

## Termin 2: Thermalsimulation Turbinenschaufel, Conjugate Heat Transfer

### 1. Einlesen von Geometrie und Strömungsgebiet

*Leeres Modell öffnen->2D Komponente erzeugen->Geometrie2 importieren*

### 2. Festlegen der Stoffwerte des Fluids sowie verwendete Konstanten

Model Builder: Rechtsklick *Global Definitions->Parameters*

Geben Sie nun folgende Tabelle ein, *Description* können Sie vernachlässigen

Name	Expression	Value	Description
T_tot	1100[K]		total Temp. der Anströmung
T_stat	$T_{tot}/(1+(\kappa-1)/2*Ma^2)$		stat. Temp. der Antströmung
p_umg	5e5[Pa]		Umgebungsdruck
Ma	0.2		Machzahl
κ	1.3		κ
R	287 [J/kg/K]		spez. Gaskonstante
u_in	$Ma*\sqrt{\kappa*T_{tot}*R}$		Anströmgeschwindigkeit
k_umg	80.82e-3[W/m/K]		Wärmeleitfähig. Umgeb.
ν <sub>umg</sub>	372.3e-7[m <sup>2</sup> /s]		kin. Viskosität Umgeb.
Pr	0.74		Prandtlzahl
T_c	500[K]		Temp. der Kühlluft
U_c	7[m/s]		Geschw. der Kühlluft
ν <sub>c</sub>	7.15e-6[m <sup>2</sup> /s]		kin. Viskosität Kühlluft
k_c	44.2e-3[W/m/K]		Wärmeleitfähig. Kühlluft

### 3. Definition der Korrelationen für den Wärmeübergang zur Kühlung

3.1 Model Builder: Rechtsklick *Definitions*(unter Komponente1)->*a=Variable*

Settings: Wählen Sie bei *Geometry entity level-> Boundary*

Markieren Sie die Boundaries der Kühlbohrungen (7, 8, 11, 12). Mit „Minus“ können Sie eine Auswahl wieder entfernen Geben Sie folgende Tabelle ein mit der Korrelation für Rohrströmung aus der Vorlesung, der Durchmesser beträgt 0,015m:

Name	Expression	Unit
Re_s	$U_c*0.015[m]/\nu_c$	
Nu_s	$0.023*Re_s^{0.8}*Pr^{0.3333}$	
h_s	$Nu_s*k_{umg}/0.015[m]$	

3.2 Wiederholen Sie diesen Schritt für die hintere Kühlbohrung:

Model Builder: Rechtsklick *Definitions*(unter Komponente1)->*a=Variable*

Settings: Wählen Sie bei *Geometry entity level-> Boundary*

Markieren Sie die Boundaries der Kühlbohrungen (14-17). Geben Sie folgende Tabelle ein mit der Korrelation für Rohrströmung aus der Vorlesung, der Durchmesser beträgt 0,01m:

Name	Expression	Unit
Re_s	$U_c \cdot 0.01 [\text{m}] / \nu_c$	
Nu_s	$0.023 \cdot \text{Re}_s^{0.8} \cdot \text{Pr}^{0.3333}$	
h_s	$\text{Nu}_s \cdot k_{\text{umg}} / 0.01 [\text{m}]$	

#### 4. Wahl des Materials der Turbinenschaufel und umströmenden Fluids

4.1 Model Builder: Rechtsklick *Materials*->*Add Material*

Material Browser->*Built-In*->*Air*->Rechtsklick->*Add to Component 1*

4.2 Model Builder: Rechtsklick *Materials*->*Add Material*

Material Browser->*Built-In*->*Aluminum*->Rechtsklick->*Add to Component 1*

Wählen Sie Domain 2 aus (Turbinenschaufel) und fügen Sie Domain 2 der Auswahl hinzu („grünes Plus“)

Bei „Air“ sollte nun Domain 2 als „overridden“ gekennzeichnet sein

#### 5. Wahl des Moduls

Model Builder: Rechtsklick *Component 1* ->*Add Physics*

Model Wizard: *Heat Transfer* -> *Conjugate Heat Transfer* -> *Turbulent Flow* -> *Turbulent Flow, k-ε*

Klicken Sie auf: „Add to Component“

#### 6. Festlegen der Randbedingungen

6.1 Wählen Sie die Domain für das Strömungsfeld:

Model Builder: *Turbulent Flow, k-ε*

Settings: Wählen Sie unter *Selection*->*Manual* und fügen Sie Domain 1 der Auswahl hinzu („Plus“).

6.2 Legen Sie die Randbedingungen für das Strömungsfeld fest:

Model Builder: Rechtsklick *Turbulent Flow, k-ε*

->*Inlet (Boundary 1)*: Settings:  $U_0 = u_{\text{in}}$

->*Outlet (Boundary 4)*: Settings: /

->*Symmetry (Boundaries 2, 3)*: Settings: /

6.3 Weisen Sie den Domains den entsprechenden Wärmetransport zu:

Model Builder: *Heat Transfer in Solids* -> *Heat Transfer in Fluids*

Settings: Wählen Sie unter *Selection*->*Manual* und fügen Sie Domain 1 der Auswahl hinzu („Plus“). Bei „*Heat Transfer in Solids 1*“ sollte nun Domain 1 als „overridden“ gekennzeichnet sein

6.4 Legen Sie die Randbedingungen für den Wärmeübergang fest:

Model Builder: Rechtsklick *Heat Transfer in Solids*

->*Outflow (Boundary 4)*: Settings: /

->*Temperature (Boundary 1)*: Settings:  $T_0 = T_{\text{stat}}$

-> *Heat Flux (Boundaries 7, 8, 11, 12 & 14-17)*: Settings: *Convective heat flux*

->  $h = h_s; T_{\text{ext}} = T_c$

Kontrollieren Sie, dass in „*Thermal Insulation 1*“ die Boundaries 2,3 und für „*Wall 1*“ die Boundaries 5,6,9,10,13 **automatisch** gewählt wurden. Bei „*Wall*

1“ ist „Wall functions“ gewählt und damit die in der Vorlesung besprochen Wandfunktion als auch thermische Wandfunktion aktiviert.

## 7. Festlegen der Startbedingungen

7.1 Startbedingungen für das Strömungsfeld:

Model Builder: *Turbulent Flow, k-ε*->*Initial Values:*  
Settings: \

7.2 Startbedingungen für den Wärmetransport:

Model Builder: *Heat Transfer in Solids*->*Initial Values:*  
Settings: Geben Sie bei *Temperature* „T\_stat“ ein

Speichern Sie den Stand unter File->Save As

## 8. Vernetzen des Rechengebiets

Model Builder: Rechtsklick auf Komponente 1 -> *Mesh*

Model Builder: *Mesh*

Settings: Wählen Sie unter *Sequence type*->*Physics-controlled mesh* und unter *Element size*->*Normal*

Hier können Sie dann die Zellgröße variieren um Auswirkungen der Gitterweite auf das Simulationsergebnis zu überprüfen.

Model Builder: Rechtsklick *Mesh1*->*Build All*

## 9. Einstellen des Löser

Model Builder: Rechtsklick im root-Verzeichnis, hier „Termin2“ und wählen Sie „Add Study“.

Model Wizard: Wählen Sie unter *Preset Studies*->*Stationary*  
Klicken Sie auf: „Add Study“

## 10. Numerisches Lösen der Gleichungen

Model Builder: Rechtsklick auf *Study 1*->*Compute*

## 11. Auswerten der Rechenergebnisse

Darstellen von farbigen Konturplots:

Model Builder: Rechtsklick auf *Result*->*2D Plot Group* und Rechtsklick auf *2D Plot Group*-> *Surface*

Settings: Hier können Sie unter *Expressions* die Variable darstellen. „Plus“ oder „Pfeile“ bieten eine Auswahl an, „Plot“ in Tableiste (F8) stellt den Plot dar. Über „Range“ können Sie den Farbbereich verändern um den Temperaturverlauf z.B. in der Schaufel besser darstellen zu können.

Darstellen von Stromlinien/Vektorplots:

Model Builder: (Rechtsklick auf *Result*->*2D Plot Group* und) Rechtsklick auf *2D Plot Group*-> *Streamline* oder *Arrow Surface*

Settings: Hier können Sie unter *Expressions* „u“ und „v“ eintragen, „Plot“ in Tableiste (F8) stellt den Plot dar.

Weitere Einstellungen zur besseren Visualisierung der Stromlinien sind beispielsweise:

-> *Positioning* -> *Uniform Density*; *Separating distance* -> *0.02*

-> *Line type* -> *Line*; *Colour* -> *white*

Darstellen von Linienplots:

Model Builder: Rechtsklick auf *Result*->*1D Plot Group* und Rechtsklick auf *1D Plot Group*-> *LineGraph*

Settings: Hier können Sie unter *Expressions* die Variable darstellen. „Plus“ bietet eine Auswahl an, „Plot“ in Tableiste (F8) stellt den Plot dar.

Unter *Selection* können Sie eine Boundary auswählen.

## 12. Weiteres Vorgehen

a) Auf der Saugseite der Schaufel sollte sich eine Rückströmungszone ausbilden, die man nur erhält, wenn man die Schaufelumströmung genügend fein auflöst. Dazu gehen Sie, wenn nötig, wie folgt vor:

Model Builder: *Mesh*

Settings: Wählen Sie unter *Sequence type*->*User-controlled mesh*

Model Builder: *Mesh*->*Size*

Settings: Wählen Sie unter *Element Size*->*Calibrate for* -> *General Physics* und *Custom*

Unter *Element Size Parameters* geben Sie ein:

*Maximum element size*: 0.0026

*Minimum element size*: 1.5e-5

*Maximum element growth rate*: 1.3

Model Builder: *Mesh*->*Size1*

Settings: Wählen Sie unter *Geometry entity level*->*Boundary* und wählen Druck- und Saugseite der Schaufel aus. Unter *Element Size*->*Calibrate for* -> *Fluid dynamics* und *Custom*

Unter *Element Size Parameters* gebe Sie ein:

*Maximum element size*: 0.0004

*Minimum element size*: 1.e-5

*Maximum element growth rate*: 1.2

Model Builder: *Mesh*->*Size2*->*Disable*

Fügen Sie außerdem eine Randschicht ein, um den Einfluss der numerischen Ungenauigkeit zu reduzieren.

Model Builder: *Boundary Layers* 1

Settings: Wählen Sie *Domain 1* aus (Strömungsfeld)

Unter *Corner Setting*->*Handling of sharp corners*->*Splitting* wählen (vergleichen Sie es mit *Trimming* anhand der Hinterkante des Profils)

Boundary Layer Properties:

*Number of boundary layers*: 24

*Boundary layer stretching factor*: 1.15

*Thickness of first layer*: 0.003 m

Rechtsklick *Mesh1*->*Build All* und starten Sie erneut die Simulation.

- b) Werten Sie „y+“ hier als „spf.d\_w\_plus“ bezeichnet auf der Schaufel aus. Entsprechend der Vorlesung sollten Sie unter „30“ liegen.
- c) Werten Sie den Wärmestrom „ht.ntflux“ und den Wärmeübergangskoeffizienten an der Schaufeloberfläche sowie den Temperaturverlauf in der Schaufel aus und vergleichen Sie die Daten mit den Verläufen aus letzter Woche
- d) Untersuchen Sie das Geschwindigkeitsfeld, die Turbulenzgrößen, ... auf Plausibilität
- e) Variieren Sie unter *Turbulent Flow, k-ε->Inlet 1* die Turbulenzgrößen am Einlass um Auswirkungen auf das Simulationsergebnis zu untersuchen. Nutzen Sie für weitere Informationen zu den Turbulenzgrößen die eingebaute Hilfe.