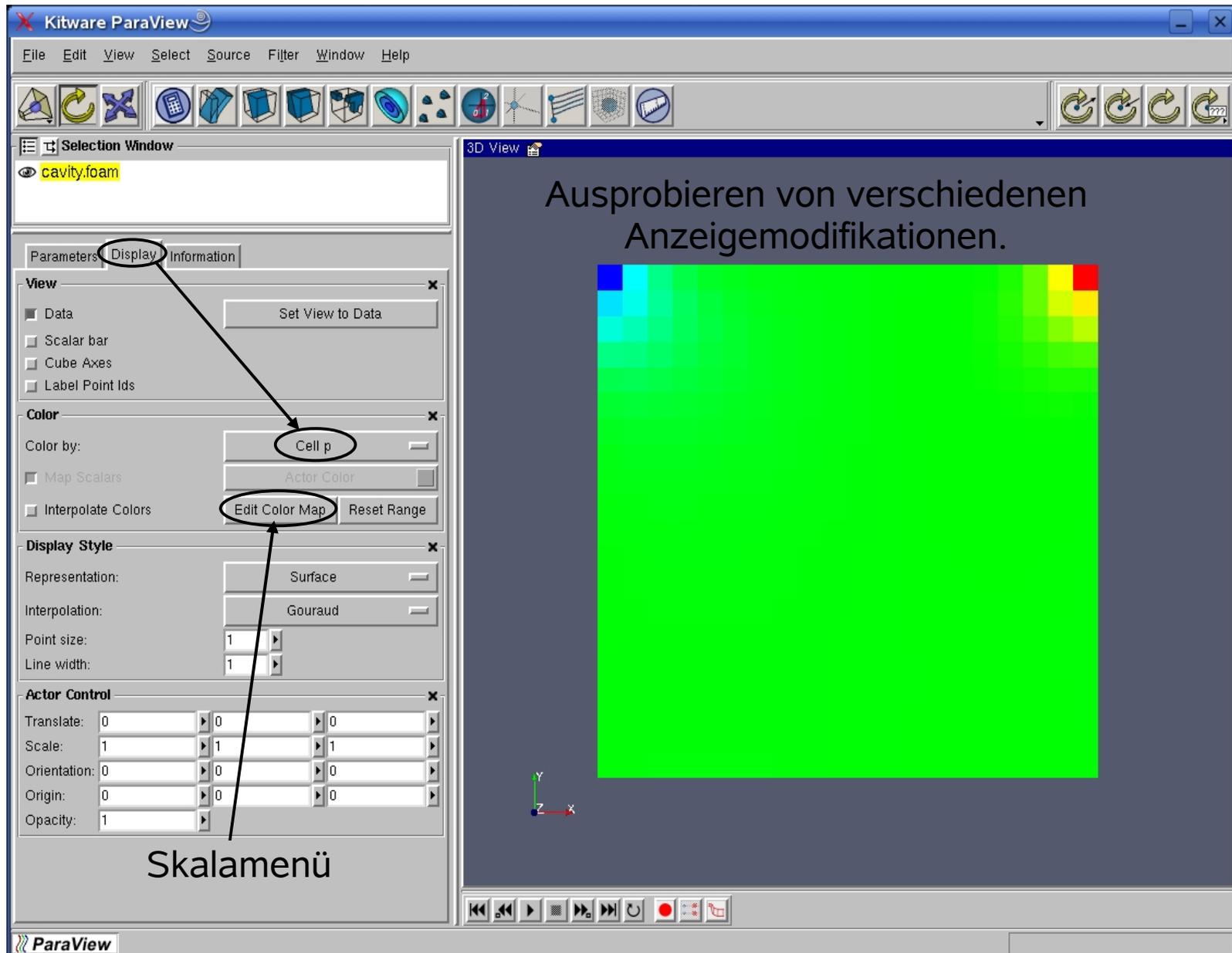
OpenFOAM Computational Fluid Dynamics

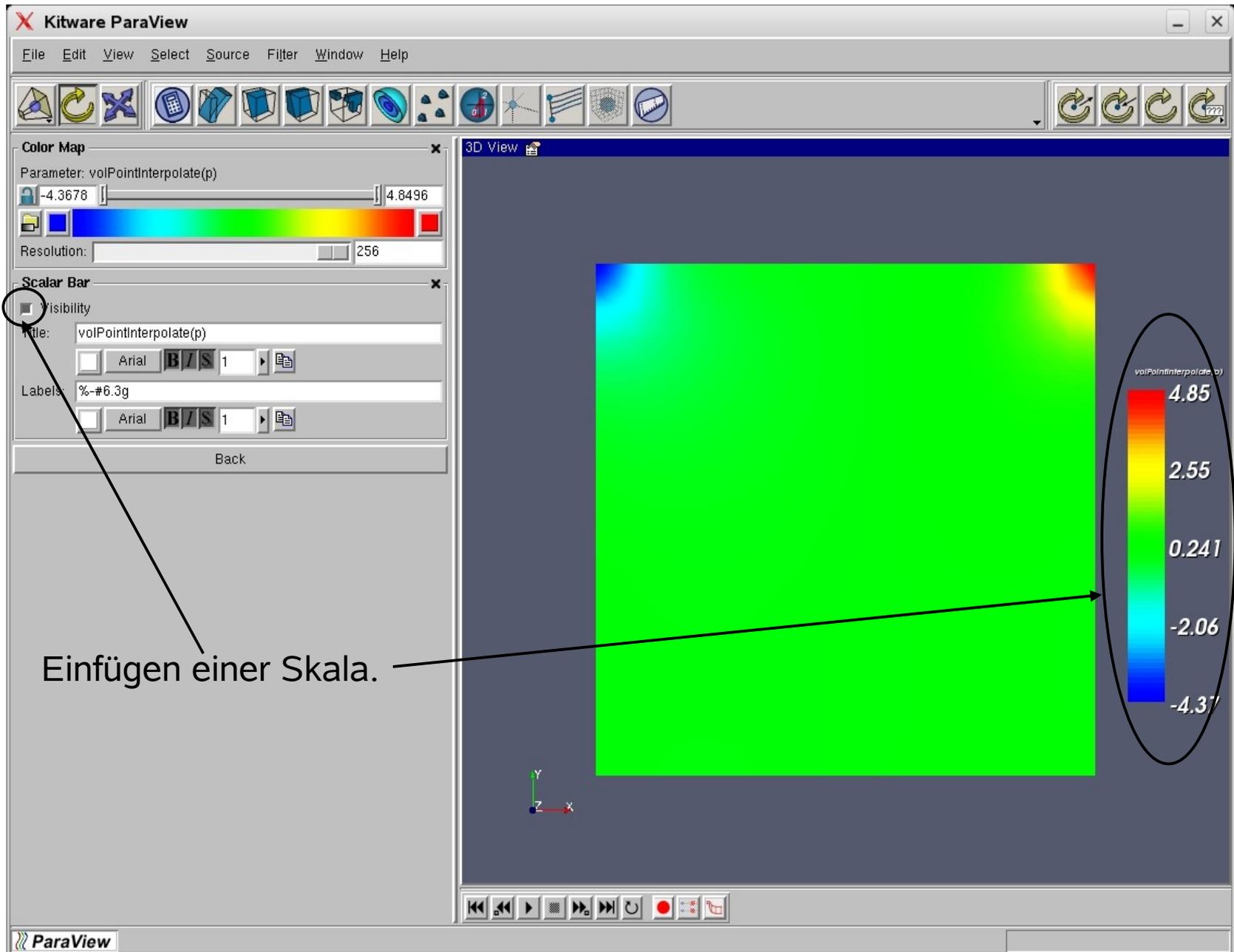


Ergebnis für die Druckverteilung.



Sobald Ergebnisse in die Zeitverzeichnisse eingetragen werden, können diese mit paraFoam betrachtet werden. Wenn unter dem Reiter „Parameters“ nicht die richtigen Menüs erscheinen, sollte man sicherstellen, dass `<cavity.foam>` gelb unterlegt, sichtbar durch das Auge geschaltet und „Source“ im „View“-Menü ausgewählt ist.





Einfügen einer Skala.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



The screenshot shows the ParaView interface with a 3D view of a scalar field. The color map and scalar bar are visible on the left. The 3D view shows a rectangular domain with a color gradient from blue to red. A color bar at the bottom of the 3D view shows the mapping of colors to values, with a scale from -4.37 to 4.85. The text 'Positionierung der Skala mit der linken Maustaste möglich.' is written in green, pointing to the color bar. The text 'Menü verlassen.' is written in black, pointing to the 'Back' button in the Color Map panel.

Color Map
Parameter: volPointInterpolate(p)
-4.3678 | 4.8496
Resolution: 256

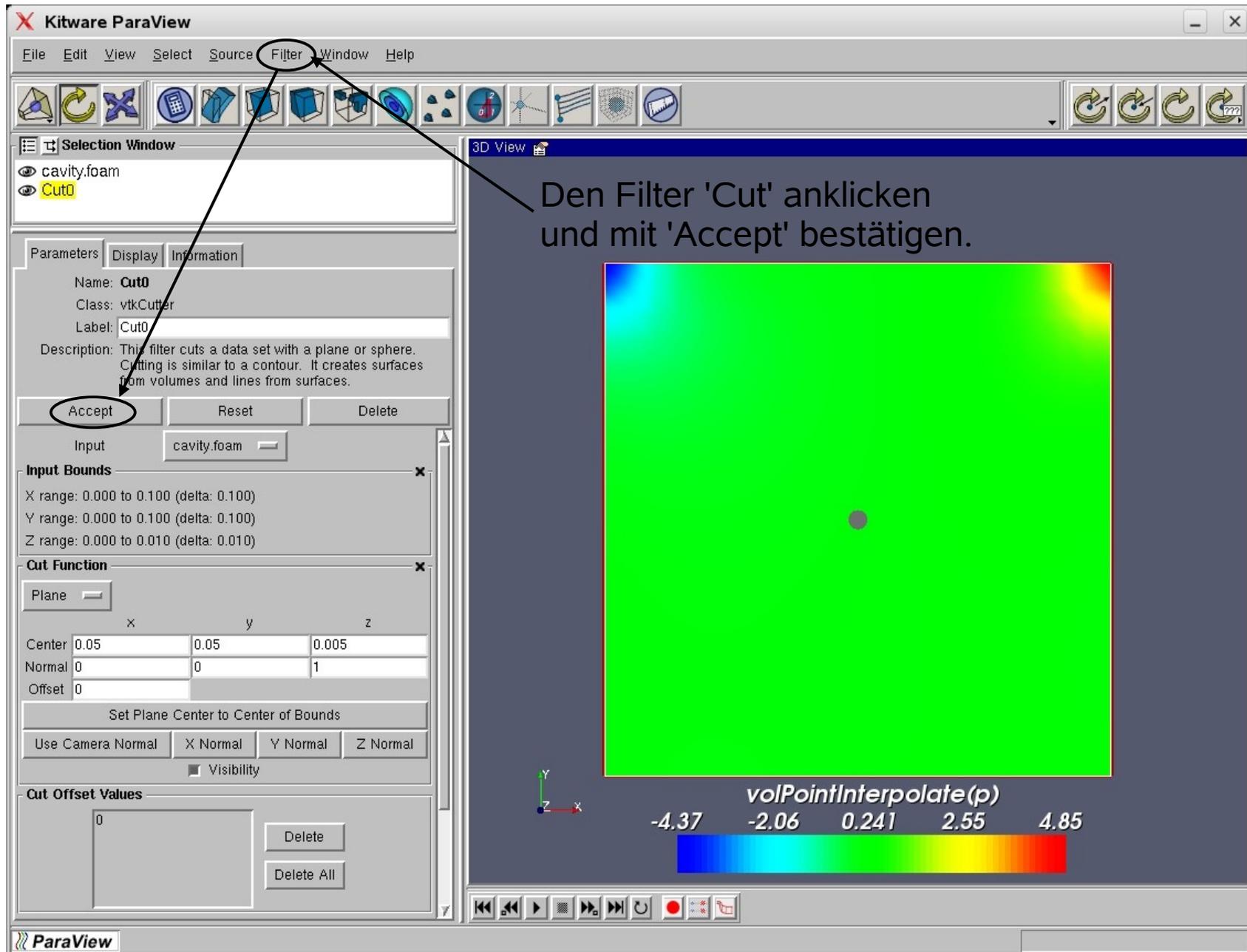
Scalar Bar
Visibility
Title: volPointInterpolate(p)
Labels: %-#6.3g

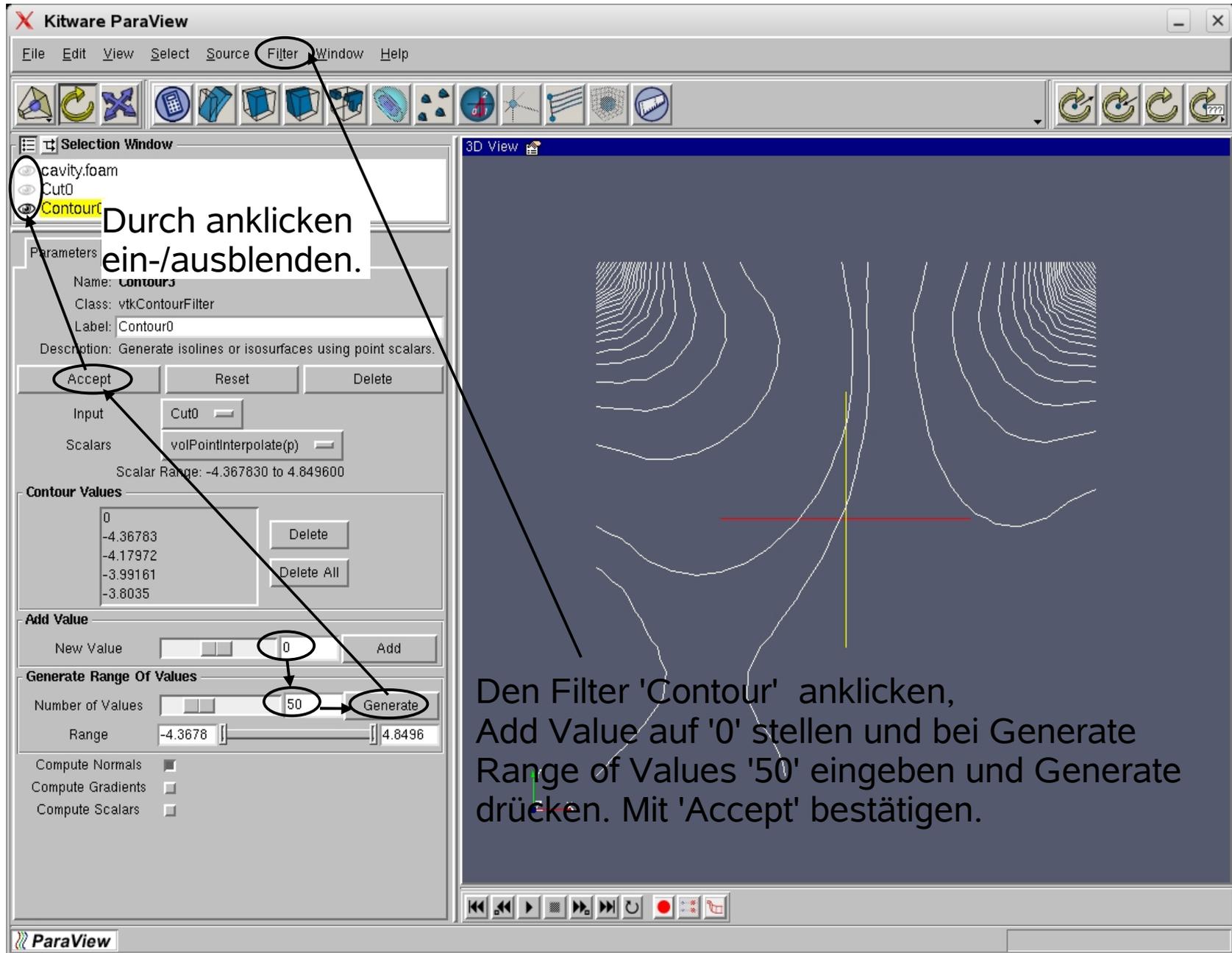
Back

Menü verlassen.

Positionierung der Skala mit der linken Maustaste möglich.

volPointInterpolate(p)
-4.37 -2.06 0.241 2.55 4.85

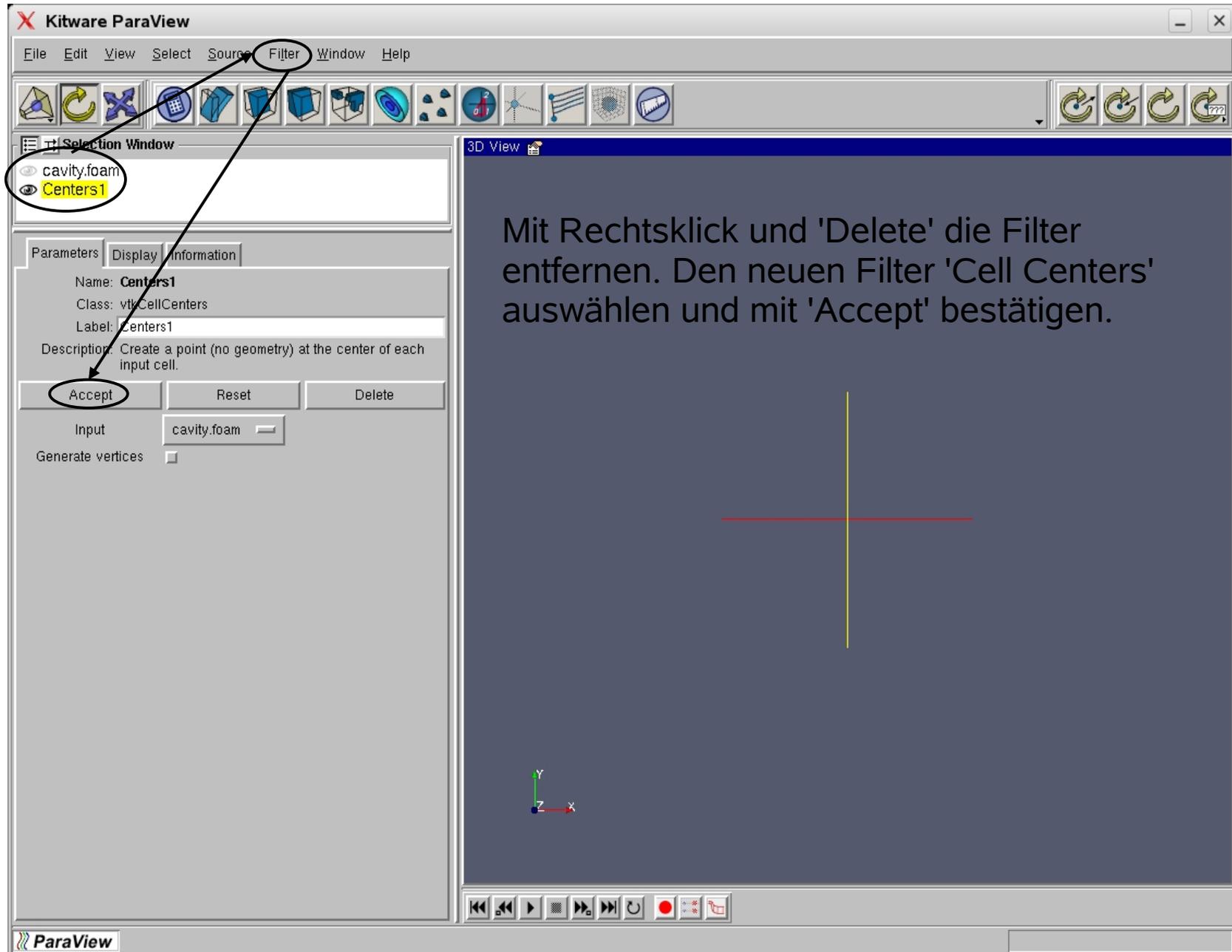




The screenshot shows the Kitware ParaView interface. The 'Filter' menu is circled in the top menu bar. In the 'Selection Window', the 'Contour' filter is selected and highlighted in yellow. A text box with an arrow points to it, containing the text: 'Durch anklicken ein-/ausblenden.' Below this, the 'Parameters' panel for the 'Contour' filter is shown. The 'Accept' button is circled. In the 'Add Value' section, the 'New Value' field is set to '0' and circled. In the 'Generate Range Of Values' section, the 'Number of Values' field is set to '50' and circled, and the 'Generate' button is also circled. The '3D View' window on the right displays a 3D visualization of a cavity flow simulation with white contour lines overlaid on a blue background. A red horizontal line and a yellow vertical line are visible in the 3D view.

Durch anklicken ein-/ausblenden.

Den Filter 'Contour' anklicken, Add Value auf '0' stellen und bei Generate Range of Values '50' eingeben und Generate drücken. Mit 'Accept' bestätigen.



Mit Rechtsklick und 'Delete' die Filter entfernen. Den neuen Filter 'Cell Centers' auswählen und mit 'Accept' bestätigen.

Den Filter 'Glyph' hinzufügen

Parameters Display Information

Name: **Glyph0**
Class: vtkPVGlyphFilter
Label: Glyph0
Description: This filter generates an arrow, cone, line, sphere, or 2D glyph at each point of the input data set. The glyphs can be oriented and scaled by the input point attributes.

Accept Reset Delete

Input: Centers1
Glyph: Arrow0

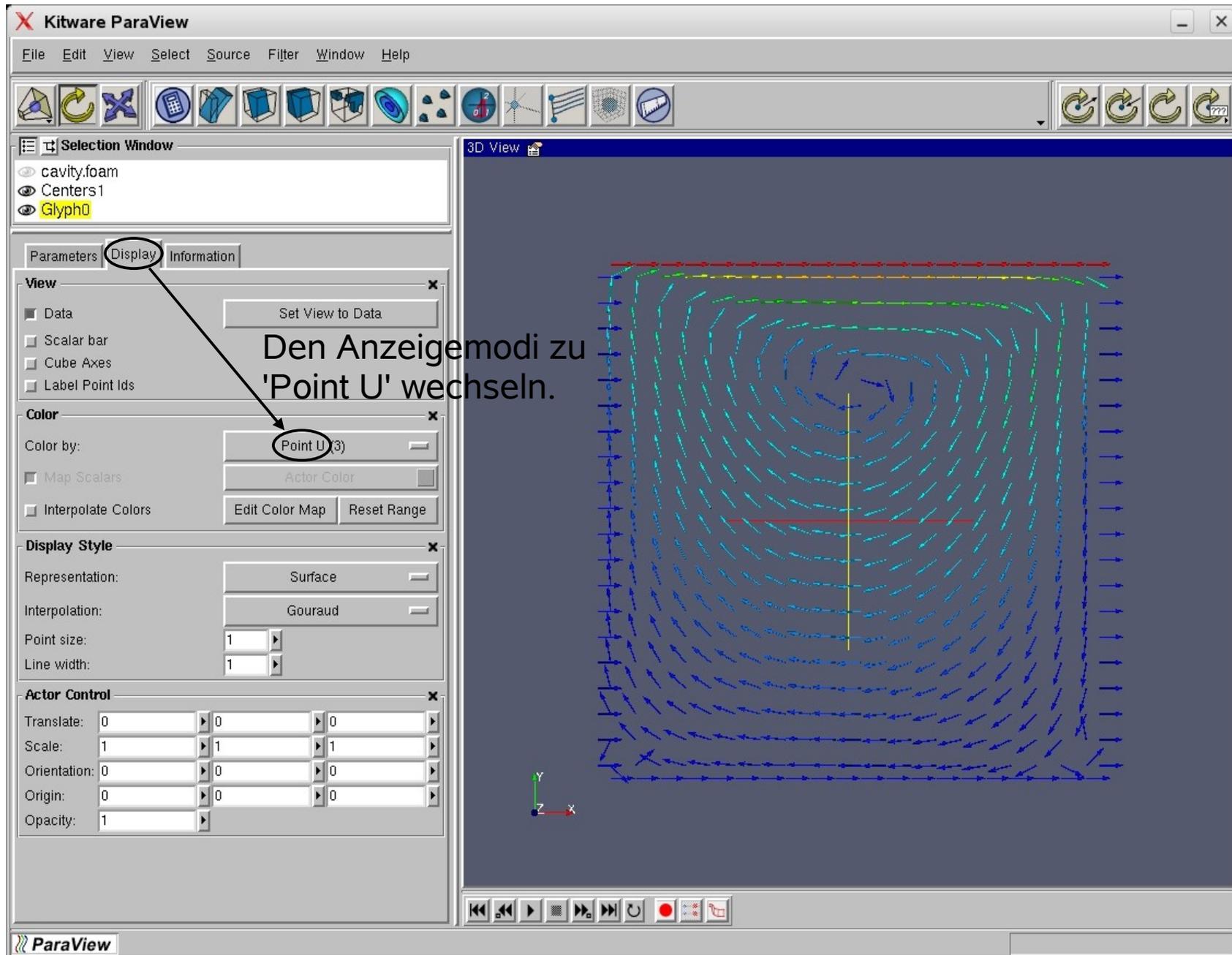
Orient / Scale

Orient Mode: Vector
Scale Mode: **Data Scaling Off**
Scale Factor: **0.005**
Scalars: p
Vectors: U

Max. Number of Glyphs: 5000
Mask Points:
Random Masking:

'Data Scaling Off' auswählen,
0.005 als Scale Factor
eingeben und bestätigen.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



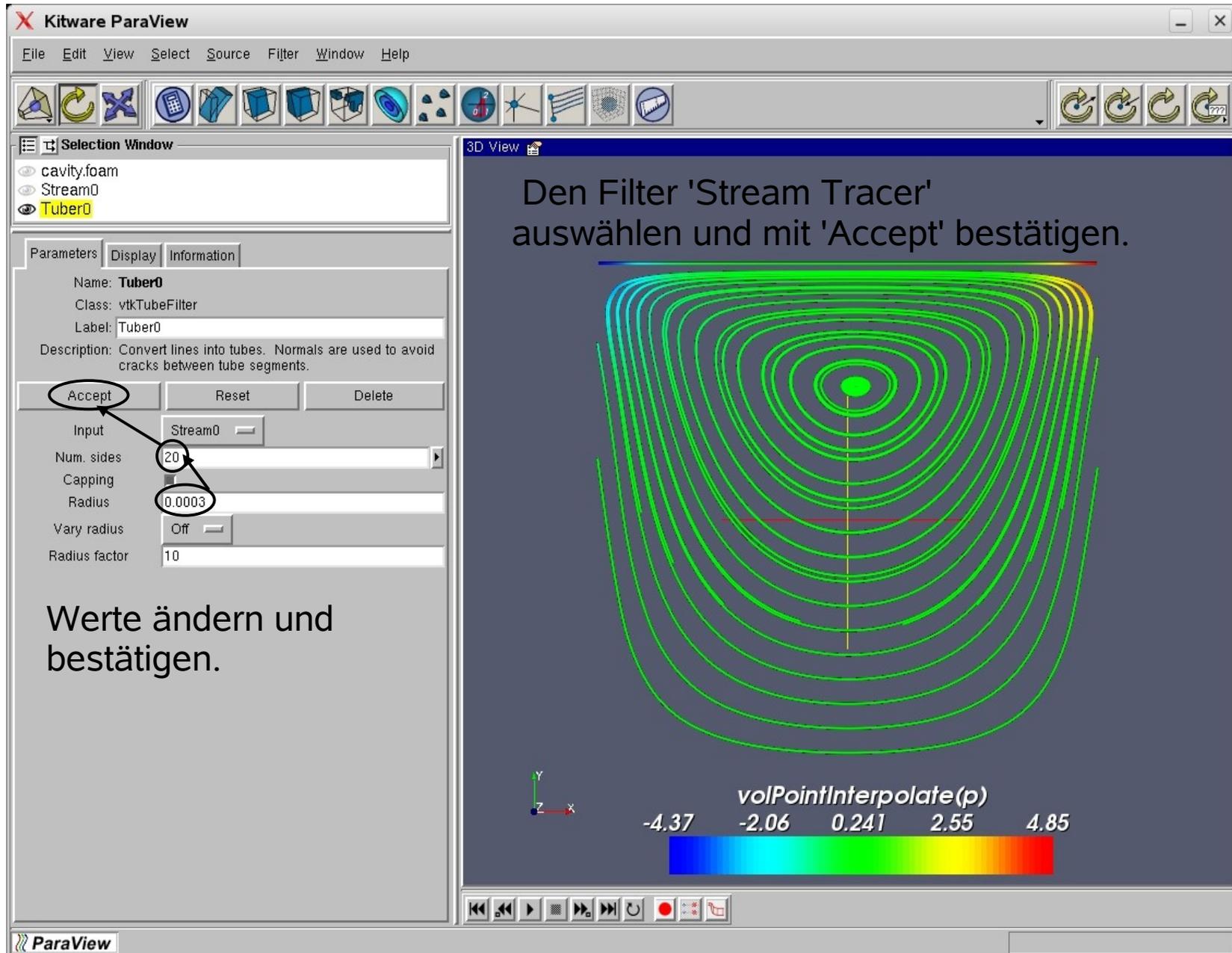
The image shows the ParaView interface with the **StreamTracer** filter configuration panel on the left and a 3D view of streamlines on the right. The configuration panel includes the following fields and controls:

- Name:** Stream0
- Class:** vtkDistributedStreamTracer
- Label:** Stream0
- Description:** Integrate streamlines in a vector field.
- Buttons:** Accept, Reset, Delete
- Input:** cavity.foam
- Vectors:** volPointInterpolate(U)
- Seed:** Line
- Line Widget:**

	x	y	z
Point 1	0.05	0	0.005
Point 2	0.05	0.1	0.005

Resolution: 21
Length: 0.1
- Max. Propagation:** Length: 0.5
- Init. Step Len.:** Cell Length: 0.01
- Integration Direction:** BOTH
- Integrator Type:** Runge-Kutta 2
- Max. Steps:** 2000
- Term. Speed:** 1e-12

The 3D view shows a series of concentric streamlines in a green-to-yellow color gradient, indicating a flow field. A color bar at the bottom of the 3D view is labeled **volPointInterpolate(p)** and has values: -4.37, -2.06, 0.241, 2.55, 4.85. A red horizontal line is drawn across the streamlines. The text "Mit Rechtsklick und 'Delete' die Filter entfernen. Den Filter 'Stream Tracer' auswählen und mit 'Accept' bestätigen." is overlaid on the 3D view.



The screenshot shows the ParaView interface with the 'Tuber0' filter selected in the Selection Window. The Parameters panel for 'Tuber0' is visible, showing the following settings:

- Name: Tuber0
- Class: vtkTubeFilter
- Label: Tuber0
- Description: Convert lines into tubes. Normals are used to avoid cracks between tube segments.
- Buttons: Accept, Reset, Delete
- Input: Stream0
- Num. sides: 20
- Capping: (dropdown)
- Radius: 0.0003
- Vary radius: Off
- Radius factor: 10

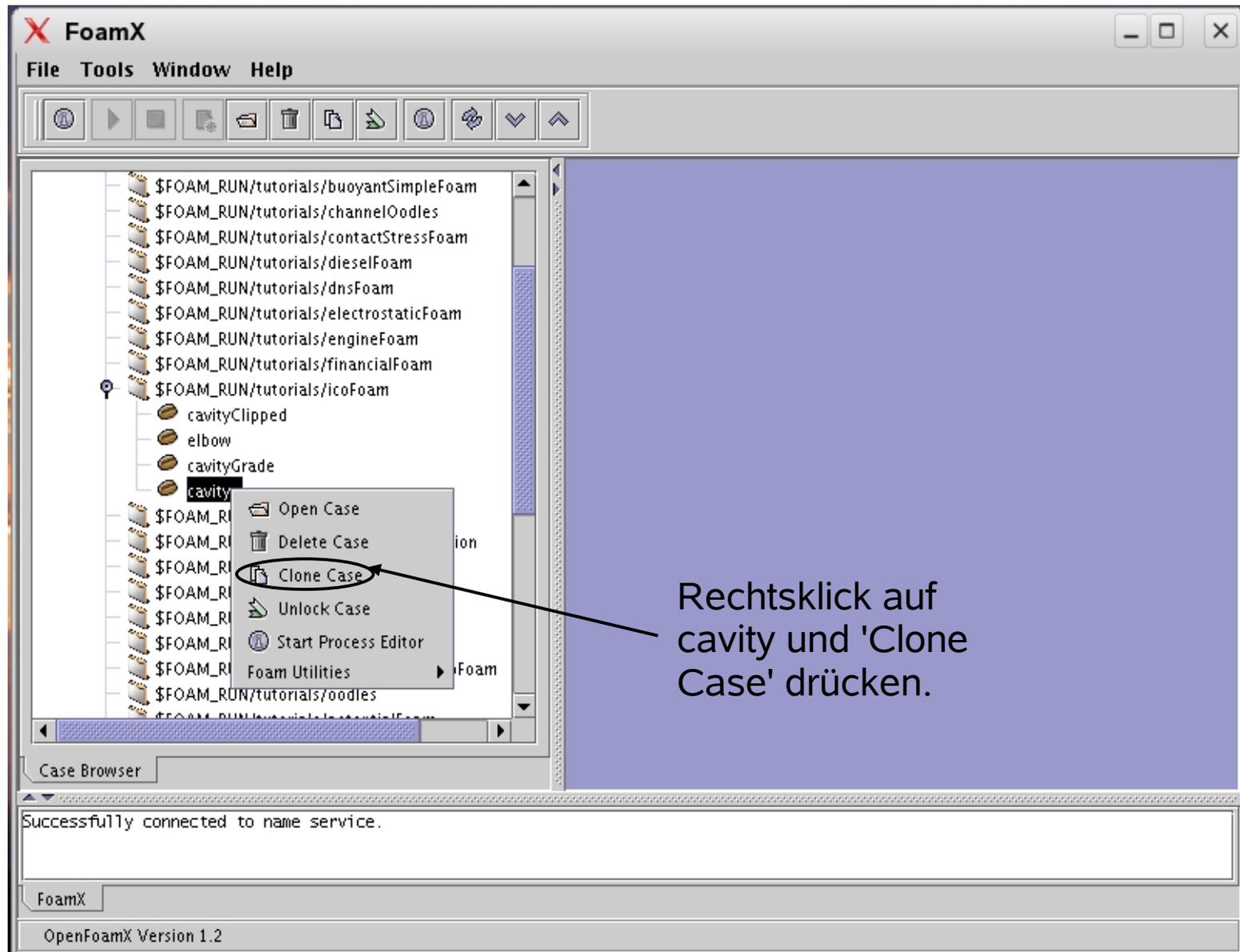
The 3D View shows a visualization of streamlines forming a tube-like structure. A color bar at the bottom indicates the value of the variable $volPointInterpolate(p)$, ranging from -4.37 (blue) to 4.85 (red). The color bar values are: -4.37, -2.06, 0.241, 2.55, 4.85.

Den Filter 'Stream Tracer' auswählen und mit 'Accept' bestätigen.

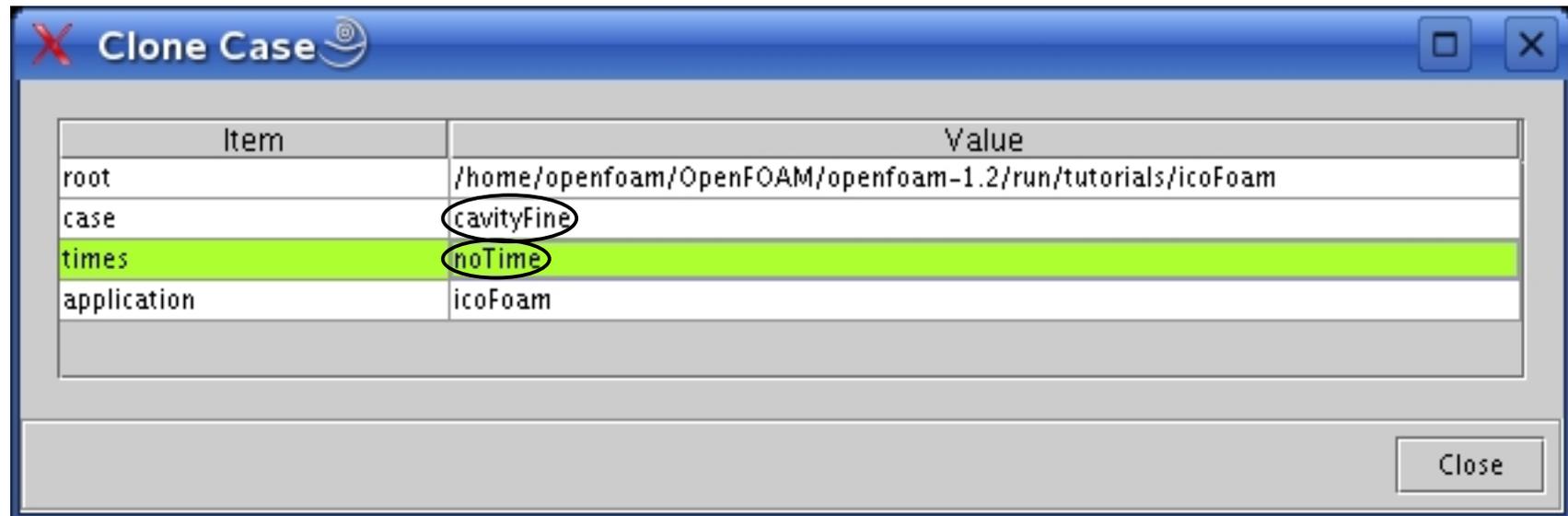
Werte ändern und bestätigen.

Bei der Simulation von realen Beispielen ist es immer wichtig die passende Maschengröße zu wählen. Allgemein gilt je feiner das Netz um so exakter das Ergebnis, aber um so größer der Rechenaufwand. Wir erstellen jetzt den Fall cavityFine mit einem feinerem Netz.

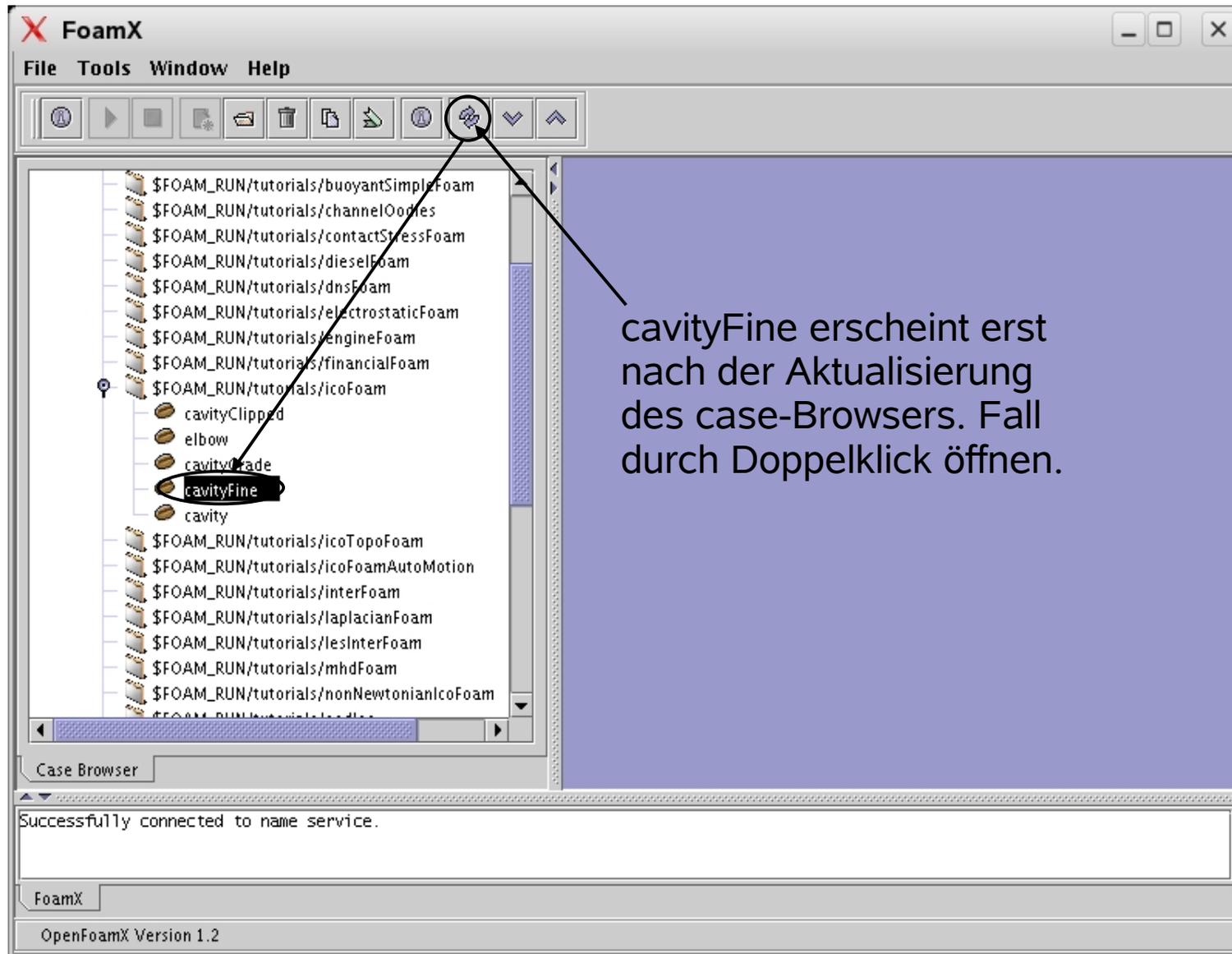
OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



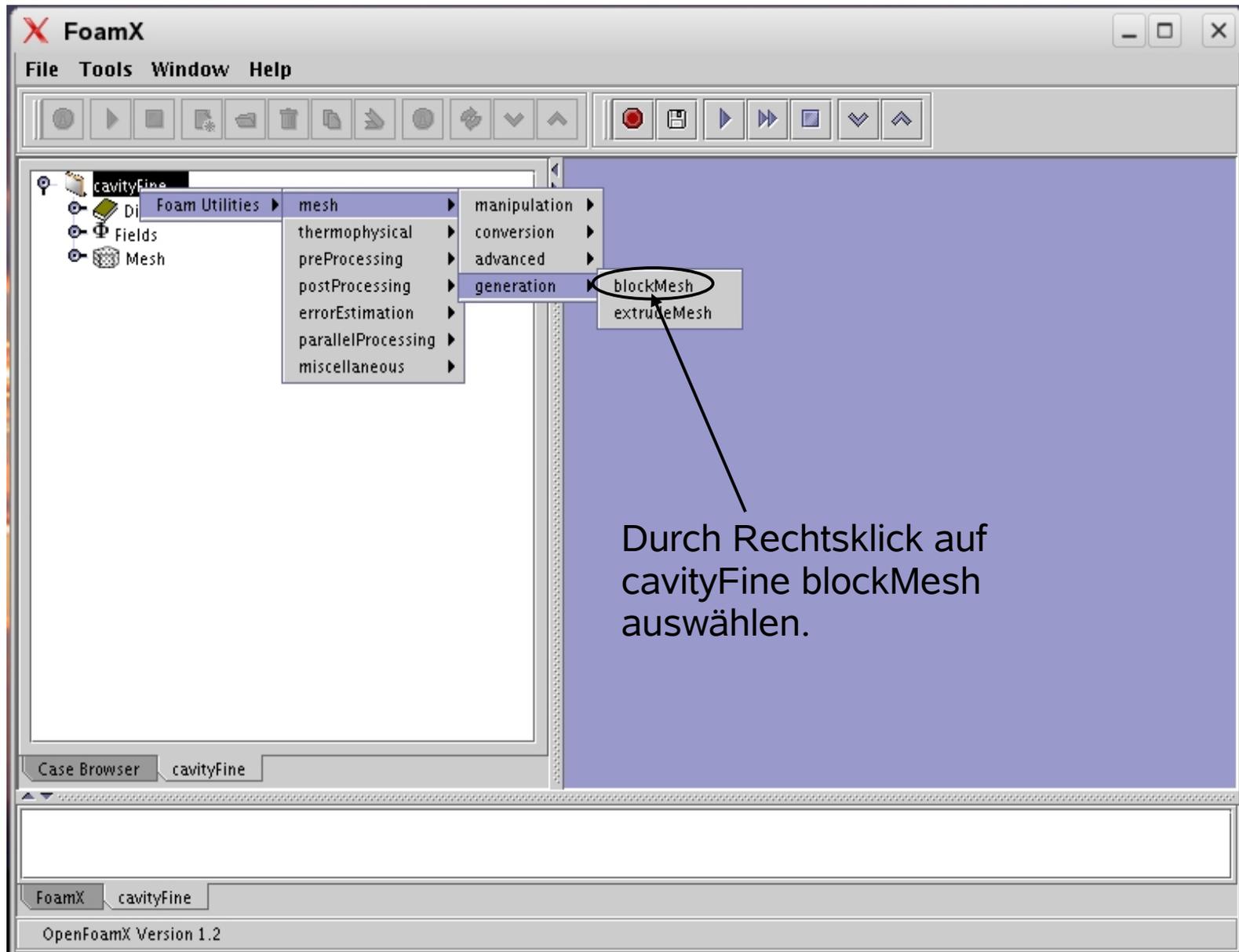
Bei case wird der Name des neuen Falls und bei times 'noTime' eingegeben



OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



Durch Rechtsklick auf
cavityFine blockMesh
auswählen.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



The screenshot shows the OpenFOAM GUI with several windows open. The **blockMesh** window has 'Edit Dictionary' and 'Execute' buttons circled. The **cellDensity** window has 'Nx', 'Ny', and 'Nz' fields with values 41, 41, and 1 respectively, also circled. The **blocks** window has a table with one row circled. The **Compound Editor** window has a table with 'blocks' highlighted and a circled '...' button. A text box in the center contains instructions.

Feineres Netz einstellen. Bei cellDensity 41, 41, 1 eingeben, alle Menüs bis auf blockMesh schließen und 'Execute' drücken.

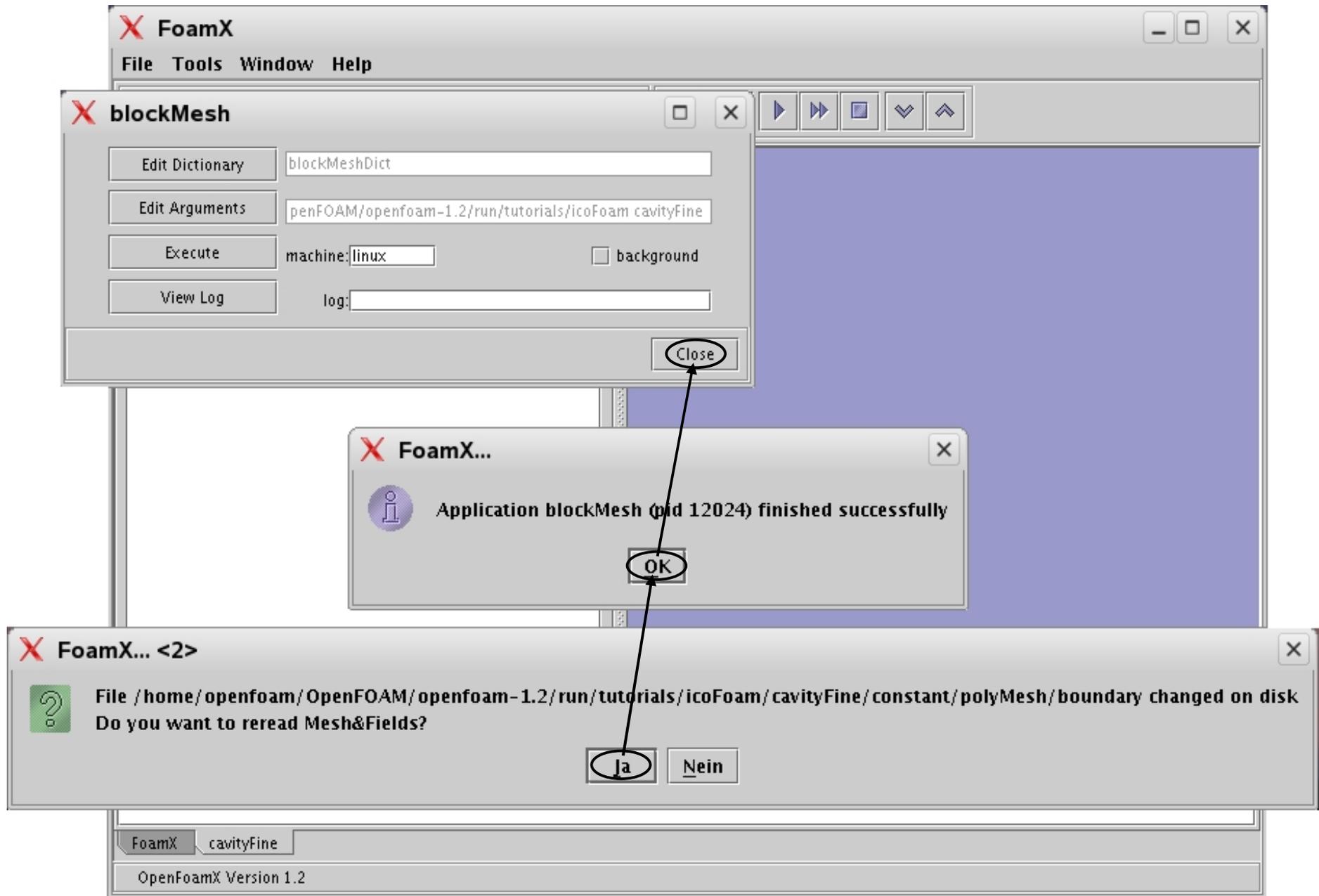
Item	Value
arguments	cavityFine,/home/openfoam/...
convertToMeters	0,1
vertices	List...
blocks	List...
edges	List...
patches	List...
	List...

Component	value
Nx	41
Ny	41
Nz	1

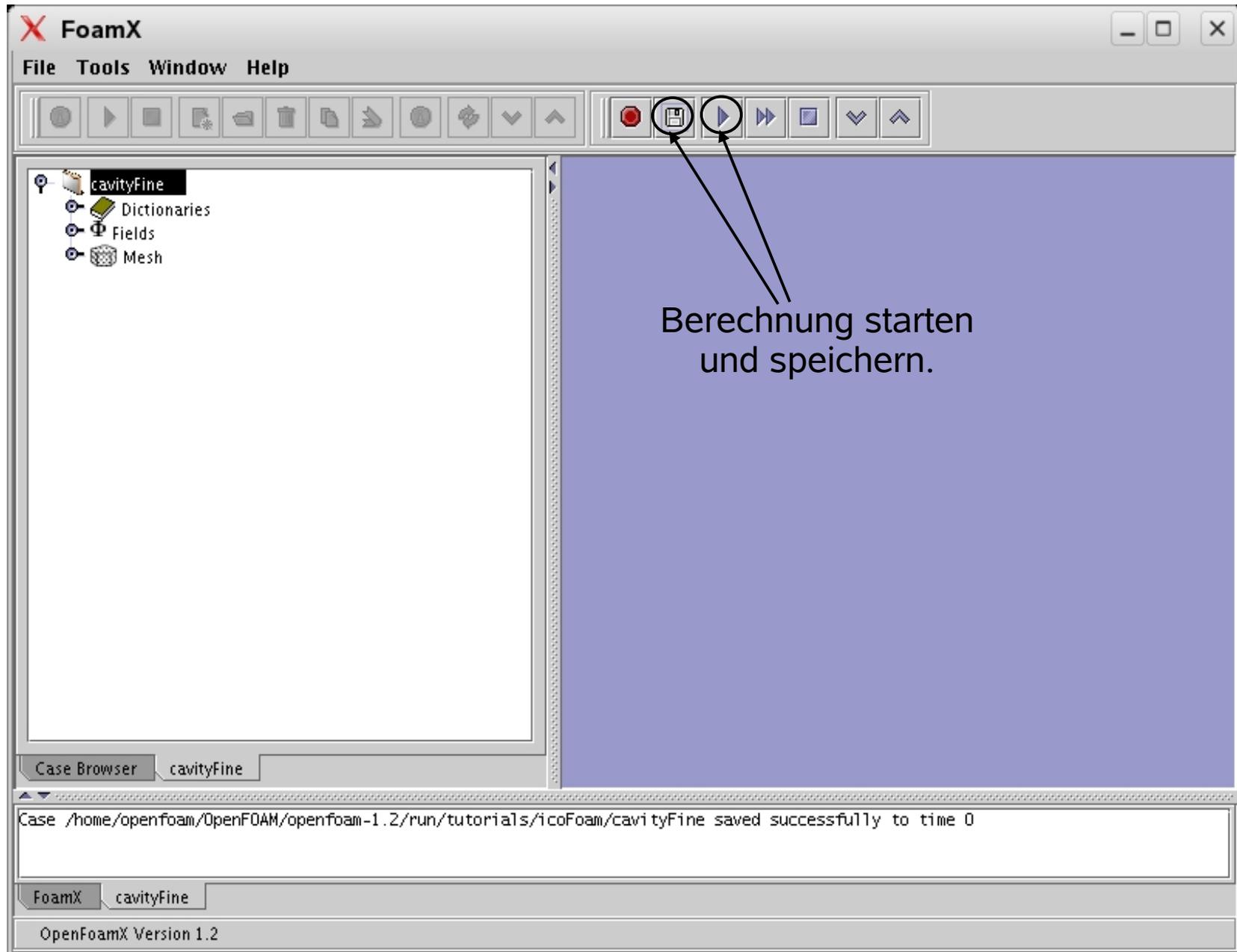
Item	Value
0	0, 1, 2, 3 ..., ...

Item	Value
hex	0, 1, 2, 3 ...
cellDensity	41, 41, 1
expansionRatio	simpleGrading ...

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



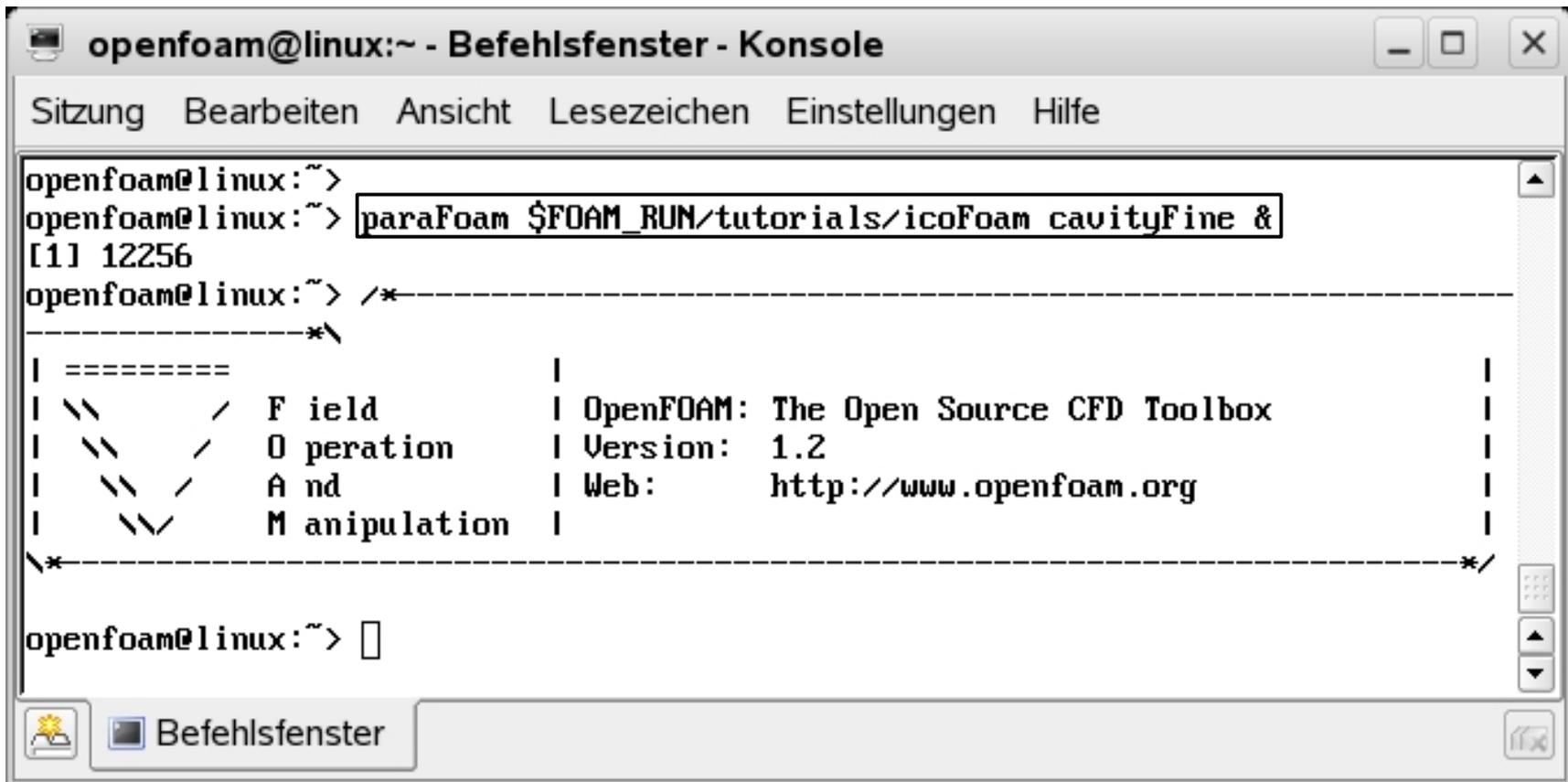
OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



Nun starten wir den Postprocessor, ParaView::

Post-Prozessor: paraview &
 paraFoam <root> <case> &
 (z.b. paraFoam \$FOAM_RUN/tutorials/icoFoam cavity &)

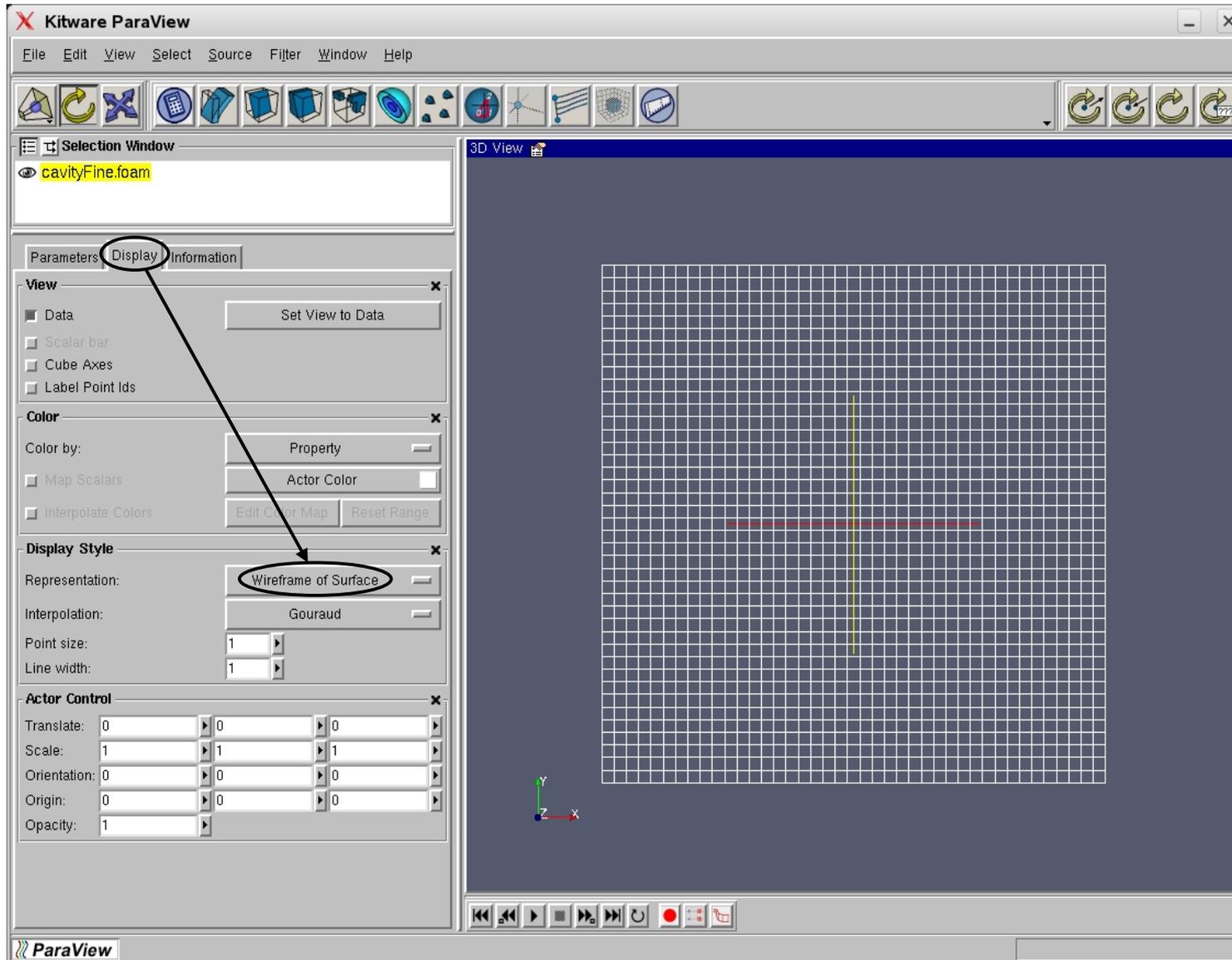
Das '&'-Zeichen ermöglicht die weitere Benutzung der Konsole



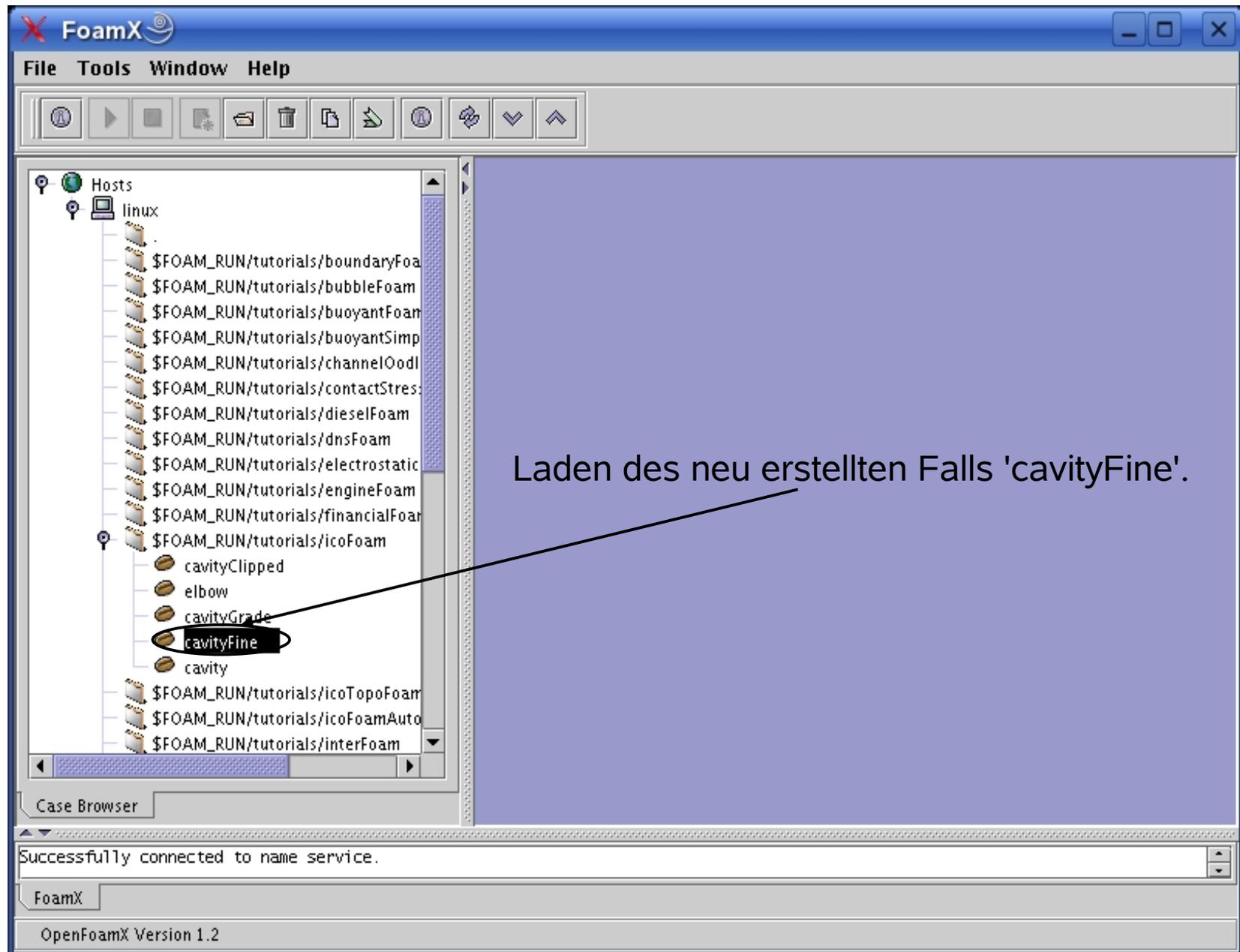
```
openfoam@linux:~ - Befehlsfenster - Konsole
Sitzung Bearbeiten Ansicht Lesezeichen Einstellungen Hilfe
openfoam@linux:~>
openfoam@linux:~> paraFoam $FOAM_RUN/tutorials/icoFoam cavityFine &
[1] 12256
openfoam@linux:~> /*-----*/
/*\
| =====
|  \  /  F i e l d
|  \  /  O p e r a t i o n
|  \  /  A n d
|  \  /  M a n i p u l a t i o n
/*\
|
| OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
| Version: 1.2
| Web: http://www.openfoam.org
|
|
/*-----*/

openfoam@linux:~> □
```

Mit 'Accept' bestätigen und den Reiter 'Display' aktivieren. Unter Display Style/Representation 'Wireframe of Surface' wählen und feineres Netz überprüfen.



OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



Laden des neu erstellten Falls 'cavityFine'.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



The screenshot shows the FoamX interface. On the left, a tree view shows the 'cavityFine' case with subfolders for 'Dictionaries', 'fvSchemes', 'fvSolution', 'transportProperties', 'Fields', and 'Mesh'. The 'controlDict' file is selected. The main window displays the 'controlDict' file content in a table format:

Name	Value
application	icoFoam
startFrom	startTime
startTime	0.5
stopAt	endTime
endTime	0.5
timePrecision	6
graphFormat	raw
runTimeModifiable	yes

An error dialog box titled 'FoamXException' is overlaid on the table, displaying the message: 'Number 0.5 not of correct type.' The 'OK' button is circled. Arrows indicate that the error message refers to the '0.5' value in the 'startTime' field of the 'controlDict' file.

In controlDict können alle Berechnungsparameter eingesehen, aber nicht verändert werden.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



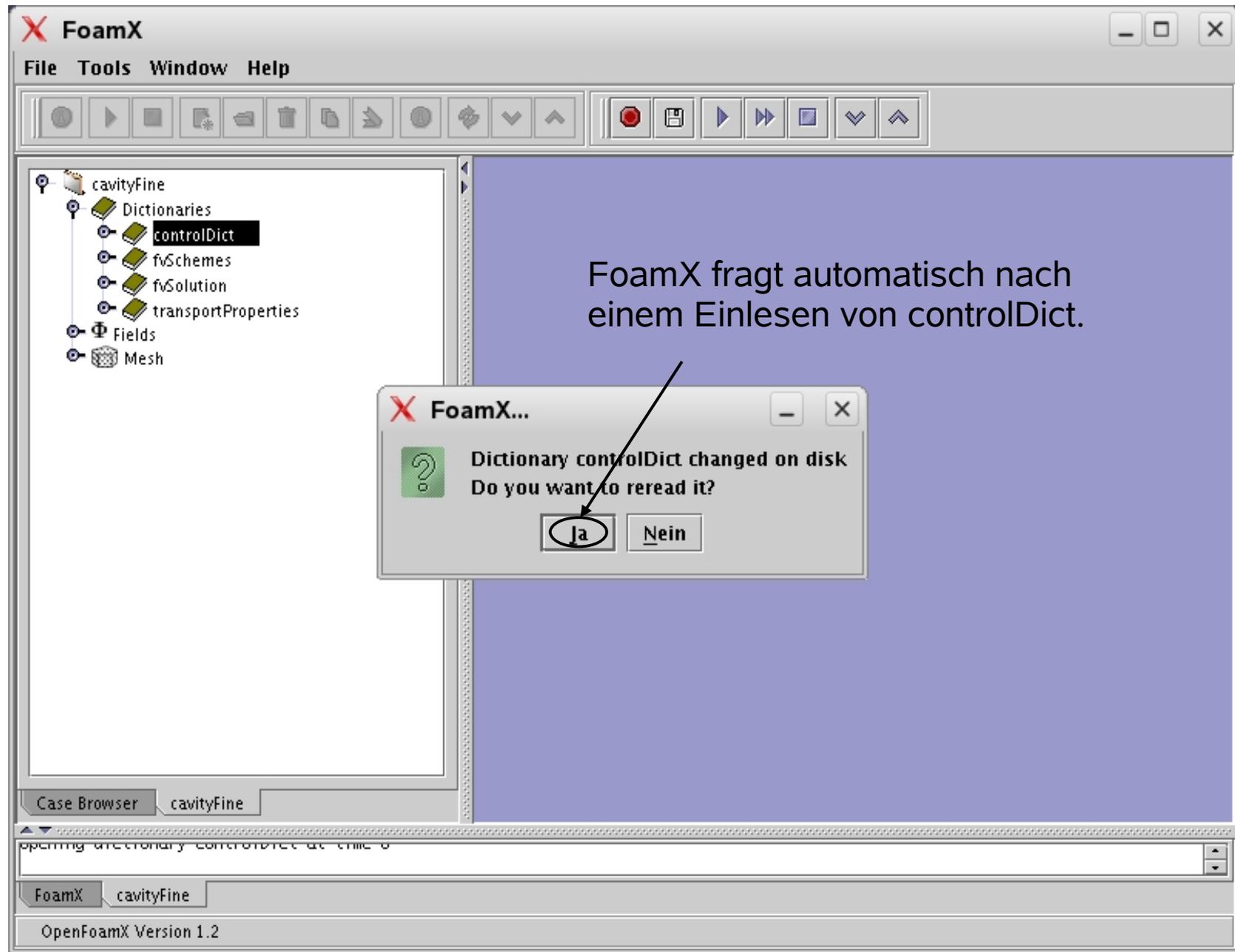
The image shows a terminal window and a text editor window. The terminal window displays the output of a file listing command and the execution of a command to open a file. The text editor window shows the contents of the file, with two lines circled and arrows pointing to a text box.

```
insgesamt 24
-rw-r--r-- 1 openfoam users 1435 2005-10-26 21:18 controlDict
-rw-r--r-- 1 openfoam users 1435 2005-10-26 21:18 controlDict.bak
-rw-r--r-- 1 openfoam users 1578 2005-10-26 21:18 fvSchemes
-rw-r--r-- 1 openfoam users 1574 2005-10-26 21:00 fvSchemes.bak
-rw-r--r-- 1 openfoam users 1272 2005-10-26 21:18 fvSolution
-rw-r--r-- 1 openfoam users 1268 2005-10-26 21:00 fvSolution.bak
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityFine/system> kwrite controlDict &
[41] 12732
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityFine/system> 
```

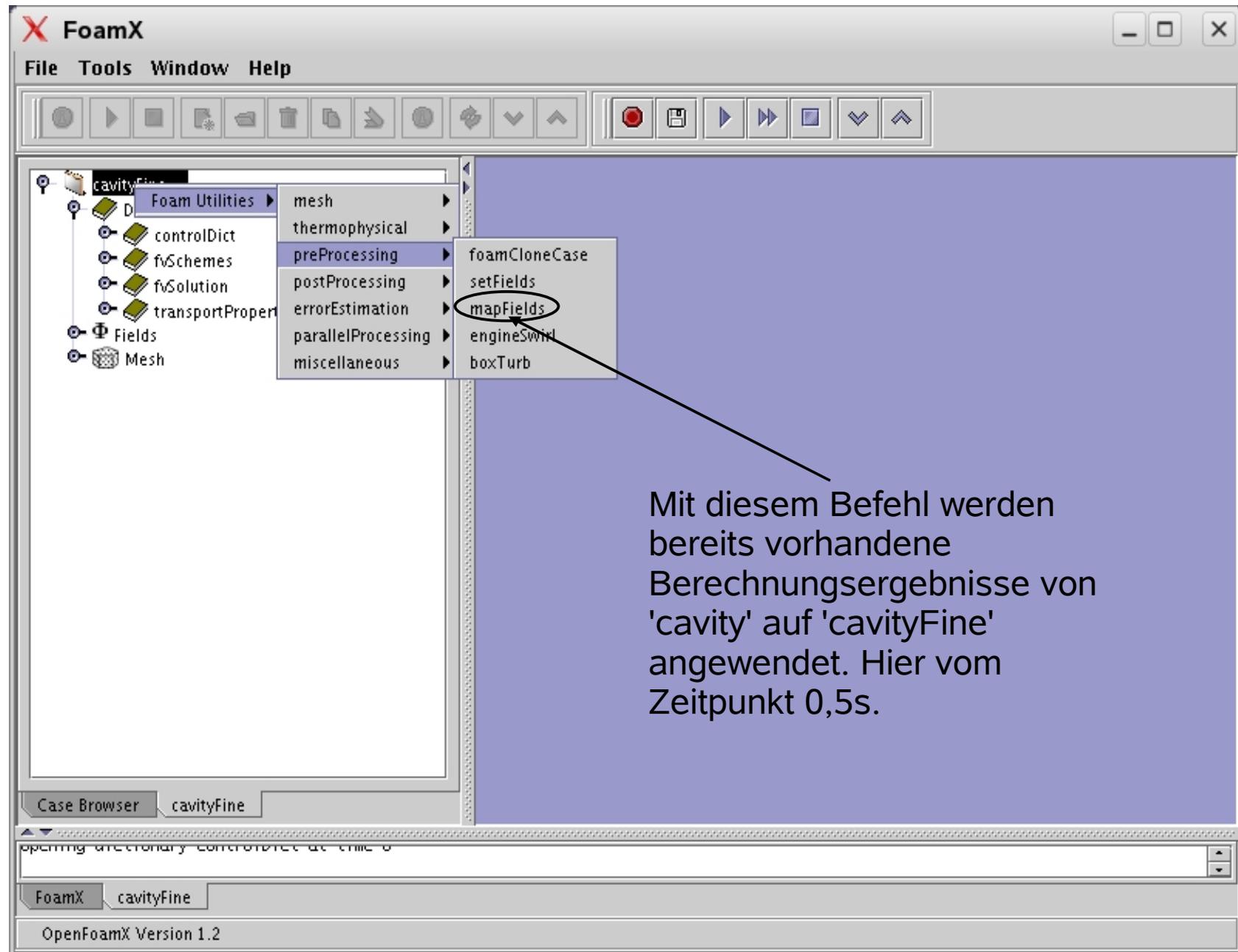
```
startFrom      startTime;
startTime      0.5;
stopAt         endTime;
endTime        0.5;
deltaT         0.005;
writeControl   timeStep;
writeInterval  20;
purgeWrite     0;
writeFormat    ascii;
writePrecision 6;
writeCompression uncompressed;
timeFormat     general;
timePrecision  6;
graphFormat    raw;
runTimeModifiable yes;
```

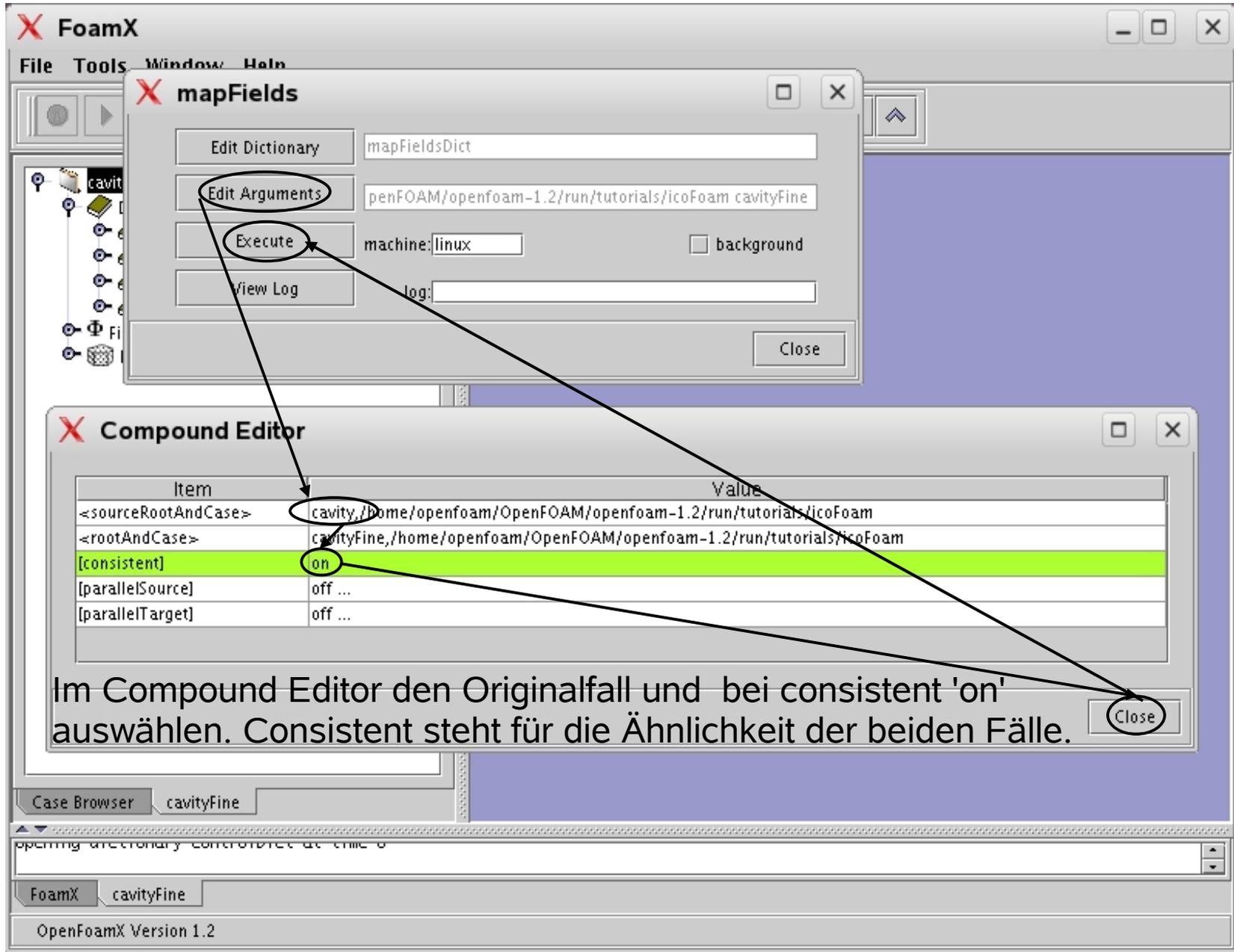
controlDict kann durch die obige Befehlszeile geöffnet und editiert werden. Nehme die Änderungen vor, speichere und schließe die Datei danach.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



OpenFOAM Computational Fluid Dynamics





The screenshot shows the OpenFOAM software interface. A **mapFields** dialog box is open, with the following fields and buttons:

- Buttons: Edit Dictionary, Edit Arguments, Execute, View Log, Close
- mapFieldsDict: mapFieldsDict
- penFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam cavityFine
- machine: linux
- background:
- log: [empty field]

Below the dialog is the **Compound Editor** window, which contains a table with the following data:

Item	Value
<sourceRootAndCase>	cavity,/home/openfoam/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam
<rootAndCase>	cavityFine,/home/openfoam/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam
[consistent]	on
[parallelSource]	off ...
[parallelTarget]	off ...

Arrows from the **mapFields** dialog point to the **Execute** button and the **Close** button in the **Compound Editor**. The **Execute** button in the dialog and the **on** value in the **Compound Editor** are circled. The **Close** button in the **Compound Editor** is also circled.

Im Compound Editor den Originalfall und bei consistent 'on' auswählen. Consistent steht für die Ähnlichkeit der beiden Fälle.

Case Browser cavityFine

opening dictionary controlDict at time 0

FoamX cavityFine

OpenFoamX Version 1.2

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



The image shows two windows from a Linux terminal. The top window is a terminal titled "openfoam@linux:~/.../cavityFine/system - Befehlsfenster - Konsole". It displays the output of the command "ls -l" for the "mapFieldsDict" file, showing permissions "-rw-r--r--", owner "openfoam", group "users", size "1284", date "2005-10-26 21:43", and filename "mapFieldsDict". Below this, the terminal shows the command "kwrite controlDict &" and a subsequent error message: "[1] 12540 openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityFine/system> QGArray::at: Absolute index 8 out of range".

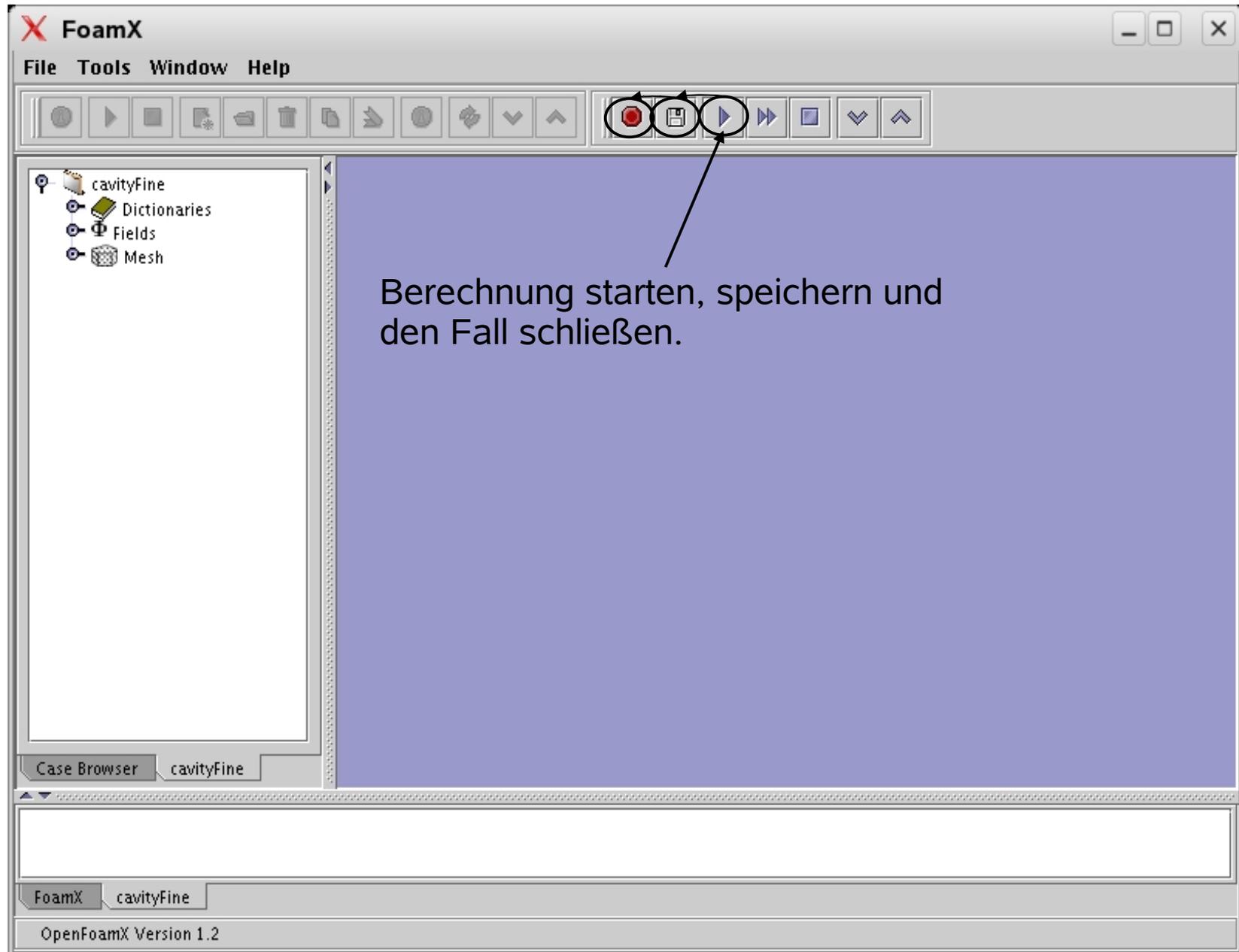
The bottom window is a text editor titled "controlDict [Geändert] - KWrite". It shows the content of the "controlDict" file. The file starts with a comment "// FoamX Case Dictionary." and a "FoamFile" block. The main configuration is as follows:

```
// * * * * *
* * * * //
application      icoFoam;
startFrom        startTime;
startTime        0.5;
stopAt           endTime;
endTime          0.7;
deltaT           0.0025;
writeControl     runtime;
writeInterval    0.1;
purgeWrite       0;
writeFormat      ascii;
```

The values 0.7, 0.0025, runtime, and 0.1 are circled in red. A black arrow points from the terminal window to the "controlDict" file in the editor window.

Öffne die 'controlDict' von cavityFine, ändere die markierten Felder und speichere die Datei danach ab.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



Berechnung starten, speichern und
den Fall schließen.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



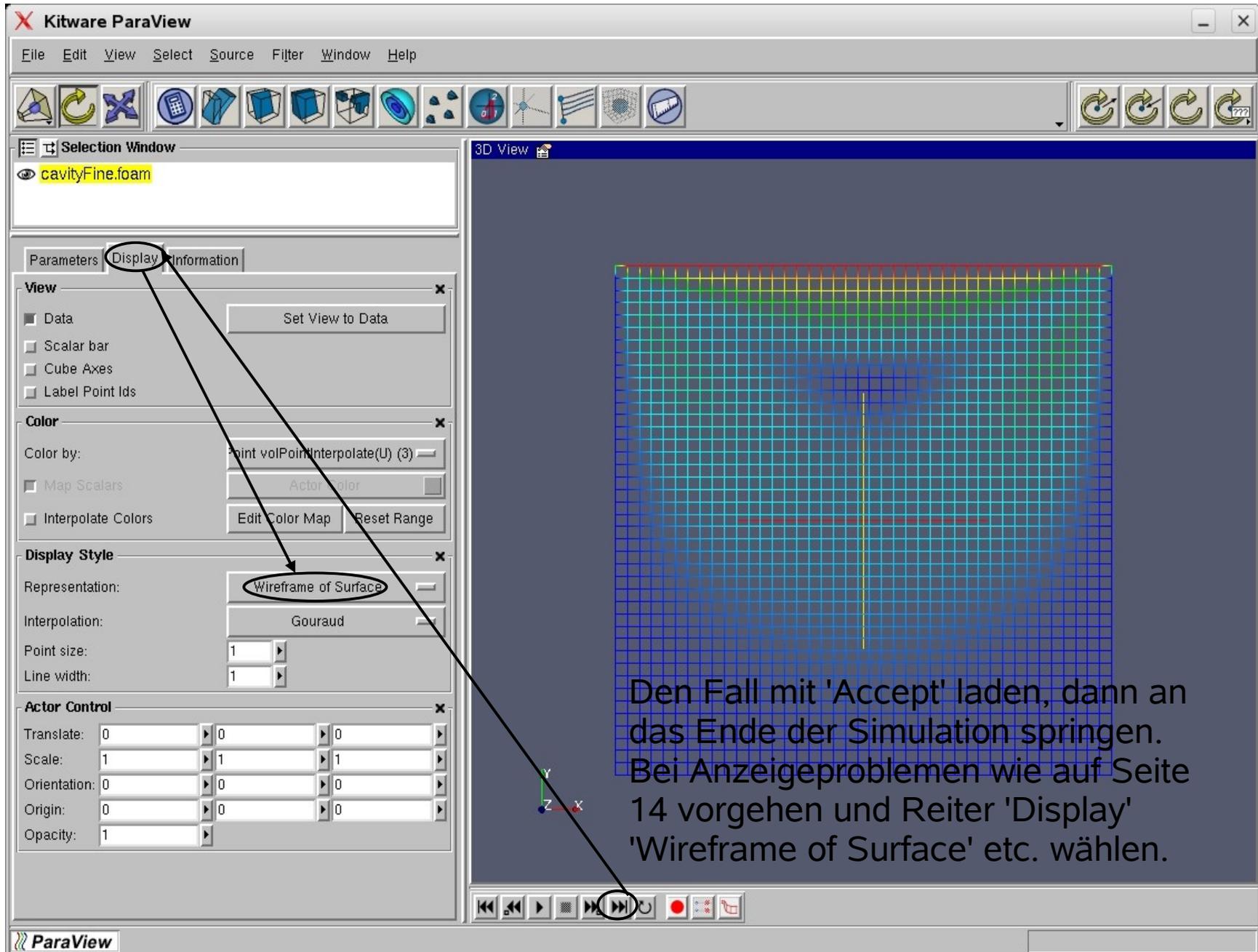
The image shows a terminal window and the ParaView GUI. The terminal window displays the following commands:

```
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam> touch cavityFine/cavityFine.foam
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam> paraview
```

The ParaView window is titled "Kitware ParaView" and shows the "File" menu circled in red. A text box in the 3D View area contains the following text:

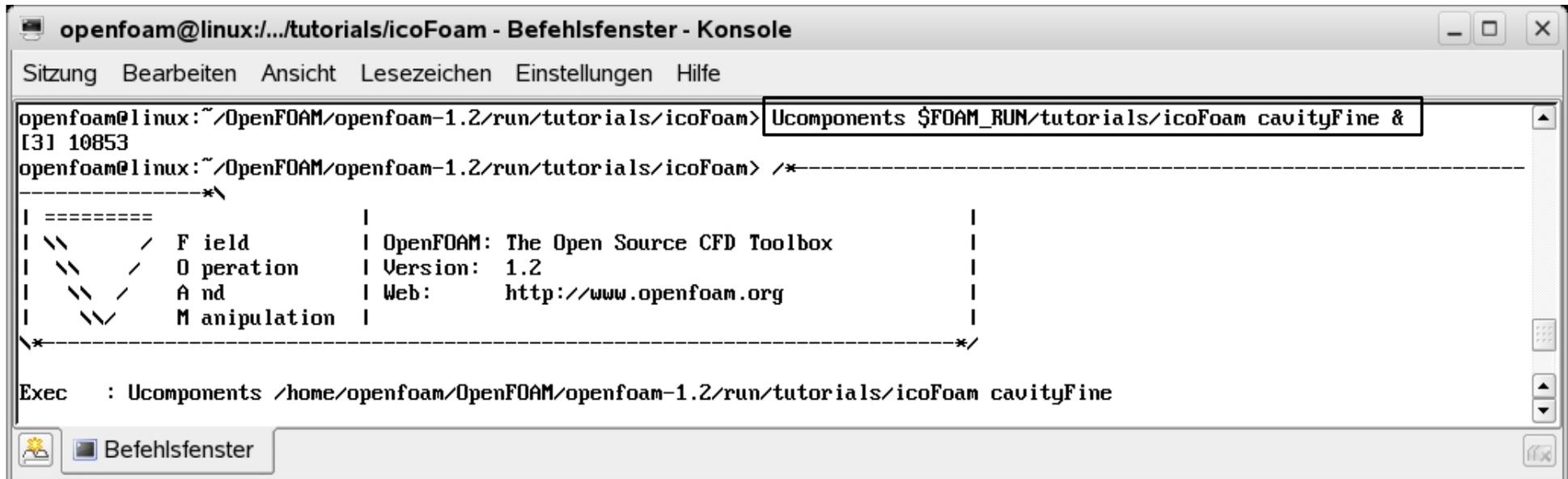
Durch den oben gezeigten Befehl ist es nun möglich über Datei/ Öffnen 'cavityFine' zu laden und nicht wie bisher nur über die Kommandozeile.

An "Open ParaView File" dialog box is open, showing the directory `/home/openfoam/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityFine`. The file `cavityFine.foam` is selected in the file list, and the "Open" button is circled in red. The "File name" field contains `cavityFine.foam` and the "Files of type" dropdown is set to "ParaView Files (*.pvd, *.vtp, *.vtu, *.vti, *.vts,...)".



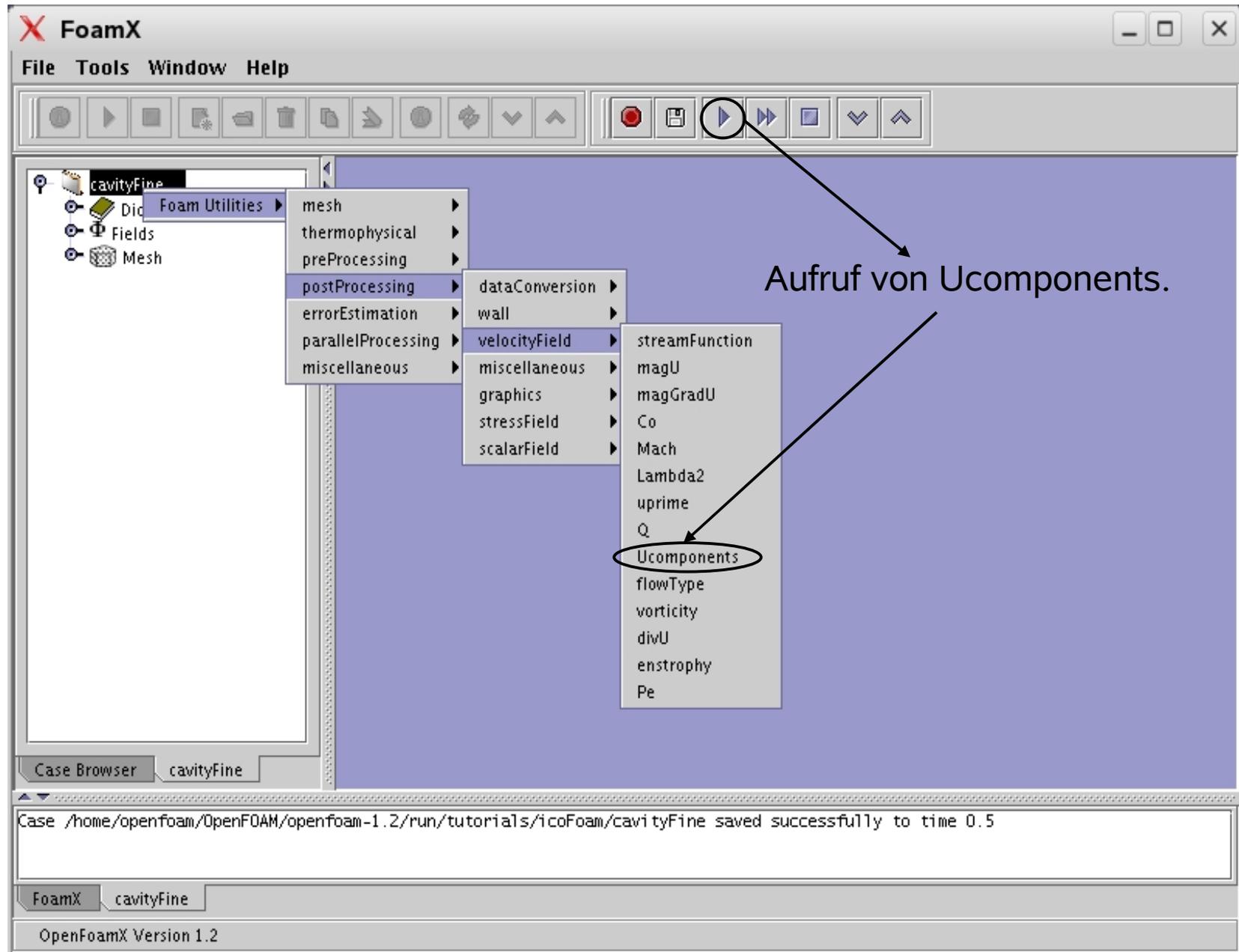
Mit OpenFOAM ist es auch möglich Geschwindigkeiten nur in x, y oder z darzustellen. Der benötigte Befehl 'Ucomponents' oder 'magU' befindet sich in FoamX im Menü postProcessing/ velocityField, das sich durch Rechtsklick auf den Fall öffnet. Für cavityFine benutzen wir den Befehl 'Ucomponents'.

Es ist ebenso möglich diesen Befehl über die Konsole auszuführen, es funktioniert wie unten dargestellt und wird erst nach dem Start der Berechnung ausgeführt, da die Zeitverzeichnisse vorhanden sein müssen.



```
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam> Ucomponents $FOAM_RUN/tutorials/icoFoam cavityFine &
[3] 10853
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam> /*-----*/
/*-----*\
| =====                |
| \ \ / Field             | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox |
| \ \ / O peration        | Version: 1.2                       |
| \ \ / A nd              | Web: http://www.openfoam.org       |
| \ \ / M anipulation     |                |
|*-----*/
Exec : Ucomponents /home/openfoam/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam cavityFine
```

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



The screenshot displays the OpenFOAM FoamX interface. On the left, a tree view shows the project structure for 'cavityFine', including 'Dictionaries', 'Fields', and 'Mesh'. The main window is titled 'Ucomponents' and contains several fields and buttons: 'Edit Dictionary' (set to 'UcomponentsDict'), 'Edit Arguments' (set to 'penFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam cavityFine'), 'Execute' (circled in red), 'View Log', 'machine: linux', 'background' checkbox, and 'log:' field. A 'Close' button is also circled in red. Below the 'Ucomponents' window, a message box titled 'FoamX...' displays the text 'Application Ucomponents (pid 10434) finished successfully' with an 'OK' button circled in red. Arrows indicate the flow from the 'Execute' button to the message box and from the 'Close' button to the 'OK' button. The status bar at the bottom shows 'Case /home/openfoam/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityFine saved successfully to time 0.5' and 'OpenFoamX Version 1.2'.

Ausführen der Berechnung.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



openfoam@linux:~/.../tutorials/icoFoam - Befehlsfenster - Konsole

```
Sitzung Bearbeiten Ansicht Lesezeichen Einstellungen Hilfe
```

```
Usage: paraFoam <root> <case>  
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam> paraFoam $FOAM_RUN/tutorials/icoFoam cavityFine &
```

Kitware ParaView

File Edit View Select Source Filter Window Help

Selection Window
cavityFine.foam

Parameters Display Information

Name: Foam0
Class: vtkFoamReader
Label: cavityFine.foam

Accept Reset Delete

Update GUI
Cache Mesh

Time step: 3

Lower and Upper Times: 2 5

Time
All On All Off

constant
0
0.5
0.6
0.7

Region
All On All Off

Internal Mesh
movingWall
fixedWalls
frontAndBack

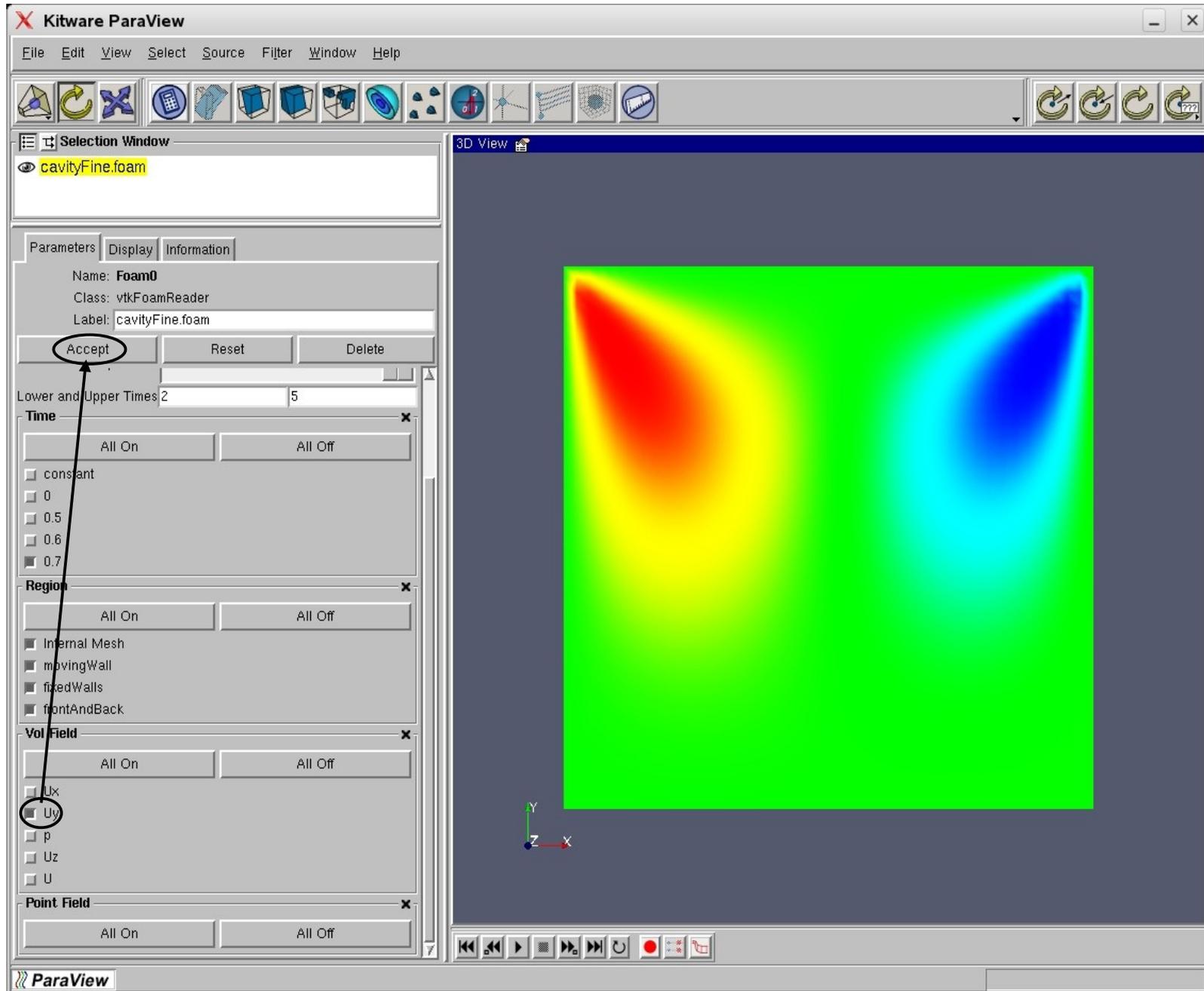
Vol Field
All On All Off

Ux
Uy
p
Uz
U

3D View

Nach dem Laden von cavityFine wollen wir nun die Geschwindigkeit in x-Richtung darstellen.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



Strömungssimulationen und die Darstellung der Ergebnisse als farbige Bilder sind für Vergleiche mit realen Messergebnissen nicht immer von großem Wert, deshalb ist es wichtig Messwerte an einem Punkt oder entlang einer Linie exportieren zu können. Am besten eignet sich dafür das sample-Tool. Das wir auf den nächsten Seiten bedienen lernen.

Zunächst muss eine Datei, `sampleDict`, im 'system'-Verzeichnis erstellt werden, damit FoamX die Messgeometrie und deren Koordinaten verarbeiten und die Messdaten ausgeben kann.

Hierfür kopieren wir einfach eine vorhandene `sampleDict` von `OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/stressedFoam/plateHole/system` nach `OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavity/system` und editieren diese.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



The image shows a terminal window and a text editor window. The terminal window shows the command `kurite sampleDict` being executed. The text editor window shows the contents of the `sampleDict` file, which is a dictionary for sampling data. The file contains the following code:

```
FoamFile
{
  // * * * * *
  // * * * //
  interpolationScheme cellPoint;
  writeFormat raw;
  sampleSets.....
  (
    uniform
    {
      name leftPatch;
      axis y;
      start (0.05 0 0.005);
      end (0.05 0.1 0.005);
      nPoints 41;
    }
  );
  fields.....
  (
    U.component(0)
  );
}
```

Die Datei `sampleDict` wie unten gezeigt editieren und abspeichern. Die Linie geht durch die Mitte der Schmierspalte parallel zur Y-Achse. Die Anzahl der Messwerte ist 41, um auf glatte Werte für die Y-Position zu kommen.

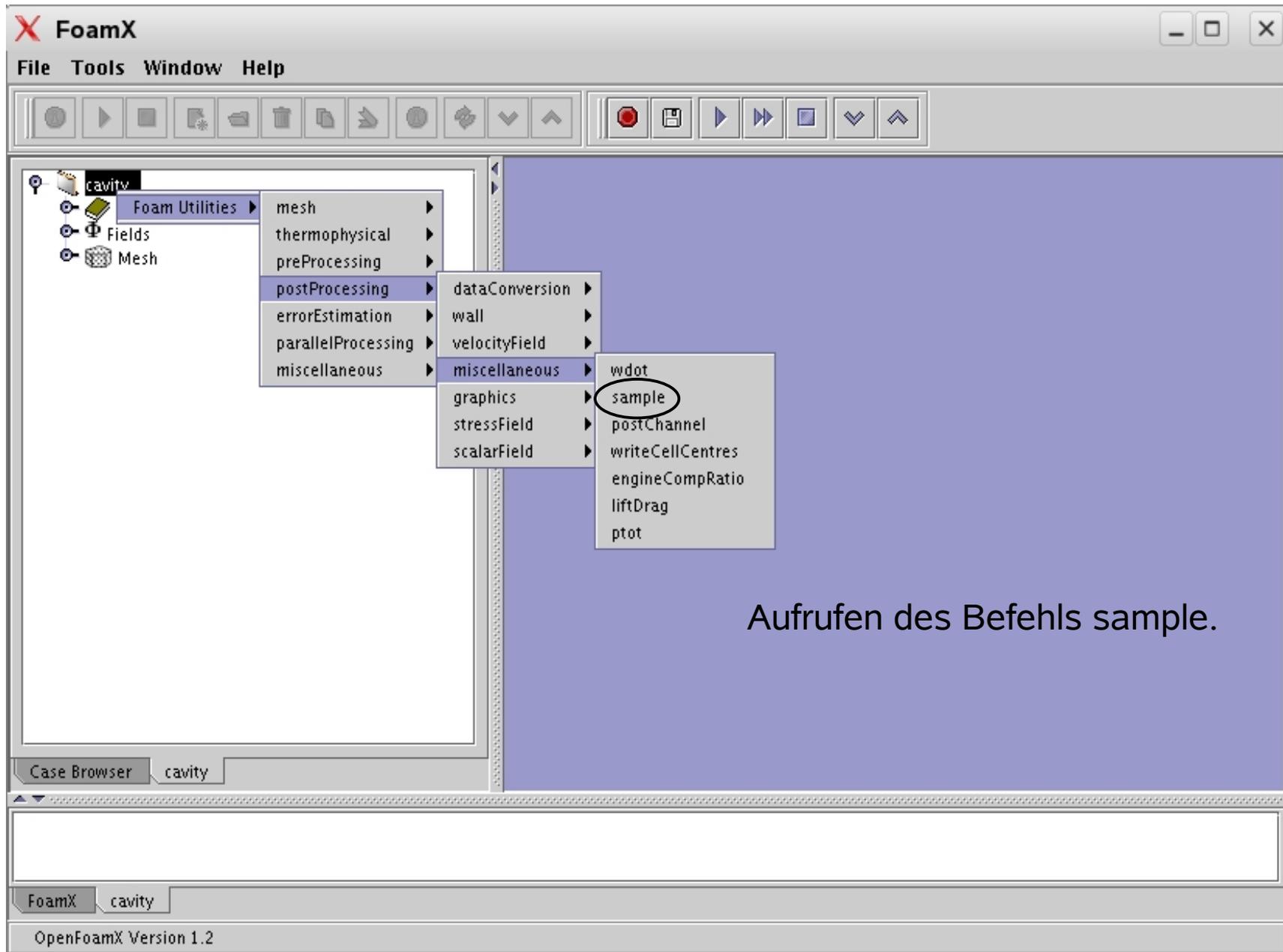
Es wird die Geschwindigkeit in X-Richtung ausgegeben.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



The screenshot shows the OpenFOAM software interface. At the top, a terminal window displays the command `write sampleDict` and the execution of `FoamX &`. Below the terminal is the main FoamX interface, which includes a toolbar with a play button circled in red. A dialog box titled `icoFoam` is open, showing the `Execute` button circled in red. Below this, a message box titled `FoamX...` displays the message `Application icoFoam started with pid 9560` and an `OK` button circled in red. The interface also shows a sidebar with `cavity`, `ictionaries`, `Fields`, and `Mesh` options, and a `Case Browser` at the bottom.

Starten von FoamX und öffnen von cavity. Zur Ausgabe der Messdaten müssen Berechnungsdaten vorliegen.



OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



Die Messdaten werden nur zu den letzten Simulationsdaten ausgegeben.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



The image shows a terminal window and a KWrite text editor. The terminal window displays the command `kwrite leftPatch_U.component\(\0\).xy &` and its output. The KWrite window shows the file `leftPatch_U.component(0).xy` with a list of numerical values. A 'Text ersetzen' dialog box is open, with the search and replacement text both set to a period (`.`). The 'Ersetzen' button is circled, and an arrow points to it from the explanatory text.

Wir öffnen die erstellte Datei in einem Texteditor. Öffnen das Menü 'Text ersetzen' mit Strg + R. Hiermit wird das spätere Importieren in Excel leichter.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



The screenshot shows the OpenOffice Calc interface with a spreadsheet containing the following data:

	A	B	C	D	E
1					
2	Y-Position	U-x			
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					

The 'Textimport - [Pasted Data]' dialog box is open, showing the following settings:

- Import: Zeichensatz: Unicode, Ab Zeile: 1
- Trennoptionen: Getrennt, Tabulator, Komma, Andere, Semikolon, Leerzeichen, Feldtrenner zusammenfassen
- Felder: Spaltentyp: Standard

The data preview table in the dialog shows:

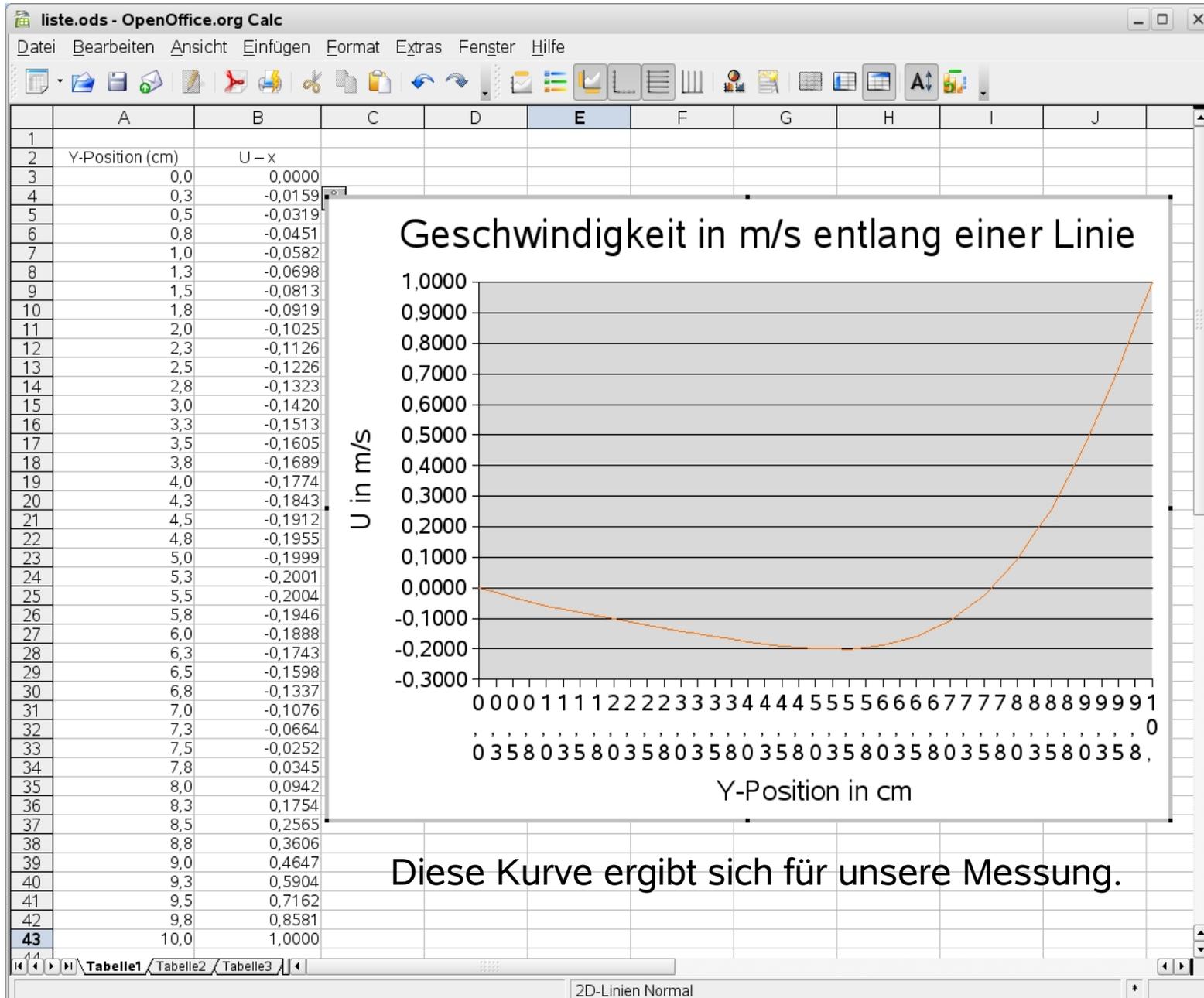
	Standard	Standard
1	0	0
2	0,0025	-0,0159443
3	0,005	-0,0318885
4	0,0075	-0,0450565
5	0,01	-0,0582245
6	0,0125	-0,0697558
7	0,015	-0,0812871
8	0,0175	-0,091888

The 'leftPatch_U.component(0).xy - Kc' window shows the following data:

```
0 0
0,0025 -0,0159443
0,005 -0,0318885
0,0075 -0,0450565
0,01 -0,0582245
0,0125 -0,0697558
```

Unter Linux markieren wir die Daten im Texteditor und ziehen sie in das schon geöffnete OpenOffice Calc Fenster. Unter Windows wird die Datei einfach in Excel über Öffnen mit der Option *Alle Dateien* aufgerufen. In beiden Fällen kommt man zu folgendem Menü.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



Der Fehler in jeder Lösung wird um so größer, je weiter der numerische Weg von der Wirklichkeit entfernt ist. Im bisherigen Beispiel wissen wir, dass die meisten Verwirbelungen in der Nähe der oberen, sich bewegenden Wand befinden, um jedoch den Rechenaufwand gering zu halten, aber trotzdem eine optimale Berechnung zu gewährleisten, wäre eine variierende Maschendichte je nach lokaler Aktivität am besten. Kleine Maschen in den Randbereichen und große in der Mitte.

Im Folgenden schauen wir uns den Fall `cavityGrade` und die `blockMeshDict` an, in der die Bedingungen für die Netzgenerierung stehen.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics

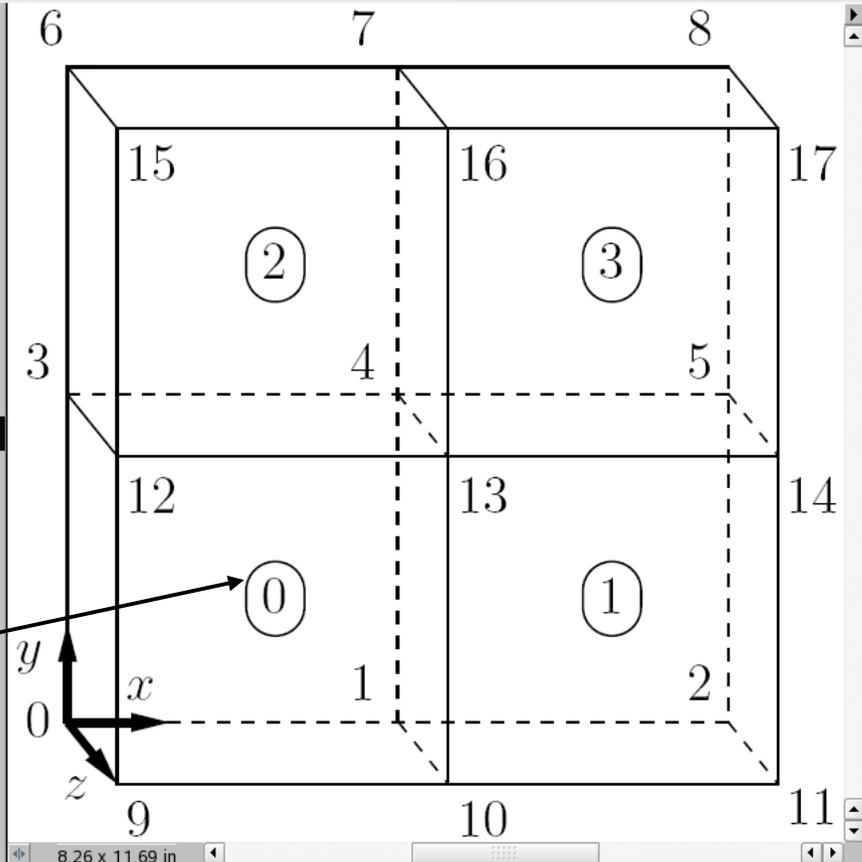


```
openfoam@linux:~/.../constant/polyMesh - Befehlsfenster - Konsole
Sitzung Bearbeiten Ansicht Lesezeichen Einstellungen Hilfe
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityGrade> cd system
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityGrade/system> cd ..
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityGrade> cd constant/
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityGrade/constant> cd polyMesh/
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityGrade/constant/polyMesh> ll
insgesamt 84
-rw-r----- 1 openfoam users 2021 2005-10-11 17:54 blockMeshDict
-rw-r----- 1 openfoam users 1518 2005-10-18 16:14 boundary
-rw-r----- 1 openfoam users 1241 2005-10-13 15:09 boundary.bak
-rw-r----- 1 openfoam users 12186 2005-10-13 15:09 cells
-rw-r----- 1 openfoam users 31341 2005-10-13 15:09 faces
-rw-r----- 1 openfoam users 27913 2005-10-13 15:09 points
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityGrade/constant/polyMesh> kwrite blockMeshDict &
```

```
Datei Bearbeiten Ansicht Lesezeichen Extras Einstellungen Hilfe
vertices.....
(
  (0 0 0)
  (0.5 0 0)
  (1 0 0)
  (0 0.5 0)
  (0.5 0.5 0)
  (1 0.5 0)
  (0 1 0)
  (0.5 1 0)
  (1 1 0)
  (0 0 0.1)
  (0.5 0 0.1)
  (1 0 0.1)
  (0 0.5 0.1)
  (0.5 0.5 0.1)
  (1 0.5 0.1)
  (0 1 0.1)
  (0.5 1 0.1)
  (1 1 0.1)
);
blocks.....
(
  hex (0 1 4 3 9 10 13 12) (10 10 1) simpleGrading (2 2 1)
  hex (1 2 5 4 10 11 14 13) (10 10 1) simpleGrading (0.5 2 1)
  hex (3 4 7 6 12 13 16 15) (10 10 1) simpleGrading (2 0.5 1)
  hex (4 5 8 7 13 14 17 16) (10 10 1) simpleGrading (0.5 0.5 1)
```

Das bisherige Netz wird in 4
Würfel aufgeteilt, um die
variierende Vernetzung
anwenden zu können.

Hiermit wird die variierende
Vernetzung bestimmt.



OpenFOAM Computational Fluid Dynamics

openfoam@linux:~ - Befehlsfenster - Konsole

```
Sitzung Bearbeiten Ansicht Lesezeichen Einstellungen Hilfe
openfoam@linux:~$ blockMesh $FOAM_RUN/tutorials/icoFoam cavityGrade &
[3] 10179
openfoam@linux:~$ /*-----*\
|=====|
| \ \ / Field | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox |
| \ \ / Operation | Version: 1.2 |
| \ \ / And | Web: http://www.openfoam.org |
| \ \ / Manipulation |
|=====|
Befehlsfenster
```

openfoam@linux:~\$ paraFoam \$FOAM_RUN/tutorials/icoFoam cavityGrade &
[2] 10501
[1] Exit 127 paraView \$FOAM_RUN/tutorials/icoFoam cavityGrade
openfoam@linux:~\$ /*-----*\
|=====|
\ \ / Field	OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox
\ \ / Operation	Version: 1.2
\ \ / And	Web: http://www.openfoam.org
=====	
Befehlsfenster

Parameters | Display | Information

View

- Data Set View to Data
- Scalar bar
- Cube Axes
- Label Point Ids

Color

Color by: Property

- Map Scalars Actor Color
- Interpolate Colors Edit Color Map Reset Range

Display Style

Representation: Wireframe of Surface

Interpolation: Gouraud

Point size: 1

Line width: 1

Actor Control

Translate: 0 0 0

Scale: 1 1 1

Orientation: 0 0 0

Origin: 0 0 0

Opacity: 1

Den Fall mit 'Accept' laden, zum Reiter 'Display' wechseln und 'Wireframe of Surface' wählen.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



```
openfoam@linux:~/.../tutorials/icoFoam - Befehlsfenster - Konsole
Sitzung Bearbeiten Ansicht Lesezeichen Einstellungen Hilfe

openfoam@linux:~> cd $FOAM_RUN/tutorials/icoFoam
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam> mapFields . cavityFine . cavityGrade -consistent

/*-----*/
|=====|
|  \  /  | F ield      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox |
|  \  /  | O peration  | Version: 1.2                          |
|  \  /  | A nd        | Web:      http://www.openfoam.org   |
|  \  /  | M anipulation|-----*/

☀ Befehlsfenster
```

Nach dem paraView geschlossen wurde, wenden wir die vorhandenen Ergebnisse von cavityFine auf cavityGrade an. Dies wird durch den obigen Befehl ausgeführt. Danach vernetzen wir den Block, starten und speichern die Berechnung in FoamX.

```
openfoam@linux:~/.../tutorials/icoFoam - Befehlsfenster - Konsole
Sitzung Bearbeiten Ansicht Lesezeichen Einstellungen Hilfe

openfoam@linux:~> blockMesh $FOAM_RUN/tutorials/icoFoam cavityGrade &
[3] 10179
openfoam@linux:~> /*-----*/

|=====|
|  \  /  | F ield      | OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox |
|  \  /  | O peration  | Version: 1.2                          |
|  \  /  | A nd        | Web:      http://www.openfoam.org   |
|  \  /  | M anipulation|-----*/

☀ Befehlsfenster
```

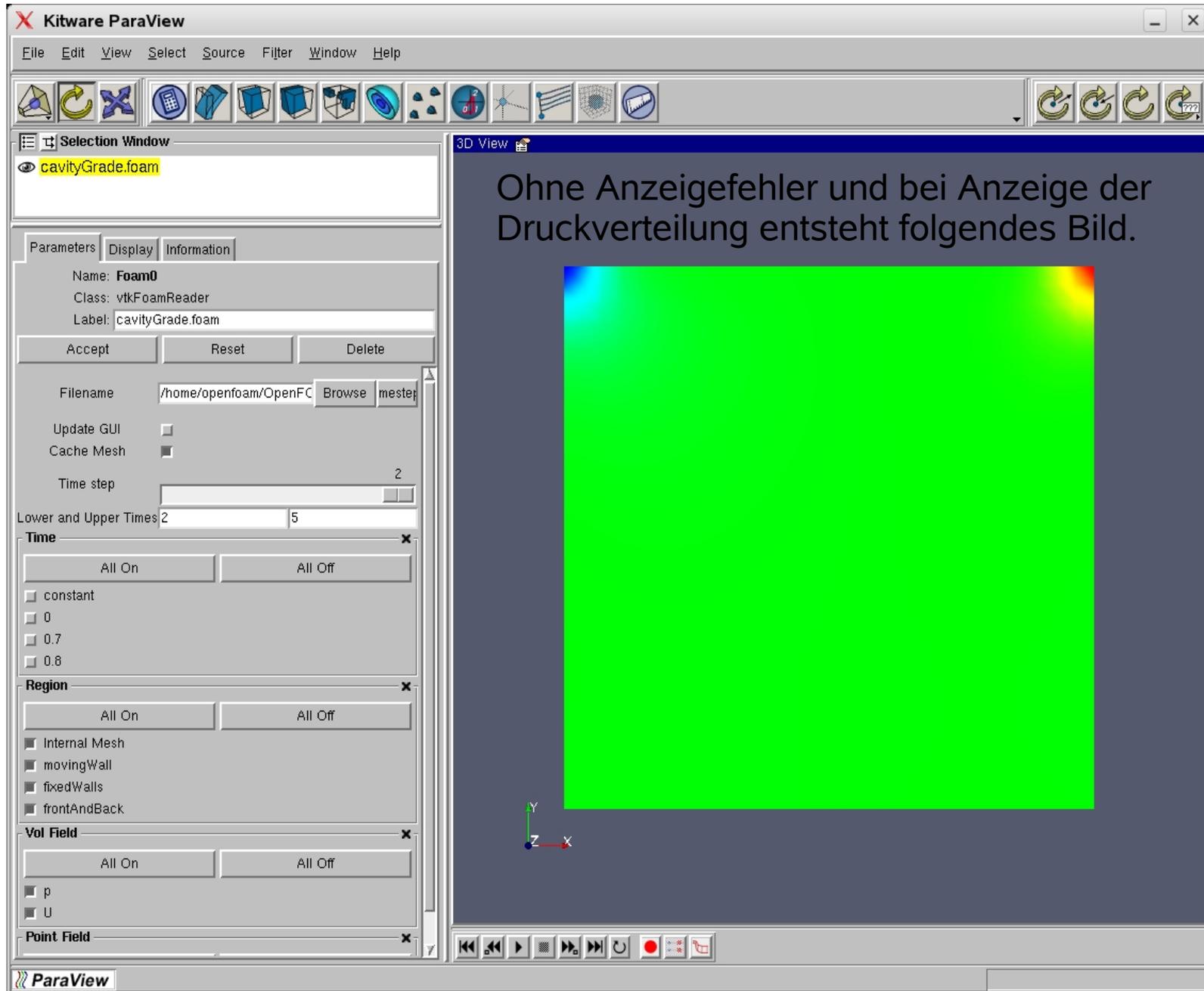
OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



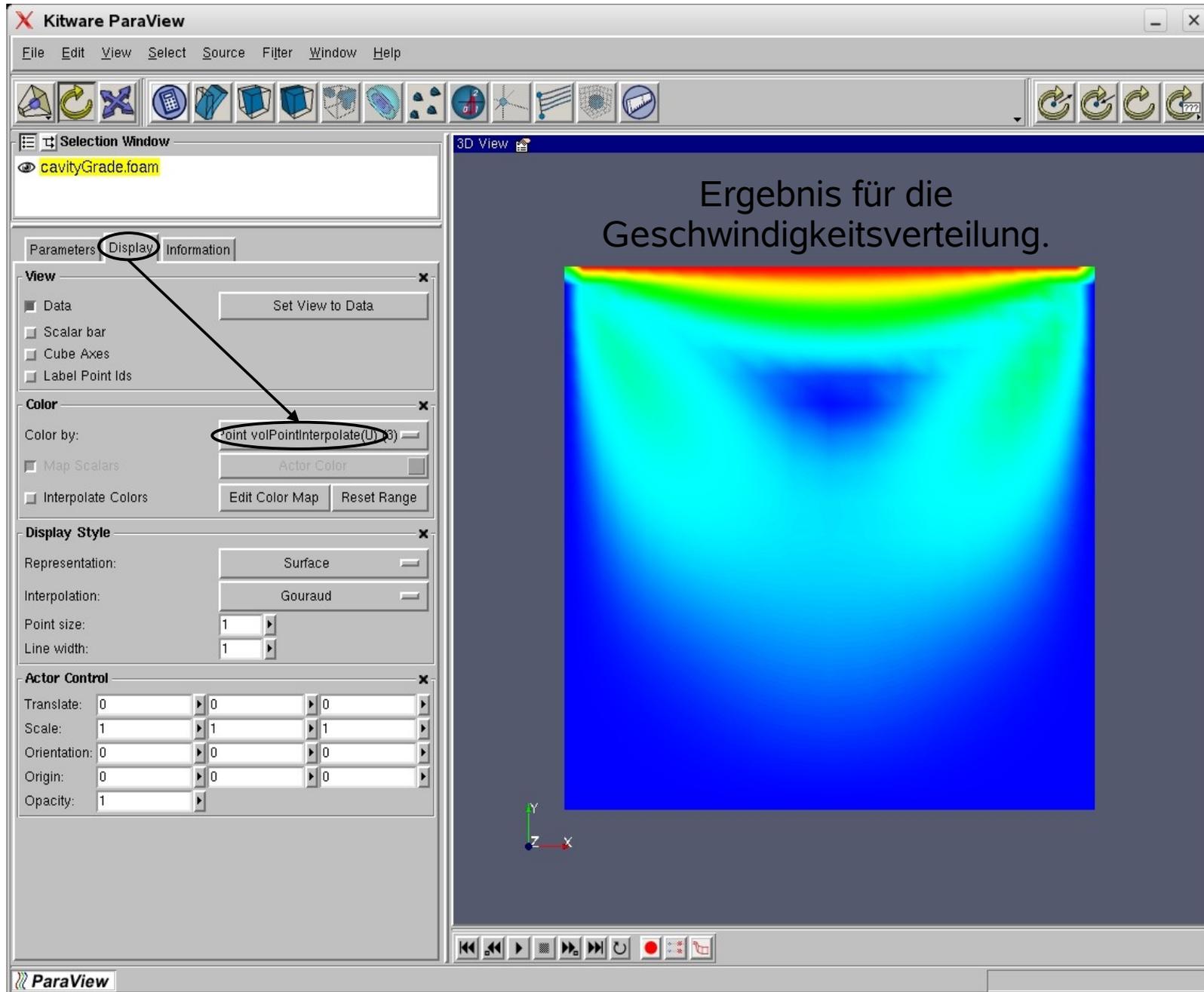
The image shows a terminal window and the ParaView GUI. The terminal window displays the command `paraFoam $FOAM_RUN/tutorials/icoFoam cavityGrade &` and the output `[5] 13765 [4] Exit 1 paraFoam cavityGrade`. The ParaView GUI shows the 'cavityGrade.foam' case loaded. The 'Accept' button is highlighted with a red circle. The 3D view shows a color-coded simulation result. A red circle highlights the 'Next' button in the playback controls at the bottom of the 3D view.

Den Fall mit 'Accept' laden und zum Ende der Simulation springen. Im Falle eines Anzeigefehlers wie zuvor auf Seite 15 verfahren.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



```
openfoam@linux:~/...ityHighRe/constant - Befehlsfenster - Konsole
Sitzung Bearbeiten Ansicht Lesezeichen Einstellungen Hilfe

openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam> cp -r cavity cavityHighRe &
[3] 14082
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam> cd cavityHighRe
[3]+ Done cp -r cavity cavityHighRe (wd: ~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam)
(wd now: ~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityHighRe)
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityHighRe> cd constant/
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityHighRe/constant> kwrite transportProperties &
[3] 14375
```

```
+ / *-----*
|-----* \
// FoamX Case Dictionary.
FoamFile
+ [
// * * * * *
* * * * //
nu nu [0 2 -1 0 0 0 0] 0.001
//
*****
*** //
```

Durch die niedrige Reynoldszahl wurde eine stabile Lösung nach kurzer Zeit gefunden. Jetzt erzeugen wir den Fall 'cavityHighRe' mit dem obigen Befehl und öffnen von diesem die Datei 'transportProperties', in der die Reynoldszahl definiert ist.

In dieser Datei erhöhen wir die Reynoldszahl der Flüssigkeit von 10 auf 50. Für die kinematische Viskosität bedeutet dies eine Verringerung um den Faktor zehn auf $1 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



```
openfoam@linux:~/...avityHighRe/system - Befehlsfenster - Konsole
Sitzung Bearbeiten Ansicht Lesezeichen Einstellungen Hilfe
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityHighRe/system>
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityHighRe/system>
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityHighRe/system> kwrite controlDict &
[2] 13475
[1] Done                kwrite controlDict
openfoam@linux:~/OpenFOAM/openfoam-1.2/run/tutorials/icoFoam/cavityHighRe/system> QQArray::at: Absolute
index 8 out of range
[]
```

```
// FoamX Case Dictionary.

FoamFile
{
  // * * * * *
  * * * * * //
  application      icoFoam;
  startFrom        latestTime;
  startTime        0;
  stopAt           endTime;
  endTime          2;
  deltaT           0.005;
  writeControl     timeStep;
  writeInterval    20;
  purgeWrite       0;
  writeFormat      ascii;
}
```

Durch die höhere Reynoldszahl wird ein stabiler Zustand erst später erreicht, um dies zu beschleunigen wird startFrom auf latestTime gestellt, d.h. die Berechnung beginnt dort wo die andere aufgehört hat.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



openfoam@linux:~ - Befehlsfenster - Konsole

```
openfoam@linux:~> paraFoam $FOAM_RUN/tutorials/icoFoam cavityHighRe &
[3] 17021
openfoam@linux:~> /-----*
```

Kitware ParaView

File Edit View Select Source Filter Window Help

Selection Window

- cavityHighRe.foam

Parameters Display Information

Name: Foam0
Class: vtkFoamReader
Label: cavityHighRe.foam

Accept Reset Delete

Filename: /home/openfoam/OpenFC Browse mestej

Update GUI
Cache Mesh

Time step: 20

Lower and Upper Times: 2 5

Time

All On All Off

- constant
- 0
- ...
- 1.6
- 1.7
- 1.8
- 1.9
- 2

Region

All On All Off

- Internal Mesh
- movingWall
- fixedWalls
- frontAndBack

Vol Field

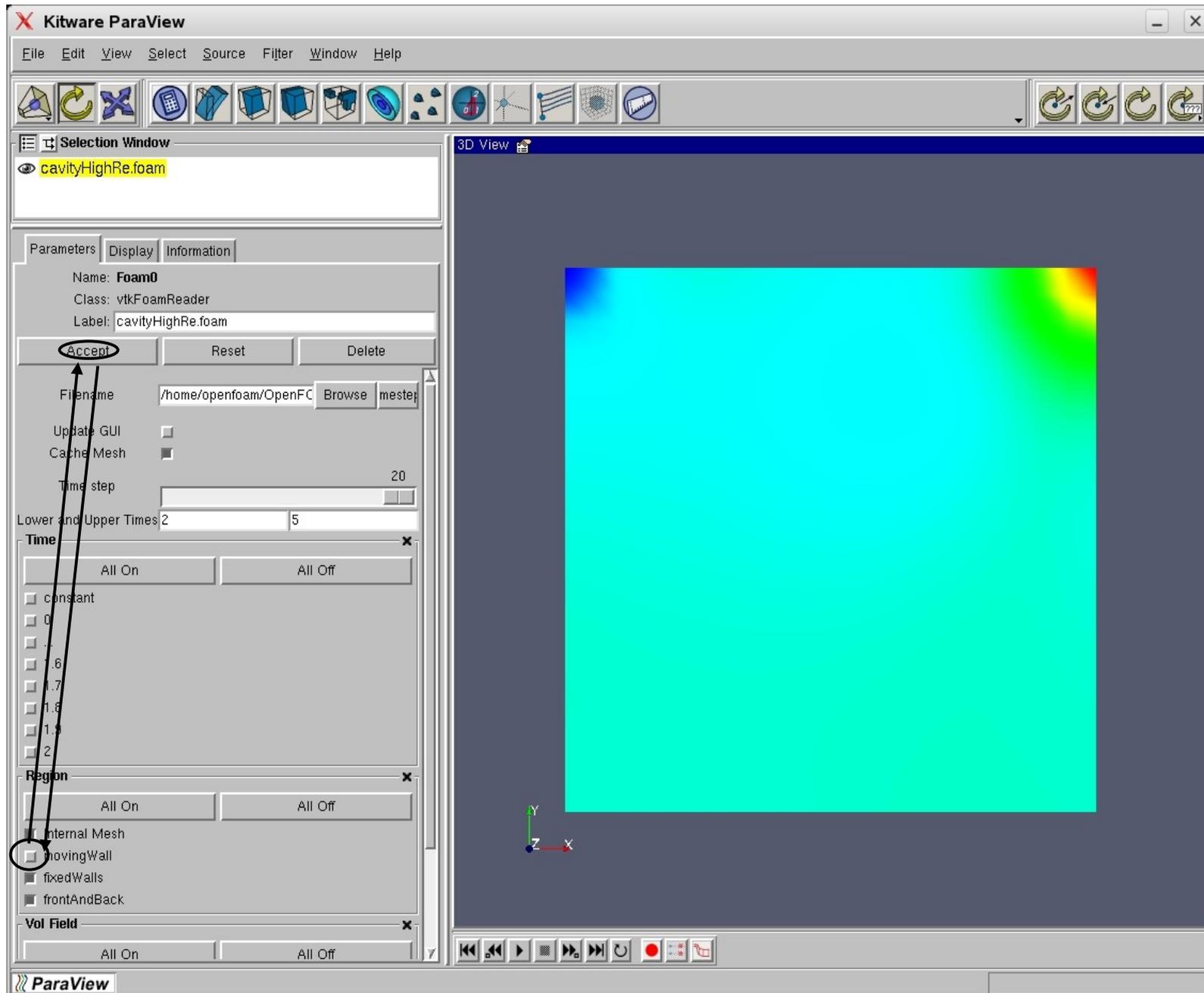
All On All Off

3D View

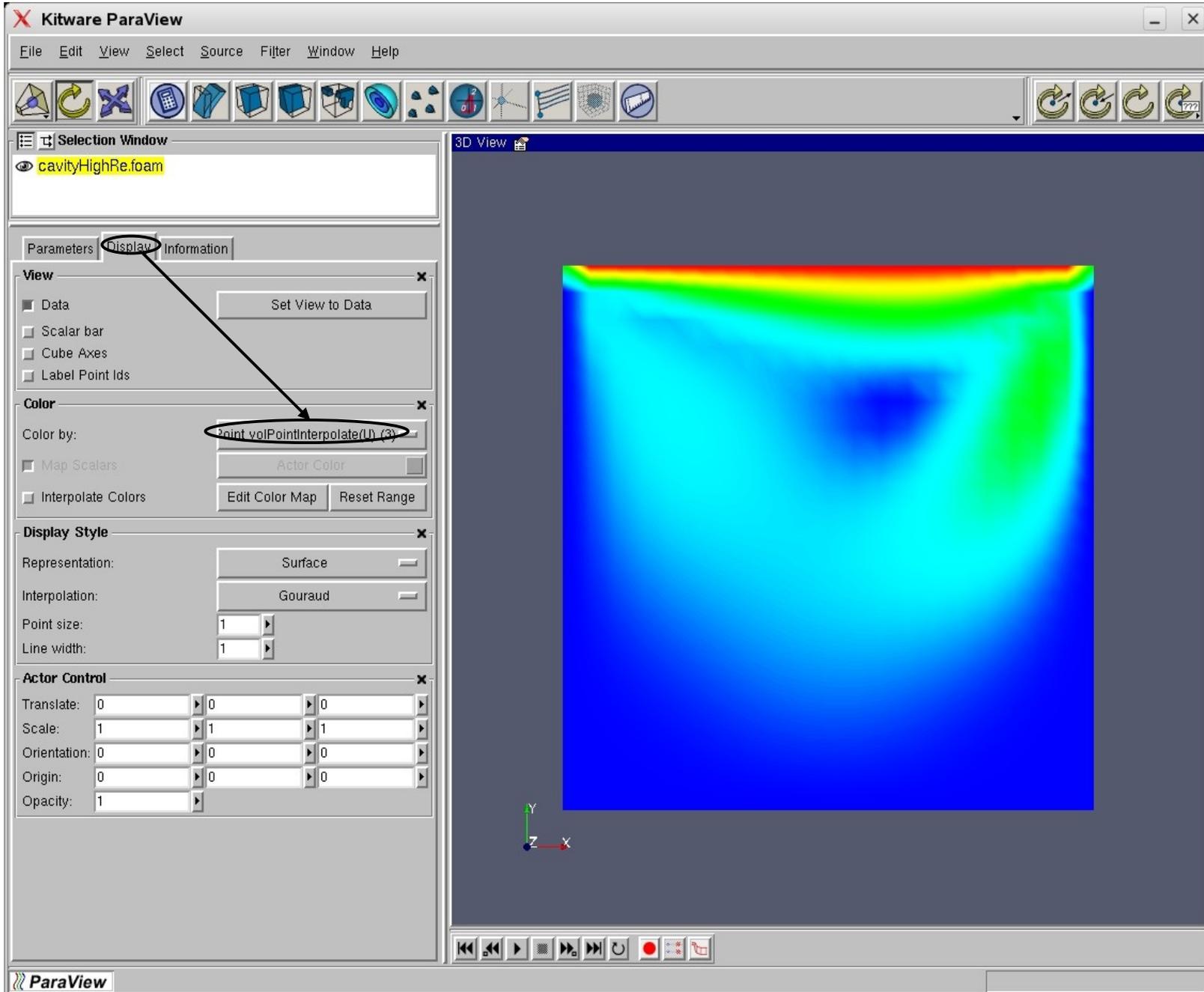
cavityHighRe mit dem obigen Befehl in ParaView öffnen, mit 'Accept' bestätigen und zum Ende der Simulation springen. Beim wahrscheinlichen Anzeigefehler wie zuvor auf Seite 15 vorgehen.

ParaView

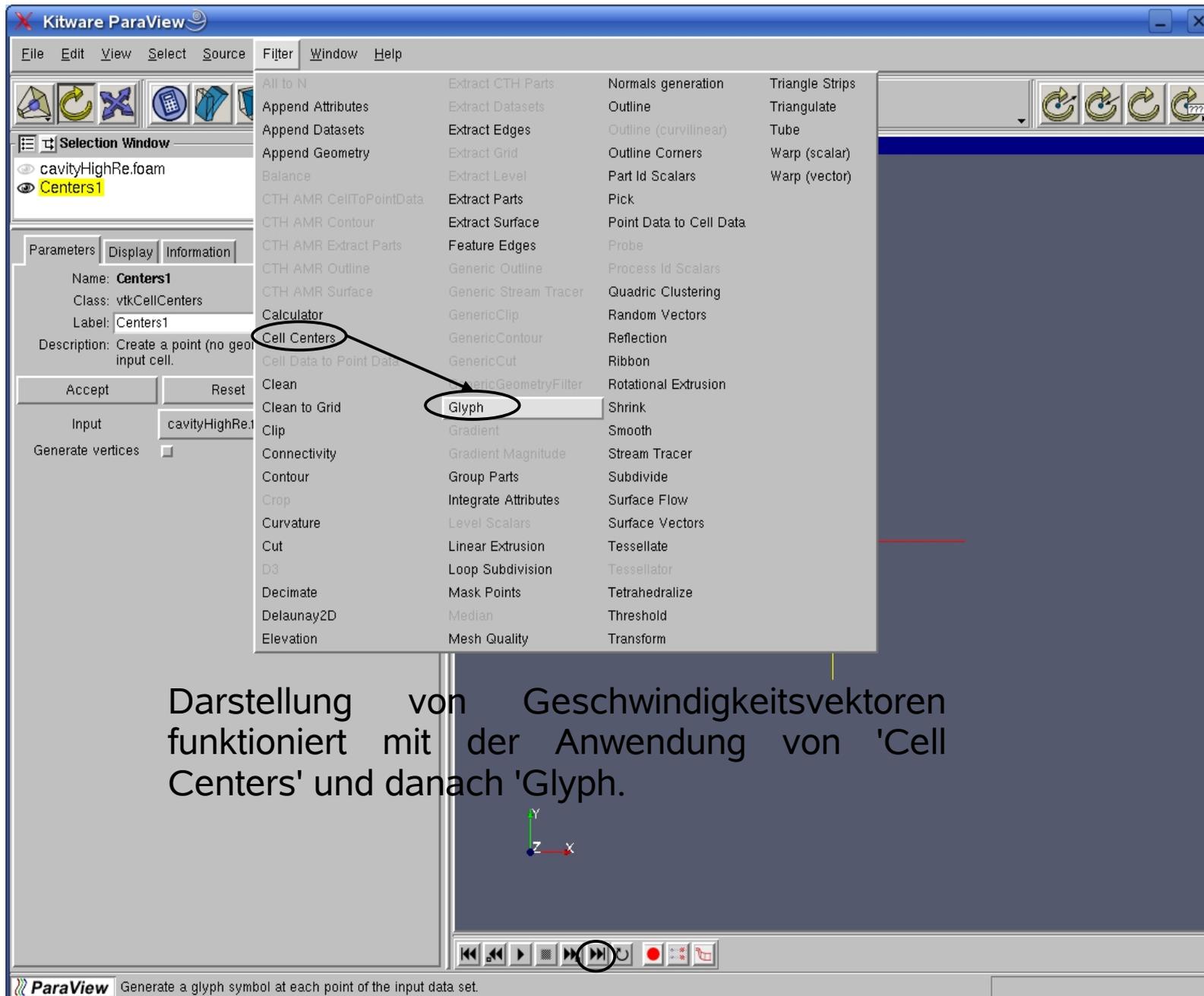
OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



OpenFOAM Computational Fluid Dynamics

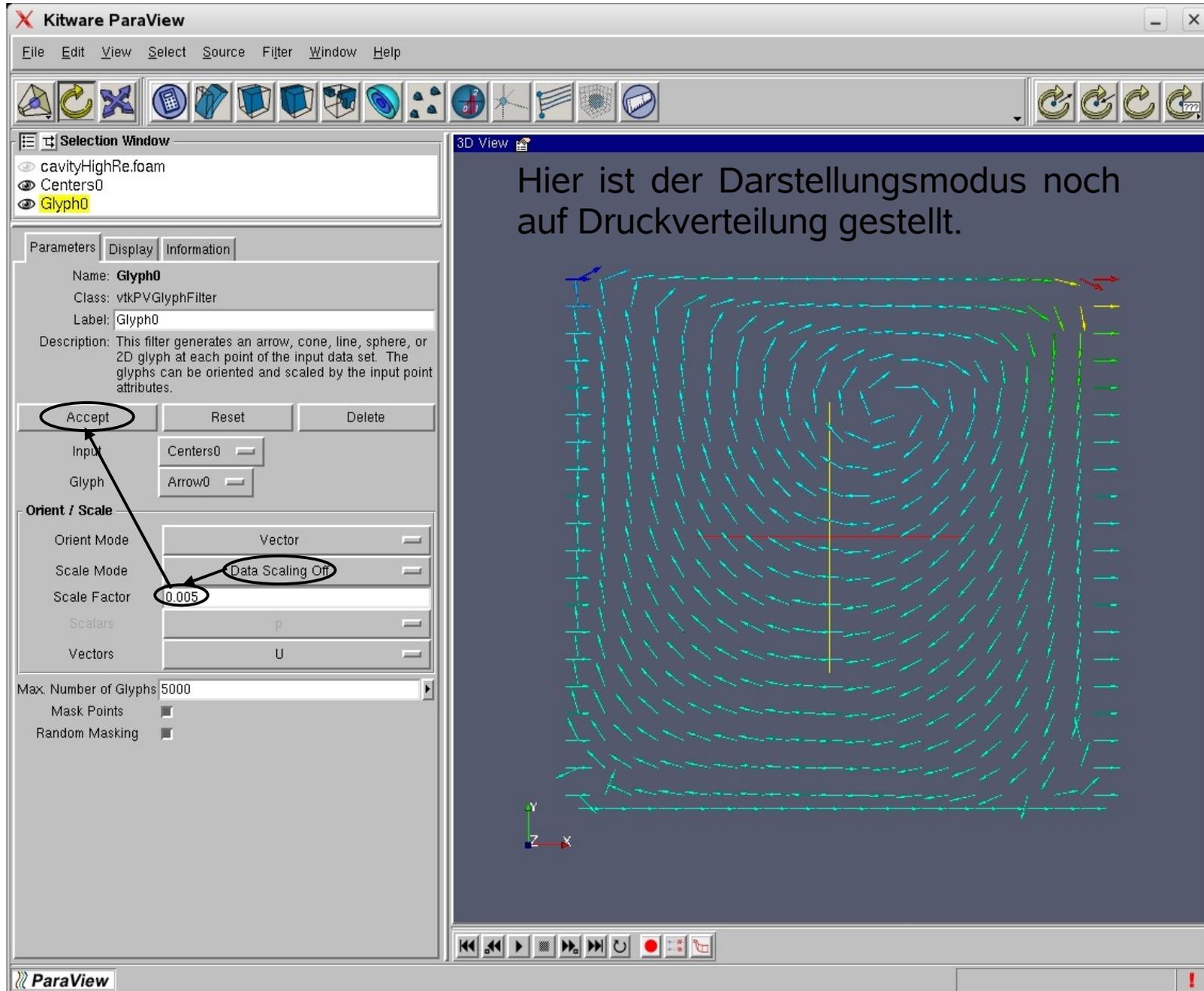


OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



Darstellung von Geschwindigkeitsvektoren funktioniert mit der Anwendung von 'Cell Centers' und danach 'Glyph'.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics

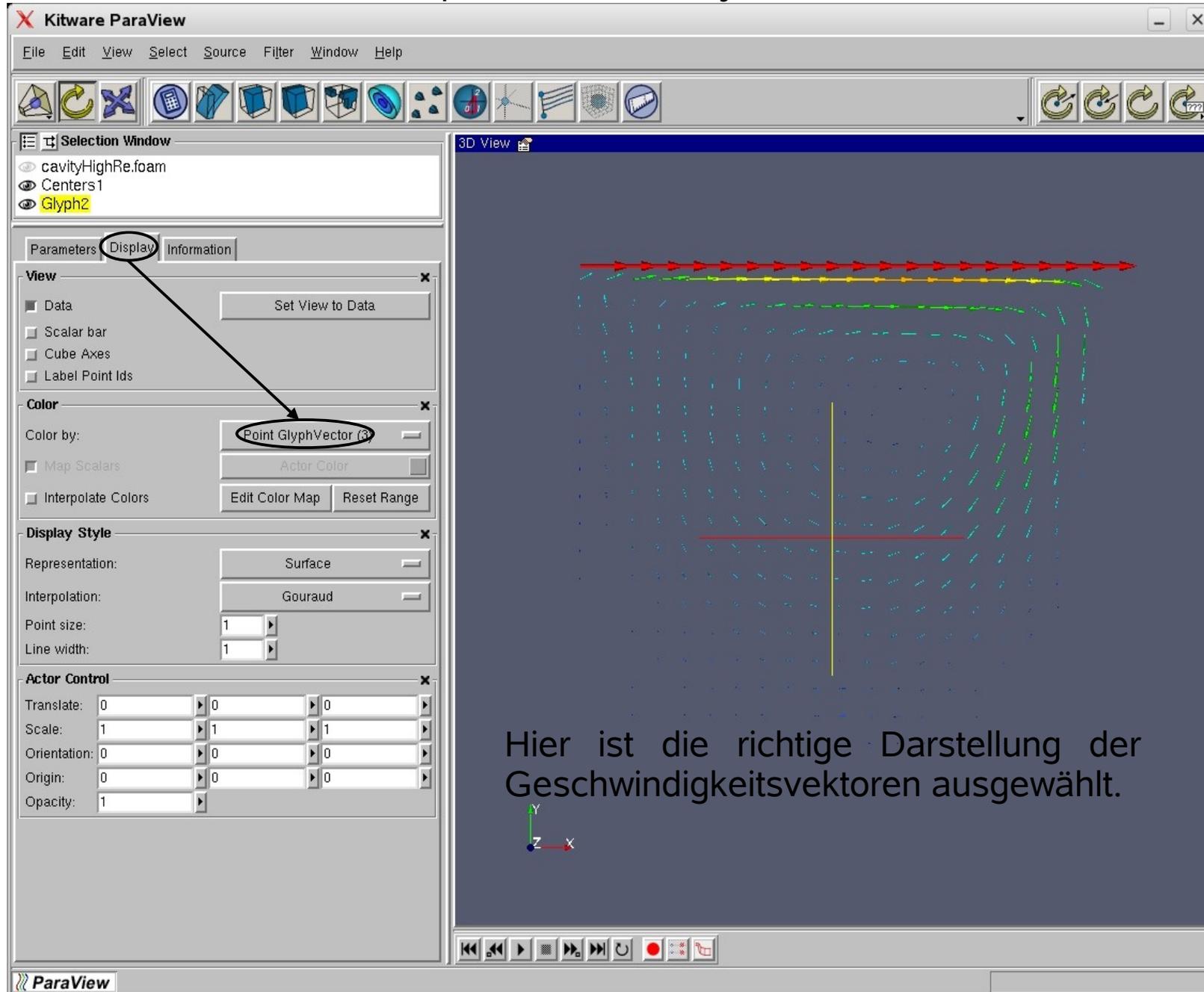


The image shows a screenshot of the Kitware ParaView software interface. The main window is titled "3D View" and displays a visualization of a flow field. The flow field is represented by a series of cyan streamlines that form a complex, swirling pattern within a square domain. A red horizontal line and a yellow vertical line are overlaid on the visualization. The "Glyph0" filter is selected in the "Selection Window" on the left. The "Parameters" panel for "Glyph0" is visible, showing the following settings:

- Name: Glyph0
- Class: vtkPVGlyphFilter
- Label: Glyph0
- Description: This filter generates an arrow, cone, line, sphere, or 2D glyph at each point of the input data set. The glyphs can be oriented and scaled by the input point attributes.
- Buttons: Accept, Reset, Delete
- Input: Centers0
- Glyph: Arrow0
- Orient / Scale:
 - Orient Mode: Vector
 - Scale Mode: Data Scaling Off
 - Scale Factor: 0.005
 - Scalars: p
 - Vectors: U
- Max. Number of Glyphs: 5000
- Mask Points:
- Random Masking:

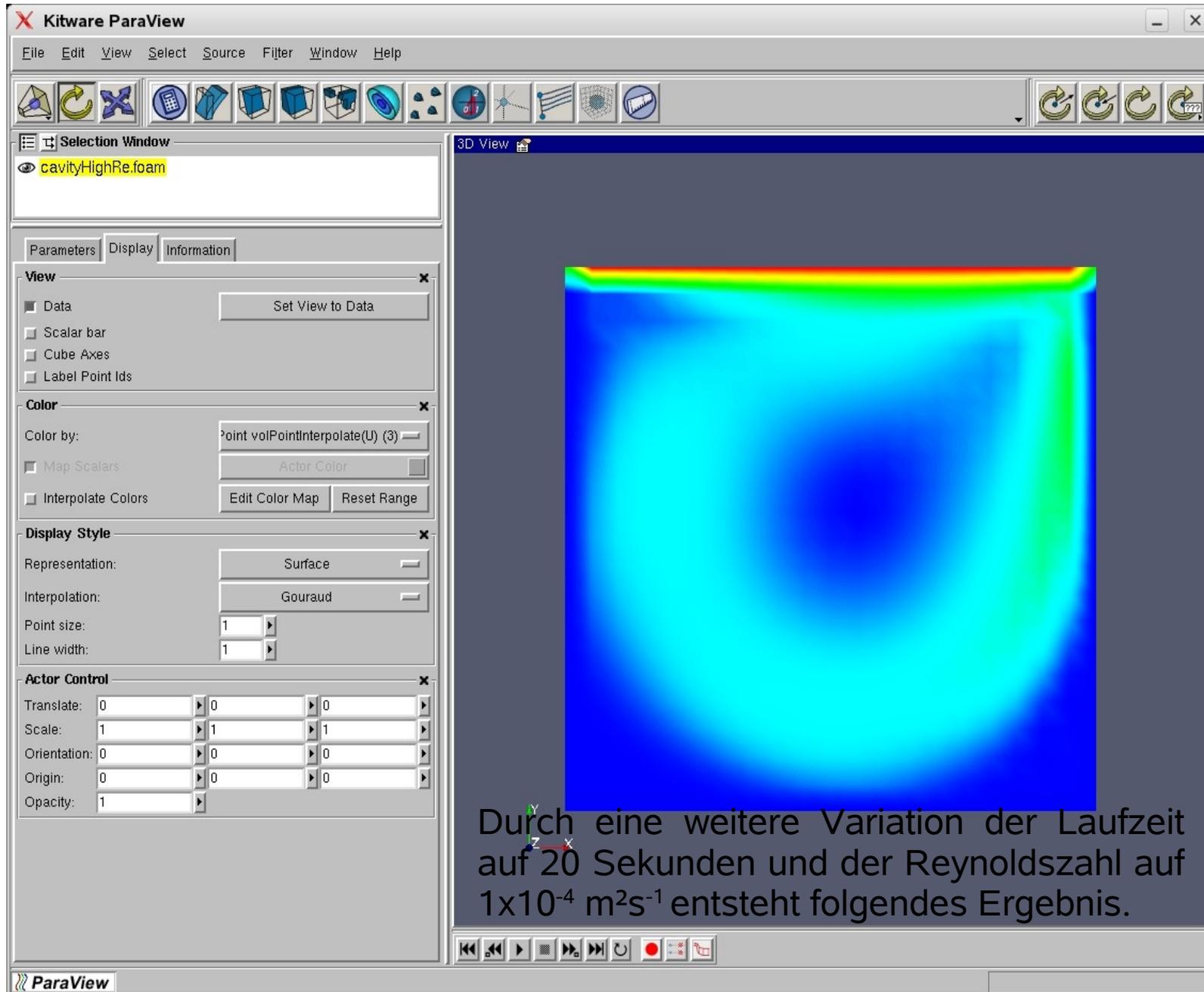
The "Accept" button and the "Scale Factor" field (0.005) are circled in red. The "Data Scaling Off" option is also circled in red. The "3D View" window contains the text: "Hier ist der Darstellungsmodus noch auf Druckverteilung gestellt."

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



Hier ist die richtige Darstellung der Geschwindigkeitsvektoren ausgewählt.

OpenFOAM Computational Fluid Dynamics



OpenFOAM
Computational Fluid Dynamics

