

LESEPROBE • MASTERARBEIT

Kapitel 1

Modellbildung mit dem VOF-Modell

Numerische Strömungssimulation der
Verdampfung von CO₂ in einem vertikalen Rohr mit
Ansys® Fluent®

Kevin Nekkah

Masterstudiengang Produktentwicklung und Simulation

Fachhochschule Dortmund, 2023

Auszug aus dem Anhang „Modellbildung und Algorithmen“, Seiten 1 bis 20

www.kevinnekkah.com

1 Modellbildung mit dem VOF-Modell

1.1 Multiphase Models

1.1.1 Models

Model (Setup → Models → Multiphase → Models)

Beschreibung	Auswahl des Mehrphasenmodells.
Einstellung	<i>Volume of Fluid</i>
Begründung	Beschreibt den Prozess mit hoher Genauigkeit, erforderliche Parameter sind weitgehend bekannt.

[1] (Kap. 44.4)

Level Set (Setup → Models → Multiphase → Models → Coupled Level Set + VOF)

Beschreibung	Die <i>Level-Set</i> -Methode ist ein Verfahren zur Berechnung von Zweiphasenströmungen mit topologisch komplexen Grenzflächen. Sie erlaubt eine genaue Abschätzung der Grenzflächeneigenschaften wie Krümmung und Oberflächenspannung.
Einstellung	Nicht aktiviert
Begründung	Unterstützt keinen Massentransfer zwischen den einzelnen Phasen.

[1] (Kap. 22.3), [2] (Kap. 14.3.12)

Formulation (Setup → Models → Multiphase → Models → Volume Fraction Parameters)

Beschreibung	Auswahl zwischen expliziter und impliziter Formulierung des Volumenanteils.
Einstellung	<i>Explicit</i>
Begründung	Die explizite Formulierung ist numerisch genauer als die implizite Formulierung. Die Größe der Zeitschritte ist jedoch durch das Courant'sche Stabilitätskriterium begrenzt.

[1] (Kap. 22.2)

Volume Fraction Cutoff (Setup → Models → Multiphase → Models → Volume Fraction Parameters)

Beschreibung	Mit <i>Volume Fraction Cutoff</i> werden die Grenzen definiert, ab denen der Volumenanteil als null bzw. eins betrachtet wird.
Einstellung	1e-10
Begründung	Wenn der Volumenanteil kleiner als 10^{-10} ist, wird er als 0 interpretiert. Wenn der Volumenanteil größer als $1 - 10^{-10}$ ist, wird er als 1 interpretiert.

[1] (Kap. 22.2)

 Courant Number (Setup → Models → Multiphase → Models → Volume Fraction Parameters)

Beschreibung	Die maximal zulässige Courant-Zahl legt die Zeitschrittweite fest. Wenn die explizite Formulierung verwendet wird, ist die Zeitschrittweite für die Berechnung des Volumenanteils nicht dieselbe wie für die anderen Transportgleichungen.
Einstellung	0,25
Begründung	Bei einer maximal zulässigen Courant-Zahl von 0,25 hat die berechnete Sub-Zeitschrittweite einen Maximalwert, der einem Viertel der minimalen Durchflusszeit für jede Zelle in der Nähe der Grenzfläche entspricht.

[1] (Kap. 22.3)

 Implicit Body Force (Setup → Models → Multiphase → Models → Body Force Formulation)

Beschreibung	Die Behandlung durch <i>Implicit Body Forces</i> verbessert die Konvergenz der Lösungen durch Berücksichtigung des partiellen Gleichgewichts des Druckgradienten und der Körperkräfte in den Impulsgleichungen.
Einstellung	Aktiviert
Begründung	Lösung wird robuster.

[1] (Kap. 22.2)

 Number of Eulerian Phases (Setup → Models → Multiphase → Models)

Beschreibung	Auswahl der Anzahl der Phasen, die während des Prozesses auftreten.
Einstellung	2
Begründung	Kohlendioxid liegt während des Verdampfungsprozesses zunächst in flüssigem, dann in gasförmigem Zustand vor.

 Open Channel Flow (Setup → Models → Multiphase → Models → VOF Sub-Models)

Beschreibung	Ermöglicht die Modellierung von Strömungen in offenen Kanälen.
Einstellung	Nicht aktiviert
Begründung	Bei dem vorliegenden Verdampfungsprozess handelt es sich um eine geschlossene Rohrströmung.

[1] (Kap. 22.3)

 Type (Setup → Models → Multiphase → Models → Options → Interface Modeling)

Beschreibung	Wahl zwischen <i>Sharp</i> , wenn die Grenzflächen zwischen den Phasen deutlich ausgeprägt sind, <i>Dispersed</i> , wenn die Phasen einander durchdringen, und <i>Sharp/Dispersed</i> , wenn eine Kombination der beiden Fälle vorliegt.
Einstellung	<i>Sharp</i>
Begründung	Die Grenzflächen zwischen den beiden Phasen sind deutlich ausgeprägt, so dass der Typ <i>Sharp</i> diese am genauesten modelliert.

[1] (Kap. 22.2, 44.4)

Interfacial Anti-Diffusion (Setup → Models → Multiphase → Models → Options → Interface Modeling)

Beschreibung	Reduziert die Auswirkungen von numerischer Diffusion, die bei groben Netzen und Zellen mit großem Seitenverhältnis auftreten können. Die Intensität der Option kann durch einen Textbefehl in der TUI festgelegt werden. 0 ist der Minimalwert, 1 der Maximalwert.
Einstellung	Aktiviert, Intensität auf Standardwert belassen (0,75).
Begründung	Unterdrückt numerische Diffusion weitgehend.

[1] (Kap. 22.2, 44.4)

Sub-Time Step Calculation Method (Setup → Models → Multiphase → Models → Options → Expert Options)

Beschreibung	Für die Berechnung der Sub-Zeitschrittweite kann zwischen geschwindigkeitsbasierten, flussbasierten, flussgemittelten und hybriden Methoden gewählt werden.
Einstellung	<i>Hybrid</i>
Begründung	Die hybride Methode ist die Standardmethode zur Berechnung der Sub-Zeitschrittweite. Sie wird durch die Kombination der geschwindigkeitsbasierten und der flussgemittelten Berechnungsmethode berechnet.

[1] (Kap. 22.3)

Solve VOF Every Iteration (Setup → Models → Multiphase → Models → Options → Expert Options)

Beschreibung	Standardmäßig löst Ansys Fluent die Volumenanteilsgleichungen einmal für jeden Zeitschritt. Mit der Option <i>Solve VOF Every Iteration</i> werden die Volumenanteilsgleichungen bei jeder Iteration gelöst.
Einstellung	Nicht aktiviert
Begründung	Die Option <i>Solve VOF Every Iteration</i> ist weniger stabil und erfordert einen höheren Rechenaufwand als die Standardeinstellung. Insbesondere bei der Verwendung von gleitenden und dynamischen Rechnernetzen liefert <i>Solve VOF Every Iteration</i> genauere Ergebnisse.

[1] (Kap. 22.3)

Advanced Volume Fraction Filtering (Setup → Models → Multiphase → Models → Options → Expert Options)

Beschreibung	Ermöglicht das Herausfiltern kleiner Werte des Volumenanteils, die rein numerisch sein können und zur Instabilität der Lösung führen.
Einstellung	Aktiviert
Begründung	Verbessert die Konvergenz der Rechnung.

[1] (Kap. 22.2)

Filtering Options (Setup → Models → Multiphase → Models → Options → Expert Options)

Beschreibung	Es kann zwischen <i>Cell Based Flotsam</i> , <i>Node Based Flotsam</i> und <i>Node Averaged Filtering Method</i> gewählt werden.
Einstellung	<i>Node Based Flotsam</i>
Begründung	<i>Node Based Flotsam</i> ist die konservativste der drei Methoden.

[1] (Kap. 22.2)

1.1.1.1 Forces

Surface Tension Force Modeling (Setup → Models → Multiphase → Phase Interaction → Forces → Global Options)

Beschreibung	Berücksichtigt den Einfluss der Oberflächenspannung an der Grenzfläche zwischen der flüssigen und der gasförmigen Phase.
Einstellung	Aktiviert
Begründung	Die Überprüfung der Reynolds- und der Weber-Zahlen hat gezeigt, dass die Oberflächenspannung nicht vernachlässigt werden kann.

[1] (Kap. 22.2, 44.4), [2] (Kap. 14.3.9)

Model (Setup → Models → Multiphase → Phase Interaction → Forces → Global Options)

Beschreibung	Zur Auswahl stehen <i>Continuum Surface Force</i> für konstante Oberflächenspannungen und <i>Continuum Surface Stress</i> für variable Oberflächenspannungen.
Einstellung	<i>Continuum Surface Stress</i>
Begründung	Während der Verdampfung variieren die auftretenden Oberflächenspannungen.

[1] (Kap. 44.4), [2] (Kap. 14.3.9)

Wall Adhesion (Setup → Models → Multiphase → Phase Interaction → Forces → Global Options → Adhesion Options)

Beschreibung	Berücksichtigt den Einfluss der Wandhaftung und ermöglicht die Angabe des Wandhaftungswinkels in den RBs für die Wände.
Einstellung	Aktiviert
Begründung	Die Wandhaftung kann für eine realitätsnahe Prozessdarstellung nicht vernachlässigt werden.

[1] (Kap. 22.3, 44.4), [2] (Kap. 14.3.9)

Surface Tension Coefficient [N/m] (Setup → Models → Multiphase → Phase Interaction → Forces → Global Options → Force Setup → Surface Tension Coefficient)

Beschreibung	Angabe des Oberflächenspannungskoeffizienten. Wird für die Modellierung der Oberflächenspannung und des <i>Continuum Surface Stress Models</i> benötigt.
Einstellung	<i>rgp-table-sat</i>
Begründung	Genaue Methode zur Bestimmung des Oberflächenspannungskoeffizienten in Abhängigkeit von der Temperatur.

[1] (Kap. 44.4), [2] (Kap. 14.3.9)

1.1.1.2 Heat, Mass, Reactions

Number of Mass Transfer Mechanisms (Setup → Models → Multiphase → Phase Interaction → Heat, Mass, Reactions)

Beschreibung	Angabe der Anzahl der auftretenden Massentransportmechanismen.
Einstellung	1
Begründung	Es handelt sich um einen Verdampfungsprozess, so dass der Massentransportmechanismus <i>evaporation-condensation</i> eingestellt wird (siehe <i>Mechanism</i>). Ferner kann <i>evaporation-condensation</i> je Phasenpaar nicht mit anderen Massentransportmechanismen gekoppelt werden.

[1] (Kap. 22.2, 44.4)

From Phase | To Phase (Setup → Models → Multiphase → Phase Interaction → Heat, Mass, Reactions → Mass Transfer)

Beschreibung	Angabe der Phasen zu Beginn und am Ende des Prozesses.
Einstellung	<i>liquid / vapor</i>
Begründung	Unabhängig von der Prozessrichtung, d. h. ob es sich um Verdampfung oder Kondensation handelt, ist die flüssige Phase <i>From Phase</i> und die gasförmige Phase <i>To Phase</i> zuzuordnen.

[1] (Kap. 22.2)

Mechanism (Setup → Models → Multiphase → Phase Interaction → Heat, Mass, Reactions → Mass Transfer)

Beschreibung	Auswahl des auftretenden Massentransportmechanismus.
Einstellung	<i>evaporation-condensation</i>
Begründung	Es wird ein Verdampfungsprozess simuliert.

Evaporation/Condensation Model (Setup → Models → Multiphase → Phase Interaction → Heat, Mass, Reactions → Mass Transfer → Edit... → Models)

Beschreibung	Auswahl des Modells für die Stoffübertragung zwischen den Phasen unter Verwendung des <i>evaporation-condensation</i> -Mechanismus.
Einstellung	<i>Lee</i>
Begründung	Für den Massentransport durch Verdampfung unter Verwendung des VOF-Modells ist das Lee-Modell vorgegeben.

From Phase Frequency [s^{-1}] | To Phase Frequency [s^{-1}] (Setup → Models → Multiphase → Phase Interaction → Heat, Mass, Reactions → Mass Transfer → Edit... → Model Constants)

Beschreibung	Angabe der <i>From-Phase</i> - und der <i>To-Phase</i> -Frequenz.
Einstellung	–
Begründung	Im Rahmen der Studie wird eine Sensitivitätsanalyse mit Hilfe der Kondensations- und Verdampfungsfrequenzen durchgeführt. Die Werte sind dem Hauptdokument zu entnehmen.

[1] (Kap. 22.2)

Saturation Temperature [K] (Setup → Models → Multiphase → Phase Interaction → Heat, Mass, Reactions → Mass Transfer → Edit... → Saturation Properties)

Beschreibung	Angabe der Sättigungstemperatur.
Einstellung	<i>rgp-table-sat</i>
Begründung	Ermöglicht eine variable Sättigungstemperatur und stellt ein präzises Verfahren zu ihrer Bestimmung bereit.

[1] (Kap. 22.2)

1.1.2 Viscous

Model (Setup → Models → Viscous)

Beschreibung	Auswahl des Turbulenzmodells.
Einstellung	<i>k-omega (2 eqn)</i>
Begründung	Das k-omega-Modell erzielt in Wandnähe genaue Ergebnisse.

[2] (Kap. 44.1), [3] (Kap. 2.3)

k-omega Model (Setup → Models → Viscous)

Beschreibung	Auswahl des k-omega-Submodells.
Einstellung	<i>SST</i>
Begründung	Das SST-Modell vereint die guten Eigenschaften des k-omega-Modells in Wandnähe mit denen des k-epsilon-Modells im übrigen Strömungsfeld. Dadurch erzielt es insgesamt genaue Ergebnisse.

[2] (Kap. 44.3), [3] (Kap. 2.3)

Low-Re Corrections (Setup → Models → Viscous → k-omega Options)

Beschreibung	Auswahl, ob Korrekturen zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit bei Strömungen mit niedriger Reynoldszahl berücksichtigt werden sollen. Standardmäßig ist diese Option nicht aktiviert und der Dämpfungskoeffizient ist 1.
Einstellung	Nicht aktiviert
Begründung	Die gesamte Strömung ist deutlich turbulent.

[1] (Kap. 13.16.11)

Viscous Heating (Setup → Models → Viscous → Options)

Beschreibung	Unter viskoser Erwärmung versteht man den Effekt der Temperaturerhöhung aufgrund viskoser Effekte zwischen Fluidteilchen oder an der Grenzfläche zwischen Fluid und Wand. Diese Option sollte bei kompressiblen Strömungen oder wenn viskose Kräfte von Bedeutung sind (Schmierung, Polymerverarbeitung) angewendet werden. Letzteres ist der Fall, wenn $Br \geq 1$ ist.
Einstellung	Aktiviert
Begründung	Bei der Simulation handelt es sich um eine kompressible Strömung. Die Berechnung der Brinkman-Zahl ist überflüssig.

[1] (Kap. 4.3.8, 5.2.1.5)

Production Kato-Launder (Setup → Models → Viscous → Options)

Beschreibung	Bei laminar-turbulenten Übergängen kann der Produktionsbegrenzer in einigen Fällen eine leichte Turbulenzbildung in den Stagnationszonen nicht verhindern. Dies ist bei vollturbulenten Strömungen in der Regel nicht zu bemerken, kann aber die Lage des Übergangs geringfügig beeinflussen.
Einstellung	Nicht aktiviert
Begründung	Begrenzer kann sich auf andere Teile der Strömung auswirken.

[4] (Kap. 3.3.5)

Production Limiter (Setup → Models → Viscous → Options)

Beschreibung	Begrenzt die Erzeugung von turbulenter kinetischer Energie.
Einstellung	Aktiviert
Begründung	Bei Verwendung von Zweigleichungsturbulenzmodellen sollte <i>Production Limiter</i> verwendet werden, da die Turbulenzmodelle dazu neigen, übermäßige turbulente Energie zu erzeugen.

[2] (Kap. 4.2.1), [4] (Kap. 3.3.5)

Transition Model (Setup → Models → Viscous → Transition Options)

Beschreibung	Ermöglicht die Einstellung eines Übergangsmodells zwischen laminarer und turbulenter Strömung.
Einstellung	<i>none</i>
Begründung	Bei der Simulation handelt es sich um eine vollständig turbulente Strömung.

[1] (Kap. 13.2.1.6)

Turbulent Viscosity (Setup → Models → Viscous → User-Defined Functions)

Beschreibung	Ermöglicht die Einstellung der turbulenten Viskosität durch Verwendung einer UDF.
Einstellung	<i>none</i>
Begründung	Es werden keine UDF für die turbulente Viskosität benötigt.

[1] (Kap. 13.16.21)

Stress Blending (SBES) / Shielded DES (Setup → Models → Viscous → Scale-Resolving Simulation Options)

Beschreibung	Ermöglicht die Kombination zweier Turbulenzmodelle, die auf die entsprechenden Bereiche des Strömungsgebietes angewendet werden.
Einstellung	Nicht aktiviert
Begründung	Die Turbulenz ist im gesamten Strömungsgebiet konstant, so dass kein weiteres Turbulenzmodell erforderlich ist.

[1] (Kap. 13.2.2.2.3)

Turbulence Damping | Damping Factor (Setup → Models → Viscous → Turbulence Damping Options)

Beschreibung	Die Turbulenzdämpfung führt zu einer besseren Auflösung der Geschwindigkeitsgradienten in der Nähe der <i>Fluid-Fluid</i> -Grenzfläche.
Einstellung	Aktiviert 10
Begründung	Bessere Auflösung von Geschwindigkeitsgradienten in der Nähe der <i>Fluid-Fluid</i> -Grenzfläche. 10 entspricht dem Standardwert.

[1] (Kap. 13.16.13)

1.1.3 Boundary Conditions

1.1.3.1 Inlet

Reference Frame (Setup → Boundary Conditions → Inlet → mixture → Momentum)

Beschreibung	Bezug für den Massenstrom. Die Geschwindigkeiten können absolut oder relativ angegeben werden. Letzteres ist von Vorteil, wenn sich der an den <i>Inlet</i> angrenzende Zellbereich bewegt.
Einstellung	<i>Absolute</i>
Begründung	Der an den <i>Inlet</i> angrenzende Zellbereich ist statisch.

[1] (Kap. 7.4, 44.7)

Supersonic / Initial Gauge Pressure (Setup → Boundary Conditions → Inlet → mixture → Momentum)

Beschreibung	Legt den anfänglichen Überdruck am <i>Inlet</i> gegenüber dem Umgebungsdruck fest.
Einstellung	<i>Pressure_Inlet_Initial (Input Parameter)</i>
Begründung	Ermöglicht die parametrische Eingabe des Überdrucks am <i>Inlet</i> .

[1] (Kap. 7.4, 44.7)

Direction Specification Method (Setup → Boundary Conditions → Inlet → mixture → Momentum)

Beschreibung	Legt die Methode zur Bestimmung der Strömungsrichtung fest.
Einstellung	<i>Normal to Boundary</i>
Begründung	Der Massenstrom ist am Einlass senkrecht zum <i>Inlet</i> .

[1] (Kap. 7.4, 44.7)

Specification Method (Setup → Boundary Conditions → Inlet → mixture → Momentum → Turbulence)

Beschreibung	Legt die Methode zur Bestimmung der Turbulenzparameter fest.
Einstellung	<i>Intensity and Hydraulic Diameter</i>
Begründung	Die initiale turbulente Intensität und der hydraulische Durchmesser können mit rel. hoher Zuverlässigkeit analytisch vorberechnet werden.

[1] (Kap. 7.4, 44.7)

Turbulent Intensity (Setup → Boundary Conditions → Inlet → mixture → Momentum → Turbulence)

Beschreibung	Gibt die turbulente Intensität vor.
Einstellung	<i>Turbulent_Intensity (Expression)</i>
Begründung	Ermöglicht eine parabolische Verteilung der turbulenten Intensität.

[1] (Kap. 7.4, 44.7)

Hydraulic Diameter (Setup → Boundary Conditions → Inlet → mixture → Momentum → Turbulence)

Beschreibung	Gibt den hydraulischen Durchmesser vor.
Einstellung	<i>Hydraulic_Diameter (Input Parameter)</i>
Begründung	Ermöglicht die parametrische Eingabe des hydraulischen Durchmessers.

[1] (Kap. 7.4, 44.7)

Total Temperature (Setup → Boundary Conditions → Inlet → mixture → Thermal)

Beschreibung	Gibt die Totaltemperatur am <i>Inlet</i> vor.
Einstellung	<i>Temperature_Inlet (Input Parameter)</i>
Begründung	Ermöglicht die parametrische Eingabe der Totaltemperatur am <i>Inlet</i> . Für die Simulation wird aufgrund der geringen Geschwindigkeit die statische Temperatur am <i>Inlet</i> anstelle der Totaltemperatur vorgegeben.

[1] (Kap. 44.7)

Mass Flow Specification Method (Setup → Boundary Conditions → Inlet → liquid → Momentum)

Beschreibung	Der flüssige Anteil des einfließenden Massenstroms kann wahlweise durch direkte Eingabe (<i>Mass Flow Rate</i>) oder über die Massenstromdichte sowohl einzeln (<i>Mass Flux</i>) als auch in Kombination mit der mittleren Massenstromdichte (<i>Mass Flux with Average Mass Flux</i>) vorgegeben werden.
Einstellung	<i>Mass Flux with Average Mass Flux</i>
Begründung	Mit <i>Mass Flux with Average Mass Flux</i> kann sowohl die Form als auch der Betrag der Massenstromdichte definiert werden.

[1] (Kap. 7.4, 44.7)

Mass Flux (Setup → Boundary Conditions → Inlet → liquid → Momentum)

Beschreibung	Gibt die Massenstromdichte vor.
Einstellung	<i>Mass_Flux (Expression)</i>
Begründung	Ermöglicht eine parabolische Massenstromdichte, so dass die erforderliche Einlaufstrecke bis zur vollständigen Ausbildung der Rohrströmung minimiert wird.

[1] (Kap. 7.4)

Average Mass Flux (Setup → Boundary Conditions → Inlet → liquid → Momentum)

Beschreibung	Gibt die durchschnittliche Massenstromdichte vor.
Einstellung	<i>Average_Mass_Flux (Input Parameter)</i>
Begründung	Ermöglicht die parametrische Eingabe der durchschnittlichen Massenstromdichte der flüssigen Phase am <i>Inlet</i> .

[1] (Kap. 7.4)

Mass Flow Specification Method (Setup → Boundary Conditions → Inlet → vapor → Momentum)

Beschreibung	Analog zur flüssigen Phase kann der gasförmige Anteil des einfließenden Massenstroms wahlweise durch <i>Mass Flow Rate</i> , <i>Mass Flux</i> oder <i>Mass Flux with Average Mass Flux</i> vorgegeben werden.
Einstellung	<i>Mass Flow Rate</i> 0
Begründung	Das Fluid strömt als leicht unterkühlte Flüssigkeit in das Rohr ein. Dadurch kann frei zwischen den drei Möglichkeiten gewählt werden. Unter <i>Mass Flow Rate</i> wird 0 eingegeben, so dass kein Dampf durch den <i>Inlet</i> in das System eintreten kann.

[1] (Kap. 44.7)

1.1.3.2 Outlet

Pressure Specification Method (Setup → Boundary Conditions → Outlet → mixture → Momentum)

Beschreibung	Gibt Verfahren zur Bestimmung der RB am <i>Pressure Outlet</i> vor.
Einstellung	<i>Gauge Pressure</i>
Begründung	Ermöglicht Vorgabe des statischen Überdrucks.

[1] (Kap. 44.7)

Gauge Pressure [Pa] (Setup → Boundary Conditions → Outlet → mixture → Momentum)

Beschreibung	Gibt den statischen Überdruck vor.
Einstellung	0
Begründung	Der statische Druck am <i>Outlet</i> entspricht dem Umgebungsdruck.

[1] (Kap. 44.7)

Pressure Profile Multiplier (Setup → Boundary Conditions → Outlet → mixture → Momentum)

Beschreibung	Ermöglicht die Angabe eines konstanten Faktors, mit dem der Überdruck multipliziert wird. Dies ist z. B. bei Turbomaschinen sinnvoll, wenn eine ungleichmäßige statische Druckverteilung am <i>Outlet</i> durch eine <i>Expression</i> vorgegeben ist.
Einstellung	1
Begründung	Die Druckverteilung am <i>Outlet</i> ist gleichmäßig.

[2] (Kap. 14.3.10)

Backflow Direction Specification Method (Setup → Boundary Conditions → Outlet → mixture → Momentum)

Beschreibung	Gibt Verfahren zur Berechnung der Strömungsrichtung im Falle einer Rückwärtsströmung vor.
Einstellung	<i>From Neighboring Cell</i>
Begründung	Die Richtung der Rückströmung wird anhand der Strömungsrichtung in der Zellschicht neben dem <i>Outlet</i> bestimmt. Auf diese Weise werden etwaige Turbulenzen bestmöglich berücksichtigt.

[1] (Kap. 7.4, 44.7)

Backflow Pressure Specification (Setup → Boundary Conditions → Outlet → mixture → Momentum)

Beschreibung	Gibt die Druckform vor, die bei Rückströmung berechnet wird.
Einstellung	<i>Total Pressure</i>
Begründung	Der berechnete Druck basiert auf dem Überdruck.

[1] (Kap. 44.7)

Specification Method (Setup → Boundary Conditions → Outlet → mixture → Momentum → Turbulence)

Beschreibung	Gibt die Methode zur Bestimmung der Turbulenzparameter an.
Einstellung	<i>Intensity and Hydraulic Diameter</i>
Begründung	Die turbulente Intensität kann über <i>Report Definition</i> bestimmt und der hydraulische Durchmesser über den Radius berechnet werden.

[1] (Kap. 7.4, 44.7)

Backflow Turbulent Intensity (Setup → Boundary Conditions → Outlet → mixture → Momentum → Turbulence)

Beschreibung	Legt Sollwert für die turbulente Intensität im Falle einer Rückwärtsströmung fest.
Einstellung	<i>{turbulent-intensity-at-outlet} (Report Definition)</i>
Begründung	Durch <i>{turbulent-intensity-at-outlet}</i> wird die turbulente Intensität am <i>Outlet</i> zurückgeführt, wodurch ein variabler Parameter erzeugt wird.

[1] (Kap. 7.4, 44.7)

Backflow Hydraulic Diameter (Setup → Boundary Conditions → Outlet → mixture → Momentum → Turbulence)

Beschreibung	Legt Sollwert für den hydraulischen Durchmesser fest.
Einstellung	<i>Hydraulic_Diameter (Input Parameter)</i>
Begründung	Ermöglicht die parametrische Eingabe des hydraulischen Durchmessers.

[1] (Kap. 7.4, 44.7)

Backflow Total Temperature (Setup → Boundary Conditions → Outlet → mixture → Thermal)

Beschreibung	Legt Sollwert für die Totaltemperatur im Falle einer Rückwärtsströmung fest.
Einstellung	{ <i>total-temperature-at-outlet</i> } (<i>Report Definition</i>)
Begründung	Durch { <i>total-temperature-at-outlet</i> } wird die Totaltemperatur am <i>Outlet</i> zurückgeführt, wodurch ein variabler Parameter erzeugt wird.

[1] (Kap. 7.4, 44.7)

Volume Fraction Specification Method (Setup → Boundary Conditions → Outlet → vapor → Multiphase)

Beschreibung	Legt das Verfahren zur Bestimmung des Volumenanteils der sekundären Phase fest.
Einstellung	<i>From Neighboring Cell</i>
Begründung	Robustes Verfahren, bei dem der Volumenanteil aus den benachbarten Zellen berechnet wird.

[1] (Kap. 44.7)

1.1.3.3 Wall

Im Bereich *Wall* werden die verschiedensten RB für Wandungen definiert. Je nachdem, ob es sich um eine einfache Wand, die Rohraußenwand oder die Grenzfläche zwischen *Fluid* und *Solid* handelt, sind unterschiedliche Einstellungen vorzunehmen. Unter *Momentum* werden nur Einstellungen für *Walls* vorgenommen, die sich im Fluidbereich befinden. Für alle anderen *Walls* ist der entsprechende Reiter ausgeblendet.

Wall Motion (Setup → Boundary Conditions → Wall → wall-xx → mixture → Momentum)

Beschreibung	Angabe, ob die Wand beweglich ist oder nicht.
Einstellung	<i>Stationary Wall</i>
Begründung	Wand ist statisch.

[1] (Kap. 44.7)

Shear Condition (Setup → Boundary Conditions → Wall → wall-xx → mixture → Momentum)

Beschreibung	Gibt die Scherbedingungen an der Wand vor.
Einstellung	<i>No Slip</i>
Begründung	Erfüllt Haftbedingung des Geschwindigkeitsprofils.

[1] (Kap. 7.4, 44.7)

Roughness Models (Setup → Boundary Conditions → Wall → wall-xx xx → mixture → Momentum → Wall Roughness)

Beschreibung	Auswahl des Modells zur Bestimmung der Wandrauigkeit bei Berechnungen turbulenter Strömungen. Es stehen <i>Standard</i> und <i>High Roughness (Icing)</i> zur Verfügung.
Einstellung	<i>Standard</i>
Begründung	Während des Verdampfungsprozesses ist keine Vereisung zu erwarten, so dass das Standardmodell geeignet ist.

[1] (Kap. 44.7)

Roughness Height [m] (Setup → Boundary Conditions → Wall → wall-xx → mixture → Momentum → Wall Roughness → Sand-Grain Roughness)

Beschreibung	Gibt die absolute Rauigkeit der Wand vor.
Einstellung	<i>Roughness_Height (Input_Parameter)</i>
Begründung	Ermöglicht die parametrische Eingabe der absoluten Rauigkeit.

[1] (Kap. 7.4)

Roughness Constant (Setup → Boundary Conditions → Wall → wall-xx → mixture → Momentum → Wall Roughness → Sand-Grain Roughness)

Beschreibung	Gibt die absolute Rauigkeitskonstante vor.
Einstellung	0,5
Begründung	Die voreingestellte Rauigkeitskonstante 0,5 stellt eine gleichmäßige Rauigkeit der Oberfläche dar.

[1] (Kap. 7.4)

Contact Angles [Deg] (Setup → Boundary Conditions → Wall → wall-xx → mixture → Momentum → Wall Adhesion)

Beschreibung	Eingabe des Wandhaftungswinkels zur Berücksichtigung des Einflusses der Wandhaftung. <i>Wall Adhesion</i> muss unter <i>Multiphase Models → Phase Interactions → Forces</i> aktiviert sein.
Einstellung	90.00001299439 (Standardwert)
Begründung	Erzwingt, dass die Grenzfläche bei der Krümmungsberechnung senkrecht zur Wand steht.

[1] (Kap. 22.3, 44.4), [2] (Kap. 14.3.9)

Unter *Thermal* werden die thermischen Eigenschaften der *Walls* definiert. Die Einstellungen sind je nach *Wall* unterschiedlich.

Thermal Conditions (Setup → Boundary Conditions → Wall → wall-xx → mixture → Thermal)

Beschreibung	Gibt die Art der thermischen Randbedingung vor.
Einstellung	Für gekoppelte <i>Walls Coupled</i> , ansonsten <i>Heat Flux</i>
Begründung	<i>Coupled</i> koppelt die Wärmeübertragung zwischen den beiden Seiten einer zweiseitigen Wand. Durch <i>Heat Flux</i> kann die Wärmestromdichte bestimmt werden.

[1] (Kap. 7.4, 44.7)

Heat Flux [W/m²] (Setup → Boundary Conditions → Wall → wall-xx → mixture → Thermal)

Beschreibung	Gibt die Wärmestromdichte vor.
Einstellung	Für <i>wall_tube_outer Heat_Flux (Input Parameter)</i> , ansonsten 0
Begründung	Mit dem <i>Input_Parameter Heat_Flux</i> wird die Wärmestromdichte an der Rohraußenwand parametrisiert. Durch die Bedingung, dass die Wärmestromdichte gleich null ist, sind die übrigen Wände adiabatisch.

[1] (Kap. 44.7)

Wall Thickness [m] (Setup → Boundary Conditions → Wall → wall-xx → mixture → Thermal)

Beschreibung	Legt die Dicke einer dünnen Wand für die Berechnung des Wärmedurchgangswiderstandes fest. Dies ermöglicht z. B. die Modellierung eines dünnen Metallblechs zwischen zwei Fluidbereichen oder einer Beschichtung auf einem Festkörperbereich unter Beibehaltung des maximalen Seitenverhältnisses (<i>Aspect Ratio</i>). Eine Modellierung dieser Beschichtung im CAD-Modell ist daher nicht erforderlich.
Einstellung	0
Begründung	Keine Beschichtung o. Ä. an der Rohrwand.

[1] (Kap. 7.4, 44.7)

Heat Generation Rate [W/m³] (Setup → Boundary Conditions → Wall → wall-xx → mixture → Thermal)

Beschreibung	Gibt die Wärmequellendichte vor.
Einstellung	0
Begründung	Die Wände weisen keine Wärmequellen auf.

[1] (Kap. 44.7)

Material Name (Setup → Boundary Conditions → Wall → wall-xx → mixture → Thermal)

Beschreibung	Gibt den Materialtyp und damit die Leitfähigkeit an, die für die Berechnung des Wärmedurchgangswiderstands verwendet wird. Dies ist nur relevant, wenn die Wanddicke ungleich null ist.
--------------	---

Einstellung	Beliebig
-------------	----------

Begründung	Alle Wanddicken haben den Wert null.
------------	--------------------------------------

[1] (Kap. 44.7)

1.1.4 Methods

Scheme (Pressure-Velocity Coupling)

Beschreibung	Auswahl des Schemas für die Druck-Geschwindigkeits-Kopplung.
--------------	--

Einstellung	<i>PISO</i>
-------------	-------------

Begründung	Die Verwendung des PISO-Algorithmus wird für alle instationären Strömungsberechnungen mit Nachdruck empfohlen.
------------	--

[1] (Kap. 44.12, 32.3.1.2)

Skewness Correction (Pressure-Velocity Coupling)

Beschreibung	Aktiviert die PISO-Skewness-Korrektur für stark verzerrte Netze, wenn der Wert (Anzahl der Iterationen) größer als 0 ist.
--------------	---

Einstellung	0
-------------	---

Begründung	Das Netz ist nicht verzerrt (die minimale orthogonale Qualität des Netzes beträgt 1).
------------	---

[1] (Kap. 44.12)

Neighbor Correction (Pressure-Velocity Coupling)

Beschreibung	Aktiviert die PISO-Nachbarkorrektur, wenn der Wert (Anzahl der Iterationen) größer als 0 ist. Der voreingestellte Wert ist 1.
--------------	---

Einstellung	1
-------------	---

Begründung	Eine zusätzliche „PISO-Schleife“. Dies erhöht die Genauigkeit der Lösungen.
------------	---

[1] (Kap. 44.12)

Skewness-Neighbor Coupling (Pressure-Velocity Coupling)

Beschreibung	Sparsamere, aber weniger robuste Variante des PISO-Algorithmus.
--------------	---

Einstellung	Nicht aktiviert
-------------	-----------------

Begründung	Deaktiviert, da die Elemente orthogonal zueinanderstehen.
------------	---

[1] (Kap. 44.12)

Gradient (Spatial Discretization)

Beschreibung	Auswahl der Methode zur Berechnung des Gradienten in der Gleichung, die das Green-Gauss-Theorem beschreibt.
--------------	---

Einstellung	<i>Green-Gauss Cell Based</i>
-------------	-------------------------------

Begründung	Die Genauigkeit ist vergleichbar mit der des knotenbasierten Gradienten bei wesentlich geringerer Rechenzeit.
------------	---

[1] (Kap. 44.12), [2] (Kap. 24.3.3.4)

Pressure (Spatial Discretization)

Beschreibung	Auswahl des Diskretisierungsschemas für die Druckgleichung.
--------------	---

Einstellung	<i>Modified Body Force Weighted</i>
-------------	-------------------------------------

Begründung	Es zeigt eine geringere Empfindlichkeit gegenüber Netz- und Zeitschrittgrößen im Vergleich zum geringfügig umfassenderen PRESTO!-Schema.
------------	--

[1] (Kap. 32.2.3, 44.12)

Density

Beschreibung	Auswahl des Diskretisierungsschemas für den Massenerhaltungssatz.
--------------	---

Einstellung	<i>Second Order Upwind</i>
-------------	----------------------------

Begründung	Zur Berechnung korrekter Lösungen wird die Verwendung von Diskretisierungsschemata zweiter Ordnung empfohlen.
------------	---

[1] (Kap. 44.12)

Momentum (Spatial Discretization)

Beschreibung	Auswahl des Diskretisierungsschemas für die Impulserhaltungssätze.
--------------	--

Einstellung	<i>Second Order Upwind</i>
-------------	----------------------------

Begründung	Zur Berechnung korrekter Lösungen wird die Verwendung von Diskretisierungsschemata zweiter Ordnung empfohlen.
------------	---

[1] (Kap. 44.12)

Volume Fraction (Spatial Discretization)

Beschreibung	Auswahl des Diskretisierungsschemas für die Transportgleichung für den Volumenanteil.
--------------	---

Einstellung	<i>Modified HRIC</i>
-------------	----------------------

Begründung	Liefert akkurate Ergebnisse bei akzeptablen Rechenzeiten.
------------	---

[1] (Kap. 44.12)

Turbulent Kinetic Energy (Spatial Discretization)

Beschreibung	Auswahl des Diskretisierungsschemas für die Transportgleichung für die turbulente kinetische Energie.
Einstellung	<i>Second Order Upwind</i>
Begründung	Zur Berechnung korrekter Lösungen wird die Verwendung von Diskretisierungsschemata zweiter Ordnung empfohlen.

[1] (Kap. 44.12)

Specific Dissipation Rate (Spatial Discretization)

Beschreibung	Auswahl des Diskretisierungsschemas für die Transportgleichung für die spezifische Dissipationsrate.
Einstellung	<i>Second Order Upwind</i>
Begründung	Zur Berechnung korrekter Lösungen wird die Verwendung von Diskretisierungsschemata zweiter Ordnung empfohlen.

[1] (Kap. 44.12)

Energy (Spatial Discretization)

Beschreibung	Auswahl des Diskretisierungsschemas für den Energieerhaltungssatz.
Einstellung	<i>Second Order Upwind</i>
Begründung	Zur Berechnung korrekter Lösungen wird die Verwendung von Diskretisierungsschemata zweiter Ordnung empfohlen.

[1] (Kap. 44.12)

Transient Formulation

Beschreibung	Auswahl der zeitabhängigen Lösungsformulierungen.
Einstellung	<i>First Order Implicit</i>
Begründung	Die Zeitdiskretisierung 1. Ordnung für das VOF-Modell in Verbindung mit der expliziten Berechnungsmethode wird von Fluent vorgegeben.

[1] (Kap. 44.12)

Non-Iterative Time Advancement

Beschreibung	Aktiviert das NITA-Schema.
Einstellung	Nicht aktiviert
Begründung	Obwohl das NITA-Schema die Berechnung instationärer Simulationen erheblich beschleunigen kann, wird dessen Verwendung für Strömungen, die stark von ihrer Dichte abhängen, nicht empfohlen.

[1] (Kap. 44.12), [2] (Kap. 24.4.5.2)

Warped-Face Gradient Correction

Beschreibung	Ermöglicht die Anpassung der Methoden zur Diskretisierung der Gradienten, z. B. für Netze mit hohen Seitenverhältnissen (<i>aspect ratios</i>) oder für stark verzerrte Netze.
--------------	--

Einstellung	Nicht aktiviert
-------------	-----------------

Begründung	Die Elemente stehen orthogonal zueinander und das maximale Seitenverhältnis ist relativ klein.
------------	--

[1] (Kap. 44.12)

High Order Term Relaxation

Beschreibung	Ermöglicht die Relaxation von Termen höherer Ordnung.
--------------	---

Einstellung	Nicht aktiviert
-------------	-----------------

Begründung	Das Lösungsverhalten wird optimiert.
------------	--------------------------------------

[1] (Kap. 44.12)

Settings Optimization (Stabilization Methods)

Beschreibung	Grundlegende Optimierung der Konfiguration unter Berücksichtigung der vorkommenden Physik.
--------------	--

Einstellung	Aktiviert
-------------	-----------

Begründung	Verbessert die Stabilität der Simulation.
------------	---

[1] (Kap. 22.8.1.5.2)

Advanced Stabilization (Stabilization Methods)

Beschreibung	Erweiterte Optimierung der numerischen Verfahren.
--------------	---

Einstellung	Aktiviert
-------------	-----------

Begründung	Bietet zusätzliche Steigerung der Stabilität der Simulation.
------------	--

[1] (Kap. 22.8.1.5.2)

Additional Stability Controls | Blended Compressive Scheme (Stabilization Methods)

Beschreibung	Aktiviert <i>Blended Compressive Scheme</i> .
--------------	---

Einstellung	<i>Off</i>
-------------	------------

Begründung	Ändert u. a. die Modellierung der Oberflächengrenzen und das Diskretisierungsschema für die Transportgleichung für den Volumenanteil.
------------	---

[1] (Kap. 22.8.1.5.2)

Velocity Limiting | Maximum Velocity Magnitude [m/s] (Velocity Limiting Treatment)

Beschreibung	Begrenzt die maximale Strömungsgeschwindigkeit.
--------------	---

Einstellung	Aktiviert 5000
-------------	------------------

Begründung	Unphysikalische Geschwindigkeitsspitzen und daraus resultierende Lösungsinstabilitäten werden vermieden.
------------	--

[1] (Kap. 22.8.1.5.2)

Verbosity (Velocity Limiting Treatment)

Beschreibung	Wenn die Maximalgeschwindigkeit begrenzt wird, wird dies in der TUI angezeigt.
--------------	--

Einstellung	Aktiviert
-------------	-----------

Begründung	Die Angabe kann als Indikator im Falle eines Abbruchs der Simulation verwendet werden.
------------	--

[1] (Kap. 22.8.1.5.2)