
BladeDesigner3D Manual

Manual für den parametrischen
BladeDesigner3D
Version 2010-07-05

Verfasser: Balint Balassa

Stand: 8. Juli 2010

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
1 Einleitung	1
2 Profilerzeugung	3
2.1 Skelettlinie	3
2.1.1 Kreisbogenskelettlinie	4
2.1.2 Polynom	4
2.1.3 <i>NURBS</i>	5
2.1.4 NACA-65	5
2.2 Dickenverteilung	5
2.2.1 Potenzfunktion	5
2.2.2 <i>NURBS</i>	6
2.2.3 NACA-65	6
2.2.4 Elliptische Dickenverteilung	6
2.3 Doppelkreisbogenprofil	6
2.4 Diskretisierung	6
3 Schaufelreihen	8
3.1 Lineare Kaskade	8
3.2 Turbomaschine	8
4 Die gesamte Turbomaschine	10
4.1 Speichern und Laden	10
5 SCM Mesher	11
5.1 Parameter	11
6 Eine Klick- und Tippanleitung anhand eines generischen Beispiels	14
6.1 Rotor	14
6.1.1 Rotorprofile	16
6.2 Stator	19
6.2.1 Statorprofile	20
6.3 Turbomaschine	21

Abbildungsverzeichnis

2.1	Wichtige Winkel für die Profildefinition	4
6.1	Eingabe der Parameter für den Rotor	15
6.2	Eingabe für Profil 1 des Rotors	16
6.3	Rotorprofil 1	17
6.4	Die Rotorreihe	18
6.5	Eingabeparameter des Stators	19
6.6	Profil 1 des Stators	20
6.7	Geometrie der gesamten Turbomaschine	21

Kapitel 1

Einleitung

In den letzten Jahren gewann OpenSource Software mehr und mehr an Bedeutung in vielen unterschiedlichen Fachbereichen. Moderne GNU/Linux Distributionen können mittlerweile mit proprietären Betriebssystemen konkurrieren, sowohl bei Desktopanwendungen, als auch bei Serverapplikationen. OpenSource Software hat vor allem die Vorteile, dass sie kostenlos erhältlich, und der Quellcode frei einsehbar ist. Durch diese beiden Aspekte eignet sie sich sehr gut für die Lehre.

CAD Programme wie CATIA oder AutoCAD, besitzen nicht die geeignete Funktionalität, um parametrische Strömungsflächen zu beschreiben. Aus dieser Motivation heraus entwickelte sich der *BladeDesigner3D*. Mit seiner Hilfe können Profilgeometrien mit Hilfe von 3D-*NURBS*-Kurven (Non Uniform Rational Basis Splines) parametrisch definiert und beeinflusst werden. Anschließend lassen sich die Profile im dreidimensionalen Raum positionieren und manipulieren, sodass eine 3D-*NURBS*-Schaufelfläche interpoliert werden kann. Es besteht ebenfalls die Möglichkeit entsprechende Naben- und Gehäusekonturen parametrisch zu beschreiben. Mehrere solcher Schaufelreihen können zu einer Turbomaschine zusammengefügt werden. Diese Ergebnisse werden zwei- bzw. dreidimensional auf dem Bildschirm ausgegeben.

Der *BladeDesigner3D* baut auf einer streng hierarchischen Baumstruktur auf, ähnlich den Linux Betriebssystemen. Ausgehend vom Hauptknoten (engl. *root*, Wurzel) werden Unterknoten erstellt, die wiederum selbst Unterknoten enthalten können. Der Hauptknoten im Falle des *BladeDesigner3D*, ist die gesamte Turbomaschine. Diese Turbomaschine besteht aus mindestens einem Schaufelreihenknoten. Jeder Schaufelreihenknoten besteht aus mindestens fünf Profilknoten und den schaufelreihenspezifischen Daten, wie z.B. den Naben- bzw. Gehäusekonturen und der Winkelgeschwindigkeit ω . Jeder Profilknoten besteht seinerseits aus Daten wie den An-, Abström- und Stafflungswinkeln, Profildicke usw.

Der *BladeDesigner3D* ist (größtenteils von Studenten im Rahmen von Semesterarbeiten) komplett in Python geschrieben. Es sind Schnittstellen für XML zum Abspeichern, und für CGNS zum Exportieren der Geometrien implementiert. Es handelt sich bei Python um eine Skriptsprache, deren oberstes Ziel es ist, möglichst einfach erlernbar und gut lesbar zu sein. Der Quellcode der Berechnungsalgorithmen geht über etwa 7000

Zeilen, wobei die grafische Oberfläche noch zusätzlich etwa 8000 Zeilen zählt. Diese Zahlen wirken vielleicht einschüchternd auf den programmierfernen Benutzer; Es darf aber nicht außer Acht gelassen werden, dass bei der Implementierung großer Wert auf Lesbarkeit und Nachvollziehbarkeit gelegt wurde. Der Code ist thematisch unterteilt, lesbar formatiert und ausführlich kommentiert.

Der *BladeDesigner3D* ist ein Teil des Projektes, die Auslegung von Turbomaschinen komplett mit OpenSource Software bewerkstelligen zu können. Einige Aspekte der Auslegung konnten bereits mit vorhandenen Programmen (OpenFOAM, ParaView...) abgedeckt werden. Andere Programme wurden hingegen gezielt erstellt, um vorhandene Lücken zu füllen. An dieser Stelle sei auf Tools wie dem Mittelschnittsprogramm *Mittel*, das Stromlinienkrümmungsverfahren *SKV* und einigen weiteren verwiesen, die auf <ftp://ftp.lfa.mw.tum.de/> zu finden sind.

Dieses Manual erläutert die Arbeitsweise der *BladeDesigner3D* GUI (Graphical User Interface). Es wird auf den vollen Umfang der Funktionalität eingegangen, wobei zu Verständnis Zwecken beispielhaft ein vollständiger parametrischer Designvorgang eines einstufigen (zwei Schaufelreihen) Verdichters vorgestellt wird.

Kapitel 2

Profilgenerierung

Ein gutes Schaufelprofil bildet die Grundlage einer jeden funktionierenden Turbomaschine. Einige wichtige Parameter, die eine Schaufel beschreiben, lassen sich durch eindimensionale Berechnungen bestimmen. Weit verbreitet ist das Mittelschnittverfahren, das brauchbare Ergebnisse liefert für ein erstes Design. Mit solchen Daten, kann der *BladeDesigner3D* eine parametrische Darstellung von Schaufelprofilen erzeugen und anzeigen lassen. Grundsätzlich funktioniert die Profilgenerierung des *BladeDesigner3D* durch Erstellen einer Skelettlinie und anschließendem Aufprägen der Dickenverteilung. Eine Ausnahme bildet das Erstellen eines Doppelkreisbogenprofils, worauf aber in Abschnitt 2.3 genauer eingegangen wird. Im Folgenden soll die Generierung von Profilen erläutert werden. Dabei wird darauf verzichtet, einen genauen Blick auf die zugrundeliegenden Algorithmen zu werfen. Es sei aber auf die entsprechende Semesterarbeit von Fellerhoff [?] verwiesen. Vier verschiedene Skelettliniendefinitionen, fünf Dickenverteilungen und mehrere Diskretisierungsmethoden stehen zur Auswahl. Wegen der Eigenheit eines Doppelkreisbogenprofils ist dafür eine beliebige Zusammensetzung der Methoden nicht gegeben. Die Profilgenerierung findet in einer zweidimensionalen xy-Ebene statt.

2.1 Skelettlinie

Es stehen vier unterschiedliche Möglichkeiten zur Auswahl, eine Skelettlinie zu definieren. Dabei muss beachtet werden, dass für ein Doppelkreisbogenprofil nur eine Kreisbogenskelettlinie in Frage kommt.

Skelettlinien werden normiert definiert, das heißt die Sehnenlänge beträgt in x -Richtung stets 1. Trotzdem muss die Sehnenlänge in Millimetern vorgegeben werden, damit die Schaufel später ihre richtige Größe erreicht. Außerdem wird die Angabe eines Staffellungswinkels verlangt, um die Profile in ihre korrekte Position zu drehen.

Wesentliche Parameter von Skelettlinien sind die Anstellwinkel χ_1 , Abströmwinkel χ_2 und Staffellungswinkel γ . Für den Rotor ergibt sich:

$$\chi_1 = \beta_1 - \gamma \quad (2.1.1)$$

$$\chi_2 = \beta_2 - \gamma \quad (2.1.2)$$

Bei Statoren müssen nur die Winkel β_i durch die entsprechenden Winkel α_i ersetzt werden.

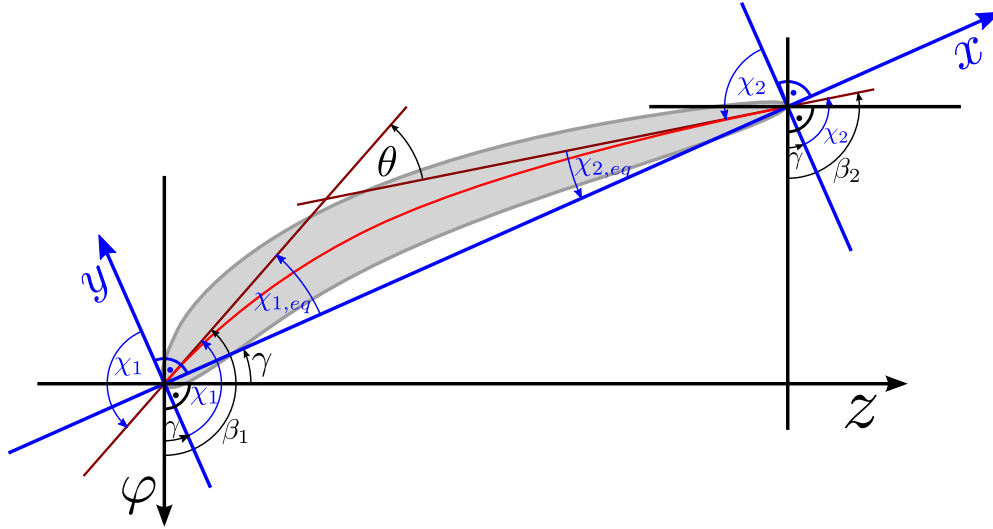


Abb. 2.1: Wichtige Winkel für die Profilerzeugung

2.1.1 Kreisbogenskelettlinie

Die Kreisbogenskelettlinie wird ausschließlich durch Anstellwinkel χ_1 und Abströmwinkel χ_2 definiert. Daraus ergibt sich der Öffnungswinkel θ des Kreisbogens zu $\theta = \chi_1 - \chi_2$. Anfang und Ende der Skelettlinie sind im xy-Koordinatensystem auf (0,0) und (1,0) gelegt.

Bei der Festlegung dieser Winkel muss in Rotoren beachtet werden:

$$\gamma = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} - 90^\circ \quad (2.1.3)$$

Bei Statoren müssen nur die Winkel β_i durch die entsprechenden Winkel α_i ersetzt werden.

Im Grunde können Anstellwinkel χ_1 und Abströmwinkel χ_2 des Kreisbogens beliebig definiert werden (unabhängig von der Geometrie), solange ihr Differenzwinkel θ in Ordnung ist. Es sollten aber dennoch sinnvolle Winkel gewählt werden (siehe Gleichungen 2.1.1 bis 2.1.3), um bei einem eventuellen Umstieg auf Polynome höherer Ordnung eine Fehlermeldung zu vermeiden, und die Anschaulichkeit zu bewahren!

2.1.2 Polynom

Hier wird zwischen verschiedenen Graden des Polynoms unterschieden. Bei einem Polynom 2. Grades wird aus Symmetrie Gründen nur der Anstellwinkel χ_1 eingelesen. Dieser wird automatisch programmintern auch für den Abströmwinkel χ_2 gesetzt. Ein

Polynom 3. Grades hingegen benötigt die Angabe von sowohl An- als auch Abströmwinkel. Polynome 4. Grades werden durch Festlegen der An- und Abströmwinkel und der normierten Rücklage des Skelettliniemaximums definiert.

2.1.3 *NURBS*

Die Skelettlinie kann auch durch *NURBS*-Kurven definiert werden. Dazu werden mindestens 8 Kontrollpunkte vorgegeben, die den Verlauf der Kurve bestimmen. Diese Kontrollpunkte liegen meist nicht auf der Skelettlinie selbst (Ausnahme: Enden). An dieser Stelle sei auf einschlägige Literatur verwiesen [?]. Die Kurven werden jedoch automatisch an die vorgegebenen An- und Abströmwinkel angepasst.

2.1.4 *NACA-65*

Diese Skelettlinie ist einem Kreisbogensegment recht ähnlich. Es können jedoch keine An- bzw. Abströmwinkel definiert werden. Stattdessen wird die Skelettlinie nur durch einen Nullauftriebsbeiwert C_{A0} festgelegt.

2.2 Dickenverteilung

Die Dickenverteilung wird senkrecht zu der Skelettlinie aufgeprägt (Ausnahme Doppelkreisbogenprofil). Dazu wird die Steigung der Skelettlinie am entsprechenden Punkt berechnet, und die Senkrechte gebildet. Anschließend wird je ein Punkt auf der Saugseite, und ein Punkt auf der Druckseite der Schaufel entlang dieser Senkrechten mit Hilfe der Dickenverteilung bestimmt. Bei Angabe einer maximalen Dicke muss diese normiert zur Sehnenlänge angegeben werden [0,1].

2.2.1 Potenzfunktion

Es steht eine Potenzfunktion zur Definition der Dickenverteilung zur Verfügung. Hierbei hat die Option “maximale Dicke” keinen Effekt, denn die Dickenverteilung wird allein durch Koeffizienten festgelegt. Die Gleichung lautet:

$$D(x) = p_0(x^{p_1} - x^{p_2})^{\frac{1}{p_3}} + b_4x^4 + b_3x^3 + b_2x^2 + b_1x + b_0 \quad (2.2.1)$$

Dabei kann diese Potenzfunktion direkt durch seine Koeffizienten festgelegt werden, oder sie kann angenähert werden, wobei einige Koeffizienten wegfallen, aber dafür anschaulichere Größen angegeben werden müssen. Für die approximierte Potenzfunktion müssen relative Dickenrücklage, Krümmungsradius im Dickenmaximum und der Koeffizient p_3 angegeben werden. Dem Nutzer stehen danach vier Möglichkeiten zur Auswahl. Reduzierung auf ein Gleichungssystem 3. Ordnung durch

- Vorgabe der Koeffizienten p_0 und a_4

- Setzen von $a_3 = a_4 = 0$

oder Reduzierung auf ein Gleichungssystem 4. Ordnung durch

- Setzen von $a_4 = 0$
- Vorgabe von p_0

2.2.2 *NURBS*

Analog zu Abschnitt 2.1.3 kann eine *NURBS*-Kurve definiert werden, die die Dickenverteilung festlegt. Der Unterschied hier liegt aber in den Endtangenten, die bei der Dickenverteilung automatisch senkrecht gestellt werden, um einen stetigen Übergang von Profilaugseite zu Profildruckseite zu gewährleisten.

2.2.3 NACA-65

Um eine bewährte NACA-65 Dickenverteilung zu erhalten, muss die maximale Dicke der Schaufel angegeben werden. Diese Dicke ist in diesem Fall die einzige Stellgröße.

2.2.4 Elliptische Dickenverteilung

Die elliptische Dickenverteilung wird ebenfalls ausschließlich durch eine einzige Größe festgelegt. Durch Vorgabe der maximalen Dicke kann diese einfache Verteilung bestimmt werden.

2.3 Doppelkreisbogenprofil

Ein Doppelkreisbogenprofil stellt in dieser Reihe eine Besonderheit dar. Sie benötigt nämlich keine eigene Skelettlinie, der eine Dickenverteilung aufgeprägt wird. Vielmehr ergibt sich die Profilkontur aus den benötigten Parametern, und eine Skelettlinie muss durch das Programm an das Profil angepasst werden. Die erforderlichen Eingangsgrößen sind An- und Abströmwinkel, um den Öffnungswinkel zu berechnen, normierter Nasenradius, die maximale Dicke des Profils, und die Auflösung der Skelettlinie. Hinweis: Da sich die Skelettlinie wie in Abschnitt 2.1.1 verhält, ist bei der Wahl der An- und Abströmwinkel besondere Vorsicht geboten!

2.4 Diskretisierung

Die Diskretisierung der Skelettfunktion und der Dickenverteilung erfolgt nach dem Tridiagonal-Matrix-Algorithmus (TDMA). Es wird bestimmt, mit welchen diskreten Punkten der Funktion gerechnet werden soll. Erforderlich ist grundsätzlich die Angabe der Profilauflösung. Es empfiehlt sich dafür eine Zahl um die Größenordnung von 200 zu wählen.

Die Gewichtungsfunktionen erreichen eine Anhäufung von Punkten an der Vorder- und Hinterkante. Das ist deswegen von Bedeutung, da \mathcal{NURBS} -Kurven und -Flächen sonst Schwierigkeiten haben, die Vorderkante und Hinterkante ausreichend genau zu approximieren. Zur Auswahl stehen

- Krümmung der Dickenverteilung
- Parabel
- Kubische Parabel
- Tangens
- Arcussinus
- Hyperbel
- Polygonzug

Erfahrungswerte zeigen, dass Gewichtungen mit Tangens und Hyperbel die besten Ergebnisse liefern, siehe Abb ??.

Kapitel 3

Schaufelreihen

Der *BladeDesigner3D* bietet die Möglichkeit neben einer Turbomaschinengeometrie auch eine Kaskadengeometrie zu erstellen. Bei beiden Arten müssen Schaufelreihennummer, Anzahl der Schaufeln vorgegeben werden. Im Gegensatz zur regulären Turbomaschine sind bei der Kaskade die begrenzenden Flächen keine rotationsymmetrischen, sondern ebene Flächen, und die Schaufelverwindung fällt weg (vereinfacht: Lamellen in einem Kasten). Daraus ergeben sich unterschiedliche Eingabeparameter.

3.1 Lineare Kaskade

Bei einer Schaufelkaskade wird zusätzlich zu den oben genannten Parametern die Eingabe des kaskadenspezifischen Schaufelabstandes, der Schaufelhöhe, der Kaskadenlänge und die Rücklage der Fädellinie erwartet. Die Fädellinie ist die Linie, auf der die Profile durch ihre Fädelpunkte mit dem Staffelungswinkel γ aufgefädelt werden. Mit diesen Werten ist die Berechnung, Anzeige und Ausgabe der Kaskade möglich.

3.2 Turbomaschine

Eine zentrale Rolle bei Turbomaschinen spielt die Winkelgeschwindigkeit ω . Diese muss folglich für jede Schaufelreihe angegeben werden, um zwischen Rotor und Stator unterscheiden zu können. Turbomaschinenspezifische Schaufelreihen können durch zwei Varianten definiert werden. Einerseits durch Vorgabe der Fädellinie, der Fädelpunkte und der Sehnenlänge, und andererseits durch Vorgabe der Vorder- und Hinterkante und dem Winkelversatz. Bei beiden Varianten muss jedoch der rotationsymmetrische Verlauf von Nabe und Gehäuse vorgegeben werden. Dazu genügt es, wenn je ein Satz von (r, z) -Koordinaten eingegeben wird. Das Programm legt dann eine *NURBS*-Kurve durch diese Koordinaten. Außerdem muss die Verteilung der Profilschnitte in quasiorthogonaler Richtung festgelegt werden (von Nabe nach Gehäuse, senkrecht zur Strömungsrichtung $[0,1]$). Dies geschieht entweder automatisch flächengleich (S3-Ebene nach Wu), oder kann durch den Benutzer vorgegeben werden.

Darüber hinaus muss entweder Fädellinie und Fädelpunkt mit je einem Satz von (r, z) -Koordinaten vorgegeben werden (Variante 1), oder analog dazu Vorderkante und Hinterkante (Variante 2), wobei in beiden Fällen der Winkelversatz in Umfangsrichtung der einzelnen Profile (lean, bow) erforderlich ist.

Die Abbildung der Winkel kann auf einer von drei möglichen Weisen erfolgen. Eine winkelonforme Abbildung dreht die ebene 2D-Skelettlinie und das ebene 2D-Profil auf die richtige Zylindermantelfläche. Die 2D-Dickenverteilung kann aber auch direkt auf die bereits 3D-gekrümmte Skelettlinie aufgeprägt werden. Die dritte Möglichkeit besteht darin, keine winkelonforme Abbildung zu benutzen, sondern das ebene 2D-Profil einfach in den 3D-Raum abzubilden.

Nach der Eingabe ist die Berechnung, Anzeige und Ausgabe der Schaufelreihe möglich.

Kapitel 4

Die gesamte Turbomaschine

Wenn alle Profile und Schaufelreihen definiert wurden, kann die gesamte Turbomaschine angezeigt werden. Dazu muss in der Objekthierarchie einfach die Turbomaschine ausgewählt werden, und mit dem Button “Berechnen” die Berechnung gestartet werden. Nach einigen Sekunden ist die Berechnung abgeschlossen, und das Ergebniss kann in dem Reiter “Plot” angezeigt werden.

Die Anbindung an das Stromlinienkrümmungsverfahren ist in der GUI noch nicht implementiert, kann aber mit einem einfachen selbsterstellten Python Skript hergestellt werden.

4.1 Speichern und Laden

Um eine Turbomaschine abzuspeichern, ist der *BladeDesigner3D* mit einer XML Anbindung ausgestattet. Die eingegebenen Parameter werden in eine XML Datei eingefügt, und in einen vorgebenen Zielordner abgespeichert. Die abgespeicherte XML-Datei übernimmt den Namen des Zielordners. Es ist empfehlenswert einen neuen Ordner mit einem kennzeichnenden Namen zu erstellen, der als Zielordner fungieren soll.

Das Laden erfolgt analog zum Speichern. Es wird ein Quellordner ausgewählt, in dem die gleichnamige XML-Datei enthalten ist. Bei einem Fehler wird die Datei nicht geöffnet, sondern eine einreihige Turbomaschine mit einem Standardprofil angezeigt.

Kapitel 5

SCM Mesher

Der SCMMesher ist der Teil des *BladeDesigner3D*, der die Turbomachinengeometrie für die Zwecke eines Stromlinienkrümmungsverfahrens vernetzt, und das entsprechende Inputformat liefert. Der Name SCMMesher kommt dabei aus dem Englischen für “Streamline Curvature Method” oder kurz SCM und Mesher, also dem Vernetzer.

Da das Stromlinienkrümmungsverfahren (SKV) ein 2D-Berechnungsverfahren ist, wird ein 2D-Netz als Inputdatei benötigt. Die Turbomaschine des *BladeDesigner3D* stellt jedoch eine 3D-Geometrie dar, und muss daher um die Maschinenachse in die Meridianebene gedreht werden. In einem (r, φ, z) Koordinatensystem wird also der Winkel φ einfach zu 0! Jede Schaufelreihe wird in drei Blöcke unterteilt: Ringraum vor der Schaufelreihe, Schaufelraum und Ringraum nach der Schaufelreihe.

Bei der Vernetzung muss dabei drauf geachtet werden, dass das Netz bestimmten Anforderungen genügt. Da das SKV *NURBS* Kurven zur Größeninterpolation benutzt, darf kein Block weniger als 4 Knoten entlang einer Kante haben. Daraus ergibt sich eine Mindestanzahl von 3 Zellen für jeden Block.

Aktuell gibt es keine GUI Anbindung des SCMMesher, und der Aufruf muss daher durch ein selbstgeschriebenes Skript erfolgen. Das Skript ist vom Aufbau her recht simpel, und sollte daher auch von Laien bedient werden können.

5.1 Parameter

Der Dateiname des Skripts ist vollkommen egal. Es kommt nur darauf an, dass die abgespeicherte xml Datei der Turbomaschine richtig eingelesen werden kann. Die einzelnen Parameter sind standardmäßig so festgelegt, dass der generische Testverdichter ein sinnvolles Netz für die Demonstration liefert. Im Folgenden sollen diese Parameter detailliert erläutert werden.

Parameter	Beschreibung
debug	Debug Modus: Wieviel Text soll ausgegeben werden bei der Berechnung
AxialGradingBlock1	Grading in axialer Richtung des Blocks vor der Schaufel
AxialGradingBlock2	Grading in axialer Richtung des Schaufelraums
AxialGradingBlock3	Grading in axialer Richtung des Blocks nach der Schaufel
block1_cells_ax[n]	Anzahl der Zellen des Blocks vor der n-ten Schaufel in axialer Richtung (n=0 ist erste Schaufel)
block2_cells_ax[n]	Anzahl der Zellen des n-ten Schaufelblocks in axialer Richtung (n=0 ist erste Schaufel)
block3_cells_ax[n]	Anzahl der Zellen des Blocks nach der n-ten Schaufel in axialer Richtung (n=0 ist erste Schaufel)
block_cells_rad	Anzahl der Zellen in radialer Richtung
sep	NURBS Interpolationsparameter (siehe NURBS++ Doku)
tolerance	NURBS Interpolationsparameter (siehe NURBS++ Doku)
maxIteration	NURBS Interpolationsparameter (siehe NURBS++ Doku)
massflow	Massenstrom durch die Turbomaschine
totalPressure[i]	Totaldruck am Einlauf auf Stromlinie i
totalTemperature[i]	Totaltemperatur am Einlauf auf Stromlinie i
c_u[i]	Absolute Umfangsgeschwindigkeit am Einlauf auf Stromlinie i
staticPressure[j]	Statischer Druck auf Nabe an Quasiorthogonale j
maxEntropy	Entropie am Austritt
minEntropy	Entropie am Einlauf
CGNS	Ausgabeformat: True für CGNS, False für Textdatei

Falls das CGNS Format gewählt wird, stehen weitere Möglichkeiten zur Auswahl.

Parameter	Beschreibung
cgnsOutput.debugLevel	Debugmodus für CGNS Ausgabe
cgnsOutput.mergeBlocks	Fasst benachbarte Ringraumblöcke zusammen
cgnsOutput.oneBlockPerRow	Fasst die 3 Blöcke einer Schaufelreihe zusammen
cgnsOutput.writeExponents	Schreibe CGNS Einheiten
cgnsOutput.CU	Schreibe Drall am Einlauf
cgnsOutput.staticPressure	Schreibe statischen Nabendruck

Für das Verständnis ist es sinnvoll eine Beispieldatei (scmmesher-test.py) selbst durchzugehen.

Kapitel 6

Eine Klick- und Tippanleitung anhand eines generischen Beispiels

Der *BladeDesigner3D* besitzt eine grafische Oberfläche, auch GUI (Graphical User Interface) genannt. Er wird mit einer Schaufelreihe initiiert, die bereits ein Profil enthält. Aktuell kann unter Einstellungen die Sprache von Deutsch auf Englisch umgestellt werden.

6.1 Rotor

Wird in der Objekthierarchie die Turbomaschine aufgeklappt und die erste Schaufelreihe ausgewählt, so öffnet sich das Schaufelreihen Fenster. Unter dem Punkt “Allgemeine Eingabe” müssen zuerst einige Parameter definiert werden: Schaufelreihe 1 hat die Schaufelreihennummer 0. Die Anzahl der Schaufeln soll im Beispiel 23 betragen. Als Winkelgeschwindigkeit kann z.B. 1000 festgelegt werden, was diese Schaufelreihe zum Rotor macht.

Unter dem Punkt Flags soll als Schaufelart “Fädellinie, Fädelpunkte und Sehnenlänge” eingestellt werden. Debug je nach Interesse. Die Profilverteilung in quasiorthogonaler Richtung wird in diesem Fall benutzerdefiniert. Außerdem soll eine winkelonforme Abbildung benutzt werden.

Die Nabe, Gehäuse, Fädellinie und Profilverteilung entlang der Quasiorthogonalen sollen mit Koordinaten aus Tab. 6.1 gefüttert werden. Dazu werden die entsprechenden Koordinaten in die Eingabefelder eingegeben, die mit “z” und “r” beschriftet sind. Zuerst wird die “z” Koordiante eingegeben. Die Bestätigung mit Enter sorgt dafür, dass die Eingabe automatisch in das “r” Feld springt. Erneutes Drücken von Enter liest den Punkt ein. Analog kann auch das Pluszeichen benutzt werden um die Koordinaten einzulesen. Soll eine Koordinate konstant bleiben, muss sie nur einmal eingegeben werden, und das Häkchen bei “Lock” gesetzt werden: Jetzt muss nur noch die andere Koordina-

te eingegeben werden! Bei einer Falscheingabe kann das angeklickte Koordinatenpaar mit dem Minuszeichen entfernt werden, oder durch direkte Korrektur sofort verbessert werden (Anklicken und Eingeben).

Es muss beachtet werden, dass die Fädellinie von Nabe zu Gehäuse reicht! Wenn keine Fädelpunkte angegeben werden, wird der Schwerpunkt des Profils approximiert und als Fädelpunkt benutzt.

z	r	z	r	z	r	Profil	Wert
0	125.104	0	192.468	40	125.104	1	0
20	125.915	20	192.468	40	141.945	2	0.25
40	126.726	40	192.468	40	158.786	3	0.5
60	127.537	60	192.468	40	175.627	4	0.75
80	128.348	80	192.468	40	192.468	5	1

(a) Nabe (b) Gehäuse (c) Fädellinie (d) Profilverteilung

Tabelle 6.1: Definition der Naben, Gehäuse, Fädellinienkoordinaten und Verteilung der Profile entlang der Quasiorthogonalen der 1. Schaufelreihe

Nach der Eingabe aller Parameter für den Rotor sollte sich ein Bild ähnlich zu Abb. 6.1 ergeben.

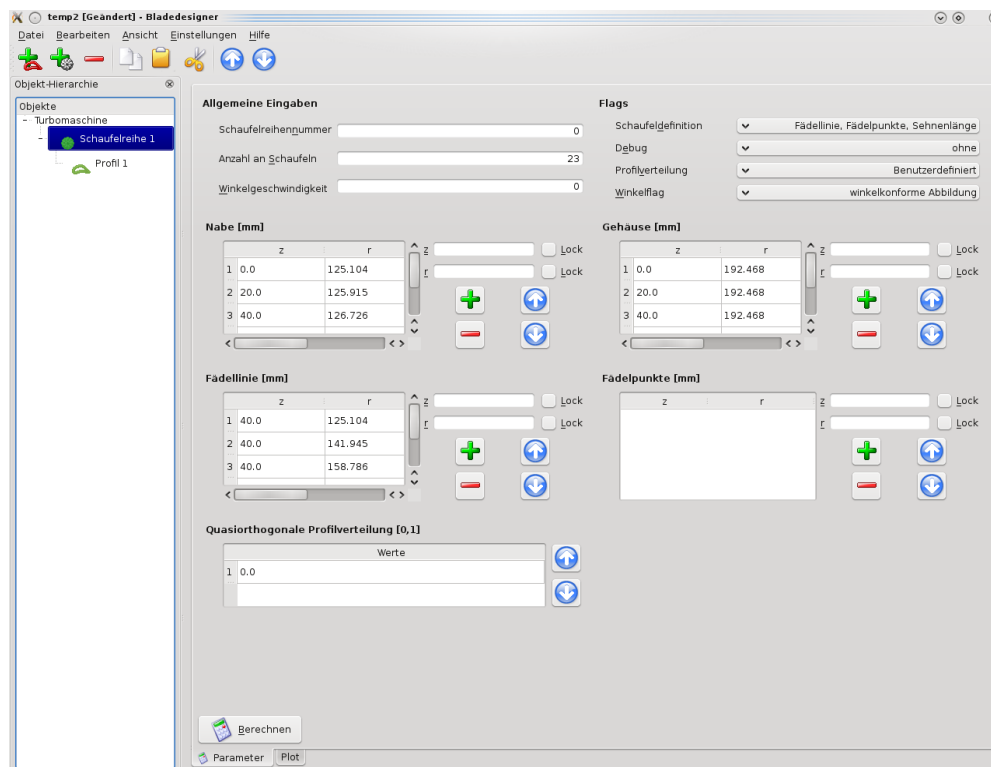


Abb. 6.1: Eingabe der Parameter für den Rotor

6.1.1 Rotorprofile

Um das erste Profil auswählen zu können, muss in der Objekthierarchie die Schaufelreihe aufgeklappt werden. Unter dem Punkt Optionen soll die Skelettlinie durch einen Kreisbogen definiert werden. Die Dickenverteilung soll polynomisch vorgegeben werden. Dazu muss bei "Polynomkoeffizienten anzeigen" ein Häkchen gesetzt werden, und unter dem Punkt Zusätzliches bei Dickenmethode die Option "polynomisch" ausgewählt werden. Die Gewichtung soll durch diverse Gewichtungsfunktionen erfolgen, speziell mit Hilfe einer Geraden. Es wird eine Sehnenlänge von 51.76mm gewählt, und der Staffelungswinkel $\gamma = 13.5^\circ$ gesetzt. Die Profilauflösung soll 200 betragen. Bei den Polynomkoeffizienten wird die direkte Methode gewählt, und es werden die Werte aus Tab. 6.2 verwendet.

$p_0 = 4.7$	$a_0 = 0.0$
$p_1 = 0.71143029$	$a_1 = 0.09280047$
$p_2 = 0.71323412$	$a_2 = 0.1305026$
$p_3 = 1.3$	$a_3 = -0.55961045$
	$a_4 = 0.33630738$

Tabelle 6.2: Polynomkoeffizienten für Dickenverteilung der Profile

Nach der Eingabe dieser Daten sollte die GUI ähnlich zu Abb. 6.2 aussehen.

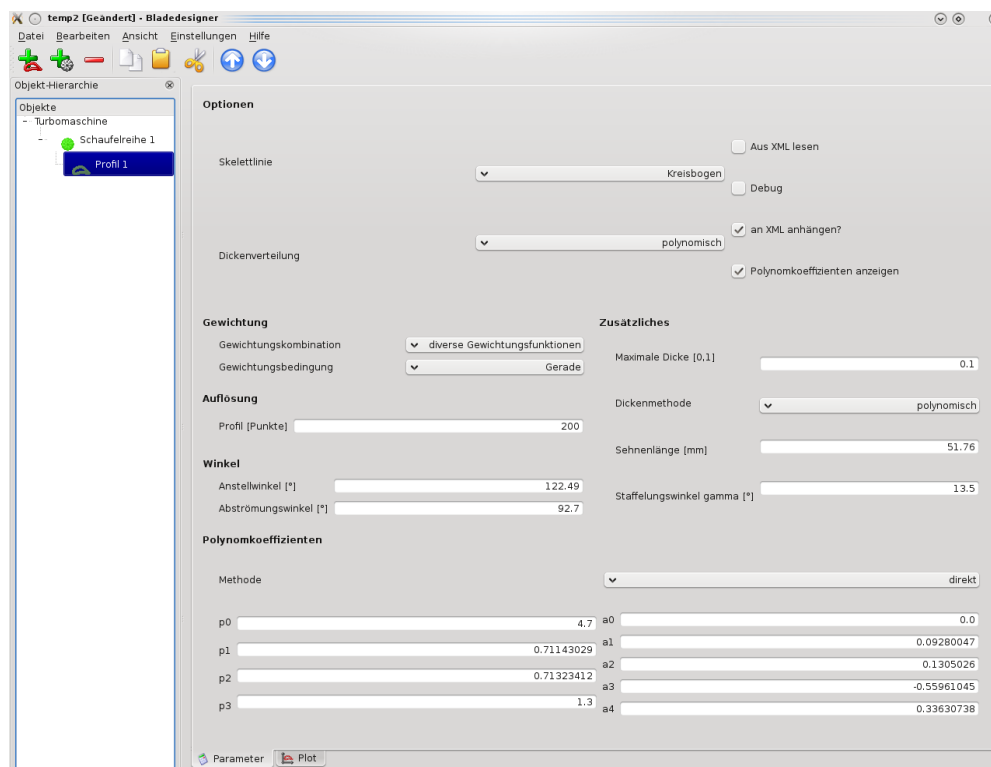


Abb. 6.2: Eingabe für Profil 1 des Rotors

Um das erstellte Profil zu zeichnen, kann unten in der GUI der Reiter "Plot" ausgewählt werden. Es sollte sich ein Plot ähnlich zu Abb. 6.3 ergeben. Wenn das Profil den Wün-

schen entspricht, kann es kopiert, beliebig oft neu eingefügt (in diesem Fall 4 mal), und die Parameter abgeändert werden. Dadurch wird jede Menge Eingabearbeit gespart. Es werden in diesem Fall die Werte nach Tab. 6.3 abgeändert.

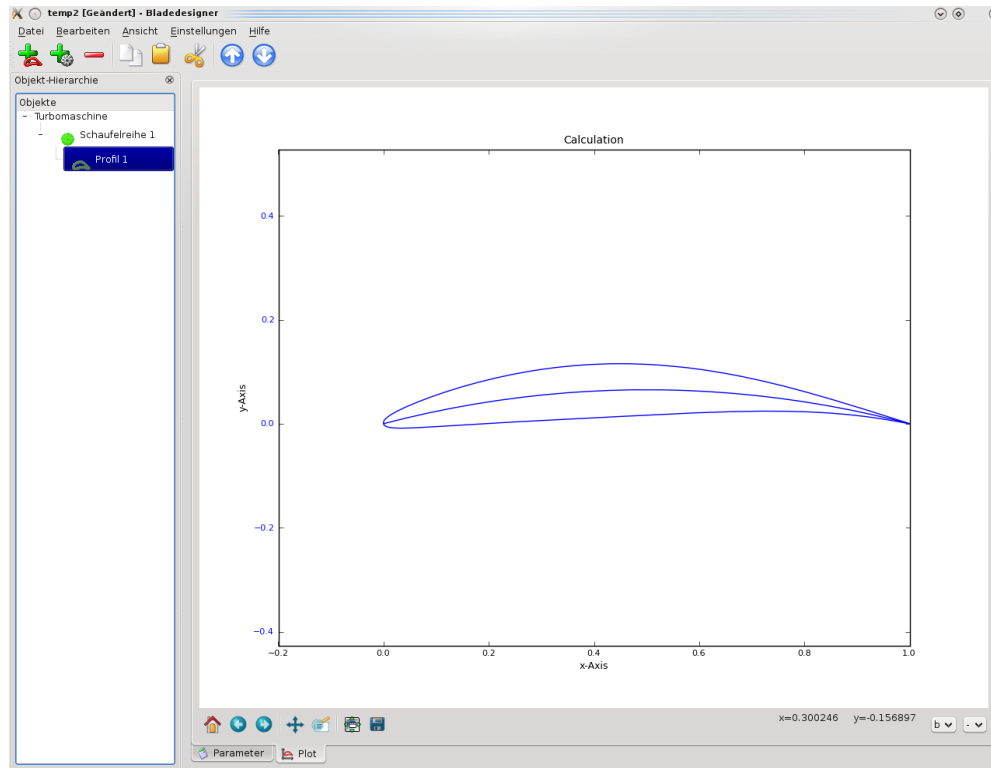
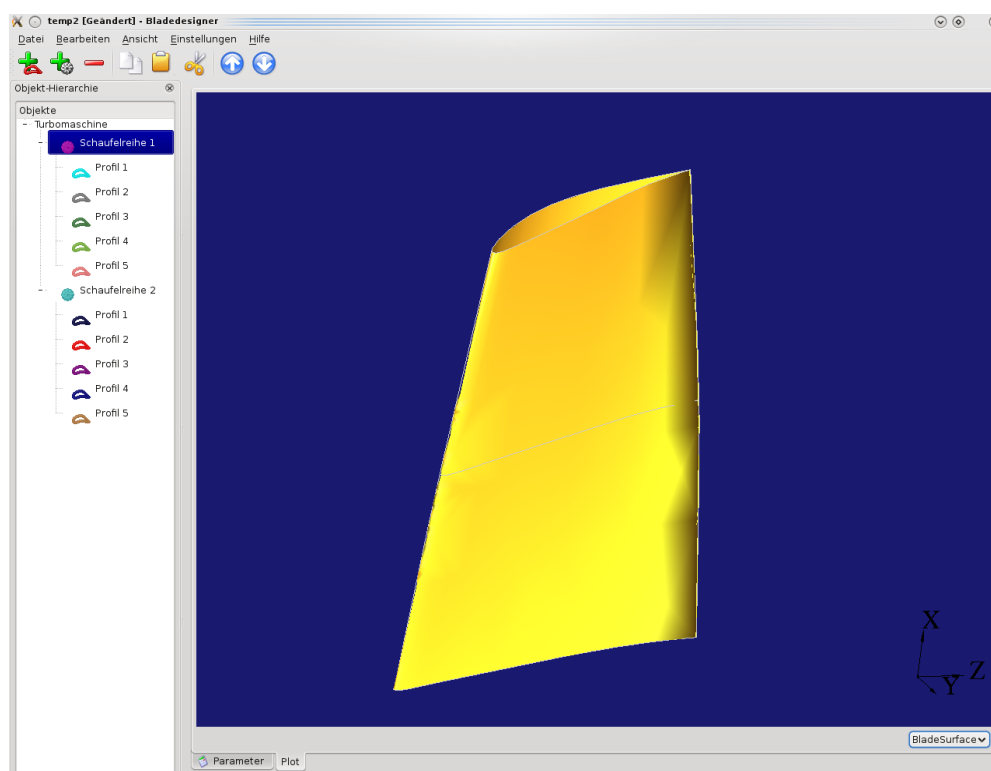


Abb. 6.3: Rotorprofil 1

Profil	Anstellwinkel χ_1	Abströmwinkel χ_2	Sehnenlänge	Staffelungswinkel
1	104.89	75.11	51.8	17.60
2	102.95	77.05	53.6	22.52
3	100.57	79.43	55.2	28.99
4	99.02	80.98	53.5	33.55
5	98.15	81.85	52.4	36.27

Tabelle 6.3: Profildaten der 1. Schaufel

Mit diesen Werten kann die Schaufelreihe nun berechnet werden (Schaufelreihe in Objekthierarchie auswählen, auf "Berechnen" klicken). Nach Beendigung der Berechnung ergibt das Zeichnen der Reihe eine Abbildung ähnlich zu Abb. 6.4a. Die *NURBS* Kurven, die die Schaufel definieren können durch das Auswahlménü unten rechts angezeigt werden, siehe Abb. 6.4b.



(a) Schaufel

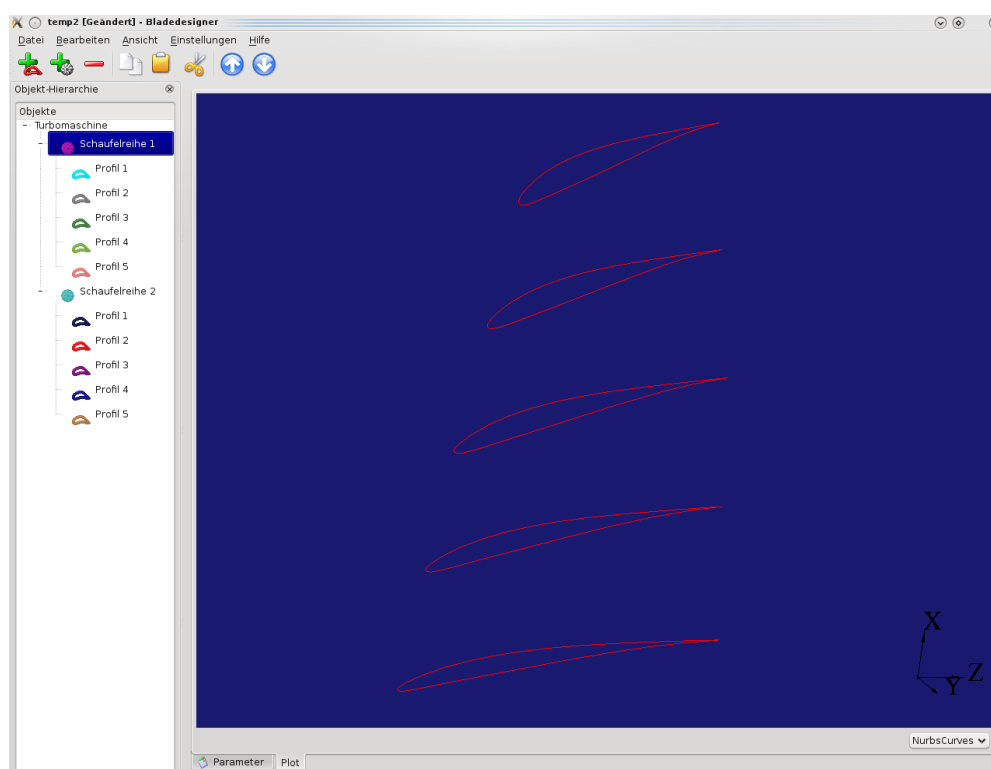
(b) *NURBS* -Kurven

Abb. 6.4: Die Rotorreihe

6.2 Stator

Wird die erstellte Schaufelreihe (Rotor) kopiert und eingefügt, kann die somit erzeugte zweite Schaufelreihe mit wenigen Modifikationen als Stator dienen. Dazu wird die Winkelgeschwindigkeit ω auf 0 gesetzt, die Anzahl der Schaufeln auf 29 erhöht und Naben- und Fädellinienkoordinaten nach Tab. 6.4 abgeändert.

z	r	z	r	z	r	Profil	Wert
80	128.348	80	192.468	120	128.348	1	0
100	129.261	100	192.468	120	144.378	2	0.25
120	130.174	120	192.468	120	160.408	3	0.5
140	131.087	140	192.468	120	176.438	4	0.75
160	132.0	160	192.468	120	192.468	5	1
(a) Nabe		(b) Gehäuse		(c) Fädellinie		(d) Profilverteilung	

Tabelle 6.4: Definition der Naben, Gehäuse, Fädellinienkoordinaten und Verteilung der Profile entlang der Quasiorthogonalen der 2. Schaufelreihe

Die GUI sollte Abb. 6.5 ähneln.

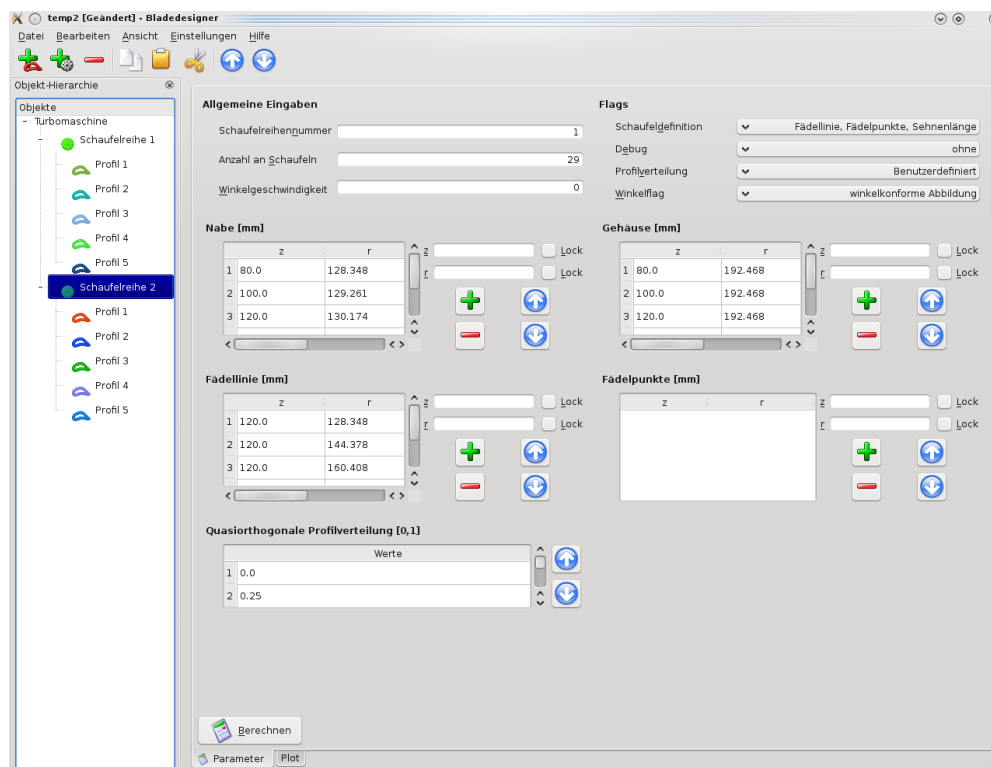


Abb. 6.5: Eingabeparameter des Stators

6.2.1 Statorprofile

Für die Profile des Stators können bei der Dickenverteilung die Polynomkoeffizienten beibehalten werden. Lediglich die Anstell-, Abström- und Staffelungswinkel zusammen mit der Sehnenlänge sollen nach Tab. 6.5 abgeändert werden. Es sollten sich Profile ähnlich zu Abb. 6.6 ergeben.

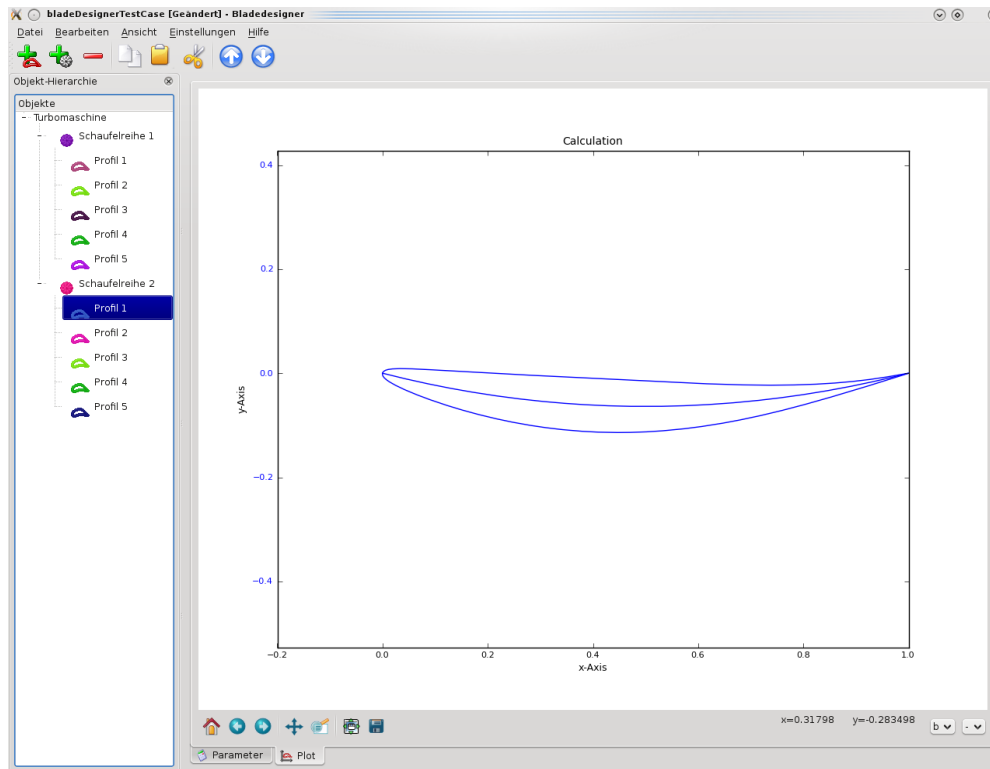


Abb. 6.6: Profil 1 des Stators

Jetzt ist die Turbomaschine bestehend aus einem Rotor und einem Stator fertig und kann unter “Datei → Speichern unter” abgespeichert werden, siehe Abschnitt 4.1!

Profil	Anstellwinkel χ_1	Abströmwinkel χ_2	Sehnenlänge	Staffelungswinkel
1	75.45	104.55	42.4	-14.55
2	76.68	103.32	43.5	-13.32
3	78.20	101.80	44.6	-11.80
4	79.22	100.78	43.2	-10.78
5	79.82	100.18	41.9	-10.18

Tabelle 6.5: Profildaten der 2. Schaufel

6.3 Turbomaschine

Da jetzt alle benötigten Parameter festgelegt sind, kann die gesamte Turbomaschine berechnet werden. Dazu wird in der Objekthierarchie die Turbomaschine ausgewählt, und auf “Berechnen” geklickt. Nach wenigen Sekunden ist die Berechnung beendet, und die Geometrie kann unten im Reiter “Plot” angezeigt werden, siehe Abb. 6.7

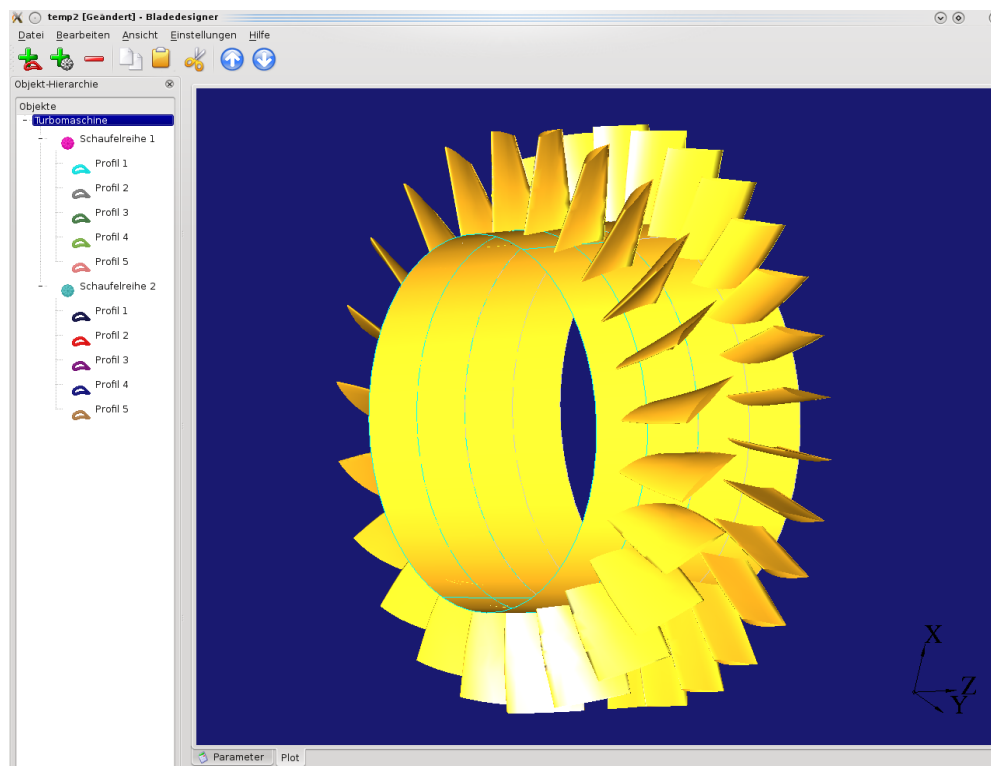


Abb. 6.7: Geometrie der gesamten Turbomaschine