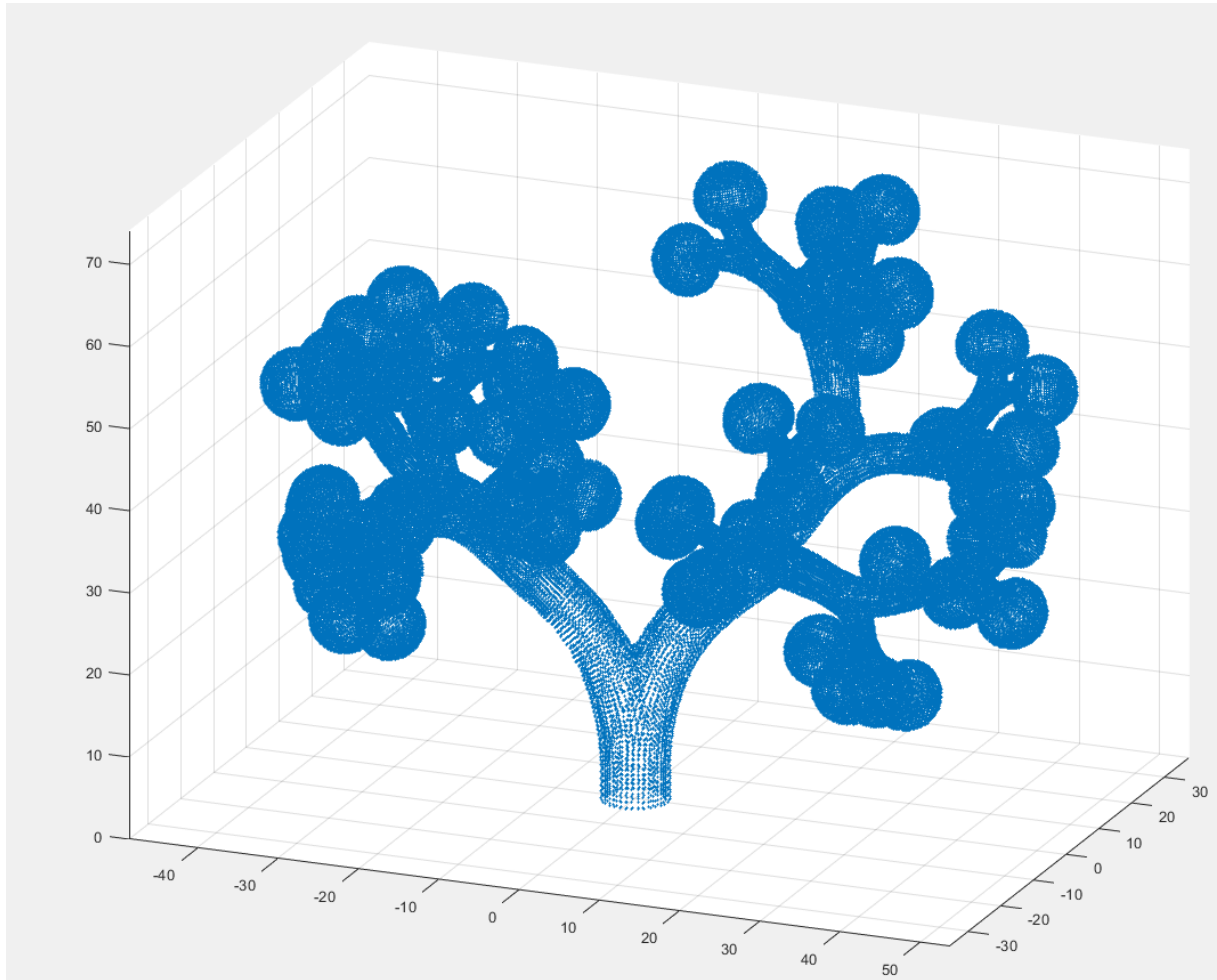


# Handbuch



## Bronchialbaum- konstruktionstool

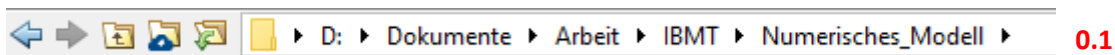
## Inhalt

1. Allgemeines
2. Allgemeine Modelleigenschaften
3. Bifurkationsmodell
4. Post Processing
5. Erzeugung eines Flächenmodells in CREO

# 1. Allgemeines

## Das Arbeitsverzeichnis

Damit das Tool funktioniert, muss grundsätzlich zunächst das korrekte Arbeitsverzeichnis (**0.1**) in der Verzeichnisleiste in Matlab aktiv sein. Das ist derjenige Ordner, in dem die Funktionen, Formulare und Skripte gespeichert sind. Dieses kann an einem beliebigen Ort auf dem PC abgelegt werden.



Dateien, die in Unterordnern (Eingabe, Ergebnisse, Settings) gespeichert sind, werden vom Tool benötigt und auch von dort aus aufgerufen. Diese müssen daher in diesen Ordnern verbleiben. Die Ordner dürfen nicht umbenannt werden.

## Start des Tools

Um das Tool zu starten, kann entweder in der Matlabkonsole der Befehl [start](#) eingegeben werden, oder das Formular aus dem Arbeitsverzeichnis direkt aufgerufen werden durch Rechtsklick auf [APP\\_Hauptmenue.mlapp](#).

## Das Eingabeformular

Das Tool wird vollständig über das Eingabeformular bedient. Dieses ist in fünf Bereiche gegliedert:

1. Allgemeine Modelleigenschaften: Dieser Eingabebereich enthält Informationen zum Ursprung der verwendeten Hauptgeometrieparameter (vgl. MA Seite ...), Auflösung des Modells und zur Verwendung der Kollisionsvermeidungs- und Kollisionsdetektionsfunktion.
2. Geometrieparametererzeugung: Hier können nach einer stochastischen Methode Hauptgeometrieparameter automatisch bestimmt werden. Die statistische Verteilung dieser Parameter kann hier beeinflusst werden.
3. Bifurkationsmodell: Dieser Eingabebereich enthält die Informationen zur Form jeder Verzweigung.
4. Post-Processing: Nach der Konstruktion des eigentlichen Bronchialbaummodells kann das Modell durch einen Sockel, eine Wandstärke oder durch Endstücke erweitert werden. Das Modell kann darüber hinaus an seinen Enden geschlossen werden.
5. Speichern und Laden von Einstellungen: Im oberen Bereich des Eingabeformulars gibt es die Möglichkeit, alle Einstellungen unter einem individuellen Namen zu speichern und später wieder aufzurufen.

## 2. Allgemeine Modelleigenschaften

### Ursprung von Geometrieparameterwerten

Wird der erste der beiden Optionen aktiviert (1.1), so werden Geometrieparameterwerte verwendet, die in der Matlab-Datei mit dem Namen aus 1.3 im Ordner 1.2 gespeichert ist. Der Ordner 1.2 muss sich im angegebenen Arbeitsverzeichnis (0.1) befinden. Statt eines Ordners darf auch ein Verzeichnispfad angegeben werden, der natürlich existieren muss.

Die Matlab-Datei (.mat), welche alle Hauptgeometrieparameterwerte enthält, muss folgende Variablen enthalten: Alpha (Verzweigungswinkel), Beta (Verdrehwinkel), D (Durchmesser), Gen (Anzahl der Generationen) und L (Bronchienlänge). Es folgen für jede der Variablen Beispiele, welche auch die Variablentypen enthalten. Grundsätzlich stehen die Werte einer Generation in einer Zeile.

Ein Beispiel für die Ordnerstruktur mit verschiedenen Sätzen von Hauptgeometrieparameterwerten ist hier gegeben:

The image shows two screenshots. The top one is a dialog box titled 'Ursprung von Geometrieparameterwerten'. It has two radio buttons. The first is 'Hauptgeometrieparameter aus .m-Datei vorgeben' (1.1), which is currently selected. Below it, text says 'Das Eingabefeld "Geometrieparametererzeugung" bleibt unberücksichtigt.' There are two input fields: 'Name des Unterordners im aktuellen Verzeichnis' (1.2) with the value 'Eingabe', and 'Name der Datei, welche die Eingabevariablen enthält' (1.3) with a blank field and '.mat' suffix. The second radio button is 'zufällig verteilte Parameter erzeugen' (1.4), which is not selected. Below it, text says 'Die Eingabe der statistischen Parameter im Eingabefeld "Geometrieparametererzeugung" ist erforderlich.'

The bottom screenshot shows a file explorer window titled 'Current Folder'. It lists several files, including 'Eingabe\_Anleitung.mat', 'Eingabe\_Anleitung\_02.mat', and 'Eingabe\_Anleitung\_03.mat'. A red box highlights 'Eingabe\_Anleitung\_03.mat', and a red arrow points from it to the 'Workspace' window. The 'Workspace' window shows a table of variables: Alpha (4x4 cell), Beta (4x4 cell), D (4x4 cell), Gen (4), and L (4x4 cell).

Die Datei „Eingabe\_Anleitung\_03.mat“ liegt im Ordner ...\\Eingabe und enthält die fünf Hauptgeometrieparametervariablen „Alpha“, „Beta“, „D“, „Gen“, und „L“. Diese haben für jede .mat-Datei aus der Liste im linken Bild dieselben Namen. Der Ordner „Eingabe“ kann aber einen anderen Namen oder auch längeren Pfad haben, der in Feld 1.2 einzugeben ist.

## Alpha

	1	2	3	4
1	[0,0,0]	[]	[]	[]
2	[0,0.7042,0;0,-0.9433,0]	[]	[]	[]
3	[0,0.8111,0;0,-0.8857,0]	[0,0.8348,0;0,-0.8664,0]	[]	[]
4	[0,0.6301,0;0,-0.9660,0]	[0,0.8463,0;0,-0.8557,0]	[0,0.8222,0;0,-0.8770,0]	[0,0.7473,0;0,-0.9245,0]

Bei der Variablen Alpha ist zu beachten, dass in jeder Zelle ein 2x3-double Wert steht: Diese gibt die Verzweigungswinkel in die drei Richtungen im kartesischen Koordinatensystem an. Praktisch relevant ist dabei nur die zweite Spalte, in der alle Verzweigungswinkel eingetragen sein müssen (im Bogenmaß). Die erste und dritte Spalte bleibt jeweils leer.

	1	2	3
1	0	0.8414	0
2	0	-0.8604	0

Diese Art der Eintragung gilt auch für alle anderen Zellen der Variablen Alpha, außer für die erste Zelle. Diese enthält einen 1x3-Nullvektor, da das erste Mutterelement stets gerade im Raum steht.

## Beta

Die Variable Beta ist ebenfalls vom Typ cell. Jede Zelle enthält einen 1x1 double-Wert, jeweils im Bogenmaß.

	1	2	3	4
1	[]	[]	[]	[]
2	0.2954	[]	[]	[]
3	1.1222	-0.8787	[]	[]
4	0.8234	0.4377	0.6774	1.2071

## D

D enthält alle Durchmesser der Tochterelemente, die zu einer Verzweigung gehören. Entsprechend enthält jede Zelle einen 2x1-double-Wert. Innerhalb einer Zelle gehört der erste Wert zu genau dem ersten Verzweigungswinkel aus der äquivalenten Zelle in Alpha.

	1	2	3	4
1	4	[]	[]	[]
2	[3.1912;3.0989]	[]	[]	[]
3	[2.9304;1.8825]	[2.6815;2.1347]	[]	[]
4	[2.5729;1.9590]	[1.7111;1.1492]	[2.1896;2.0217]	[1.8955;1.3905]

## Gen

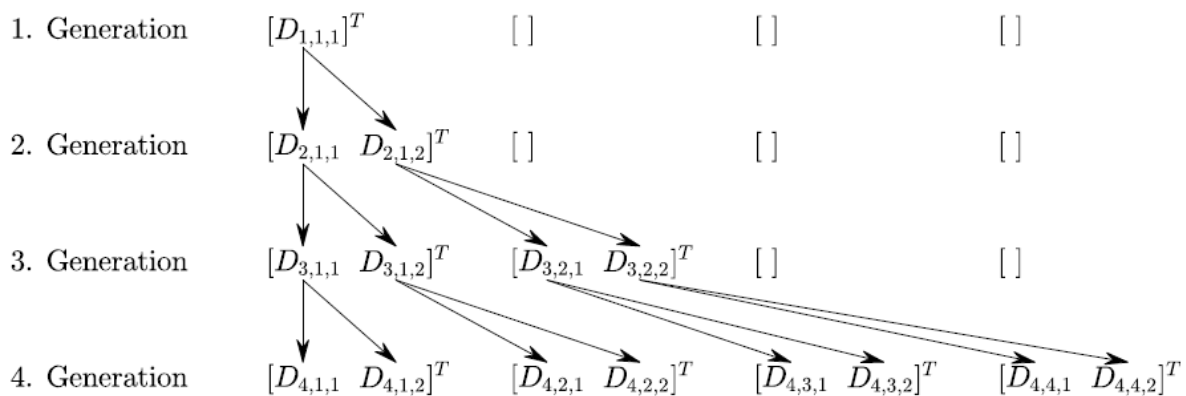
Gen ist eine Variable vom Typ 1x1-double und enthält die Anzahl der Generationen. Die Mutterastgeneration erhält die Nummer 1, die erste Bifurkation zählt dabei schon zur Generation 2, usw.

## L

Bei der Variablen der Bronchienlängen L wird analog zu D verfahren.

	1	2	3	4
1	4	[]	[]	[]
2	[0.9574;0.9297]	[]	[]	[]
3	[0.8791;0.5648]	[0.8044;0.6404]	[]	[]
4	[0.7719;0.5877]	[0.5133;0.3448]	[0.6569;0.6065]	[0.5686;0.4172]

Innerhalb aller Variablen der Hauptgeometrieparameter gilt folgende Zuordnung, hier am Beispiel für die Variable D dargestellt (vgl. MA Seite 61):



Wird die Option **1.4** aktiviert, so ist **1.1** automatisch deaktiviert. In diesem Fall werden die Hauptgeometrieparameterwerte zufällig generiert und die Variablen automatisch geschrieben.

## Auflösung

Im Feld „Auflösung“ kann eingestellt werden, wie dicht die Punkte auf der Oberfläche des Bronchialbaummodells erzeugt werden sollen. Dabei gibt es zwei grundlegende Varianten: Vorgabe des Abstandes der Punkte (**2.1**) oder Vorgabe der Punktezahl in Umfangsrichtung (**2.3**).

<b>Auflösung</b>	
<input checked="" type="radio"/> Minimale Auflösung vorgeben	
<b>2.1</b> Auflösung am 1. Rohrelement in Umfangsrichtung	500 [µm]
<input type="radio"/> Punktezahl in Umfangsrichtung	
<b>2.3</b> Punktezahl	50 [-]
Verfeinerungsfaktor der Carinalkurvenaflösung	0 [-]
	<b>2.4</b>
	<b>2.5</b>

Ist die Option „Minimale Auflösung vorgeben“ (2.1) aktiv, dann kann die Auflösung für die Umfangsrichtung des ersten Rohrelementes direkt vorgegeben werden (2.2). Die Punktezahle bleibt für folgende Generationen Grundsätzlich gleich, um jede Verzweigung mit dem gleichen Detaillierungsgrad aufzulösen. Aus der Auflösung des ersten Rohrelementes wird dann die Punktezahle in Umfangsrichtung berechnet und auf alle Bronchien angewendet.

Alternativ kann diese Punktezahle durch Aktivierung von 2.3 eingestellt und in 2.4 vorgegeben werden. Aus Gründen der Programmierung wird diese Zahl aber nicht immer eingehalten, sondern auf die nächsthöhere, nicht ganzzahlig durch 4 teilbare Zahl aufgerundet (6,10,14, ..., vgl. MA Kapitel 4.2.1).

Um die Carina einer jeden Verzweigung feiner aufzulösen, kann in 2.5 ein Wert eingegeben werden. Eine Eingabe von beispielsweise 3 bedeutet, dass zwischen allen Punkten der Carina drei weitere Punkte interpoliert werden. Dieser Bereich ist immer der am schlechtesten aufgelöste Teil einer Verzweigung und kann, je nach Wandstärke, bei der Bildung einer Oberfläche im CAD, Probleme machen. Um diese zu lösen ist die Funktion zur Verfeinerung der Carinalkurve vorgesehen.

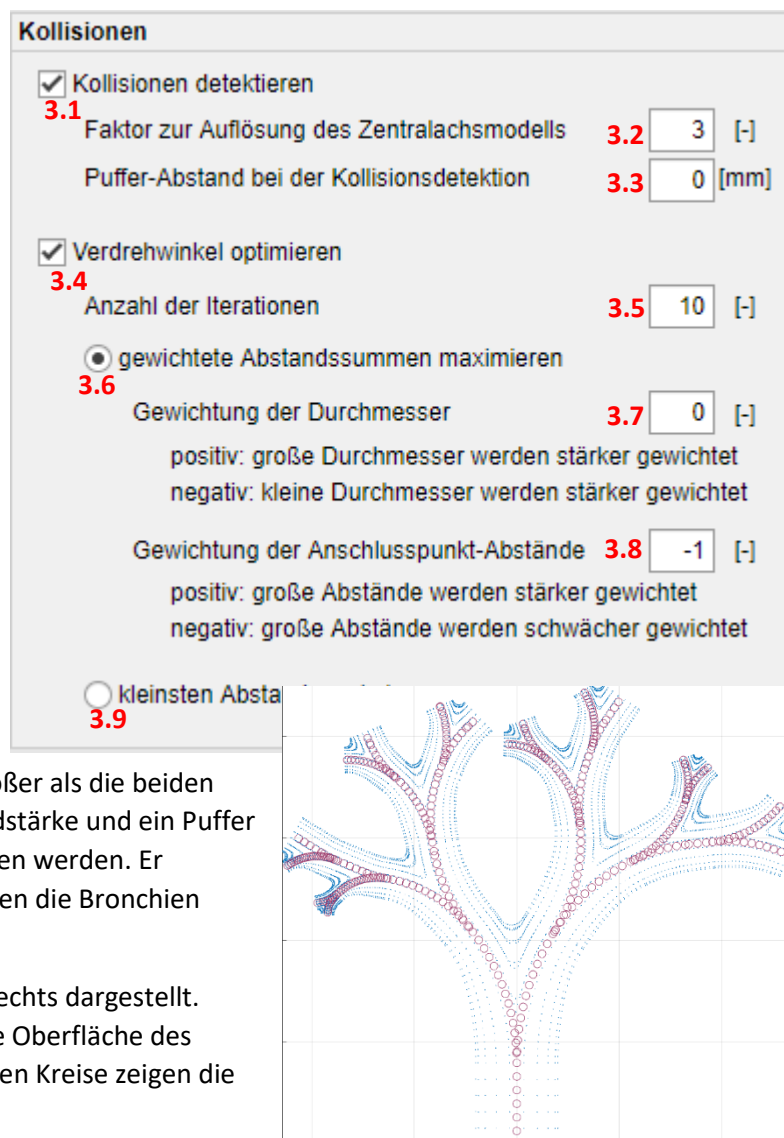
## Kollisionsvermeidung und Kollisionsdetektion

### Kollisionsdetektion

Zur Kollisionsdetektion muss das Feld 3.1 aktiviert. Um Kollisionen zu detektieren, wird ein Punktmodell der Zentralachse des Bronchialbaumes berechnet. Die Auflösung dieses Punktmodells wird in 3.2 angegeben. Der Wert bezieht sich auf den Durchmesser einer Bronchie: Bei einer Eingabe von einem Wert  $x$  in 3.2 und einem Bronchiendurchmesser  $d$  liegen die Punkte auf dem Zentralachsmodell  $d/x$  auseinander.

Um Kollisionen zu erkennen, werden Abstände zwischen den Punkten des Zentralachsmodells berechnet. Für jeden Abstand wird bestimmt, ob der Abstand größer als die beiden beteiligten Durchmesser, die Wandstärke und ein Puffer ist. Der Puffer kann in 3.3 angegeben werden. Er bedeutet einen Mindestabstand, den die Bronchien voneinander haben.

Ein solches Zentralachsmodell ist rechts dargestellt. Dabei stellen die blauen Punkte die Oberfläche des Bronchialbaummodells dar, die roten Kreise zeigen die



Punkte des Zentralachsmodells. In der regulären Ausgabe ist die Anzeige des Zentralachsmodells auskommentiert.

*Tipp: Falls das Zentralachsmodell angezeigt werden soll, müssen die entsprechenden Zeilen einkommentiert werden. Diese können in der Funktion `FNC_Erzeugung_VNW` in den Zeilen 385 und 386 oder mithilfe des Suchbegriffes „Einblenden ZAM“ gefunden werden.*

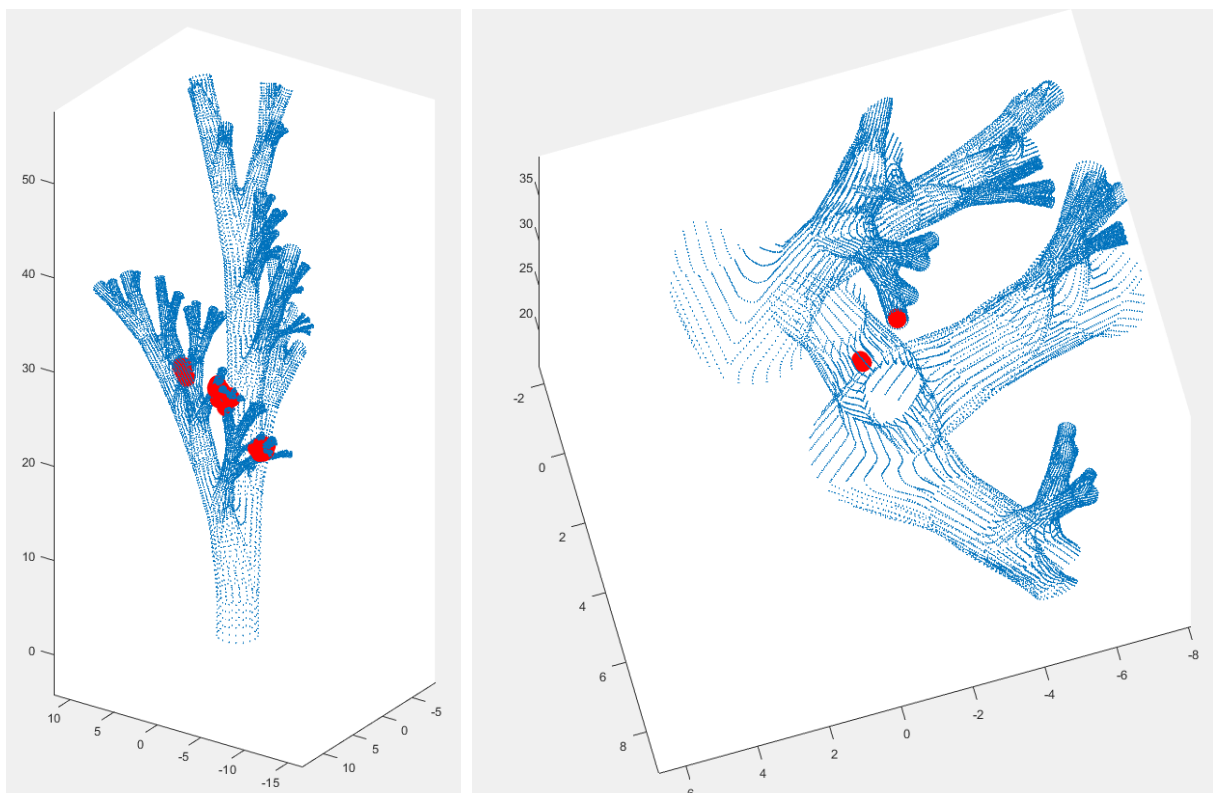
```
384 % % Einblenden ZAM (Anfang)
385 %     hold on
386 %     scatter3(P_ZAM(:,1),P_ZAM(:,2),P_ZAM(:,3),100,[0.6,0.2,0.4]);
387 % % Einblenden ZAM (Ende)
```

Wurde eine Kollision gefunden, so wird sie im Plot rot dargestellt. Ein Beispiel ist unten links gezeigt. Es ist aber zu beachten, dass bei der Detektion sowohl falsch positive, also auch falsch negative Detektionen möglich sind.

Falsch negative (also keine Detektion, obwohl eine Kollision vorliegt) kann dann eintreten, falls das Zentralachsmodell nicht fein genug aufgelöst ist. Dann können Bronchien zwischen zwei Punkten der Zentralachse einer zweiten Bronchie hindurchführen, ohne dass eine Detektion festgestellt wird. Durch eine ausreichend hohe (mind. etwa 2 in **3.2**) Auflösung des Zentralachsmodells wird dieser Fehler hinreichend unwahrscheinlich.

Falsch positive Detektionen (es wird eine Kollision erkannt, die in Wirklichkeit keine Kollision darstellt) treten dadurch auf, dass immer mit dem größten Durchmesser einer Verzweigung gerechnet wird. Die Verjüngung der Tochteräste wird nicht berücksichtigt. Ein solches Beispiel wird im Bild unten rechts gegeben. Die rot markierten Bronchien berühren sich nicht, obwohl eine Kollision angezeigt wird.

Es wird daher empfohlen, Kollisionen nach dem Durchlauf einer Berechnung noch einmal anhand des Plots zu überprüfen.





## Kollisionsvermeidung

Um Kollisionen möglichst unwahrscheinlich zu machen, können durch Aktivierung von **3.4** die Verdrehwinkel der Verzweigungen optimiert werden. Die Kollisionsvermeidung maximiert den Abstand der Endpunkte jeder Verzweigung zu allen anderen Verzweigungen des Modells. Dazu wird nacheinander der optimale Verdrehwinkel aller Verzweigungen berechnet. Bereits optimierte Verdrehwinkel werden nicht mehr verändert, wenn sich die Situation nach dem Hinzufügen der nächsten Verzweigung als ungünstig herausstellt. Daher kann durch diese Funktion weder eine global optimale Platzausnutzung garantiert werden noch eine Kollision sicher verhindert werden. Sie wird aber deutlich unwahrscheinlicher.

Die Abstände werden für so viele Winkel berechnet, wie Iterationen in **3.5** angegeben sind. Das bedeutet, dass die Optimierung für große Werte in **3.5** feiner und genauer wird, was mit einer größeren Rechenzeit einhergeht. Für kleine Werte gilt das Gegenteil.

Bei der Kollisionsvermeidung durch Verdrehwinkeloptimierung werden zwei grundsätzliche Ansätze unterschieden, die alternativ wählbar sind:

1. Durch Aktivierung von **3.6** können alle bisher optimierten Verzweigungen bei der Optimierung eines Verdrehwinkels berücksichtigt werden. Der Einfluss von Abständen der Bronchien auf den Optimalen Verdrehwinkel kann berücksichtigt werden, indem ein Wert für **3.8** angegeben wird: Bei negativen Werten (empfohlen) spielen Bronchien, die von der zu optimierenden Verzweigung weit entfernt liegen, eine untergeordnete Rolle, während der Abstand zu nah liegenden Verzweigungen umso stärker berücksichtigt wird. Auf dieselbe Weise kann der Durchmesser der Bronchien berücksichtigt werden: Ein positiver Wert in **3.7** bedeutet, dass der Abstand zu Bronchien mit größerem Durchmesser maximiert wird. Werden in **3.7** bzw. **3.8** 0 angegeben, dann ist der Einfluss aller Bronchien auf die Abstandsmaximierung gleich groß.
2. Bei Aktivierung von **3.9** werden die Verzweigungen durch die Verdrehwinkel so ausgerichtet, dass der Abstand zur nächstliegenden Bronchie Maximal wird.

### 3. Bifurkationsmodell

#### Konstruktionsmittelpunkte

**Verhältnis Krümmungsradius zum Rohrdurchmesser**

☐ Länge der Bronchien einhalten (nur bei vorgegebenen  
**4.1** Hauptgeometrieparametern, vgl. Allgemeine Modelleigenschaften)

Anteil des gekrümmten Abschnitts  [-] **4.2**

☒ Verrundungsparameter einhalten  
**4.3** Parameter der Polynomfunktion

**4.4**  $M_{K,x} =$    $\cdot D_i^{1.75} +$    $\cdot D_i +$    $+$    $\cdot D_0$

Die Mittelpunkte, mit denen die Krümmung der Bronchien in einer Verzweigung konstruiert werden, können im Bereich „Bifurkationsmodell“ im oberen Kasten bestimmt werden.

Grundsätzlich wird zwischen zwei Optionen gewählt: Die erste (**4.1**) konstruiert die

Krümmungen so, dass die Bronchienlängen immer eingehalten werden. Dabei entfällt der Anteil, der im Feld **4.2** angegeben wird, auf den gekrümmten Teil. Der Rest der Bronchienlänge wird dann durch einen geradlinigen Anteil konstruiert. Soll die gesamte Länge gekrümmt sein, dann muss in diesem Feld eine 1 angegeben werden (1 = 100 %). Die Krümmung wird unabhängig von den Bronchiendurchmessern, aber abhängig von den Bronchienlängen.

Die zweite Option (**4.3**) erzeugt eine Krümmung, die von den Bronchiendurchmessern abhängig ist (große Durchmesser werden weniger gekrümmt). Das entspricht der Berechnung der Konstruktionsmittelpunkte in der MA, S. 19. Die Felder unter **4.4** entsprechen dabei den Werten für die einzelnen tau (MA, Gl. 3.3).

#### Breite der Carinalkurve

**Carinalverrundung**

Einfluss der Tochterdurchmesser **5.1**  [-]

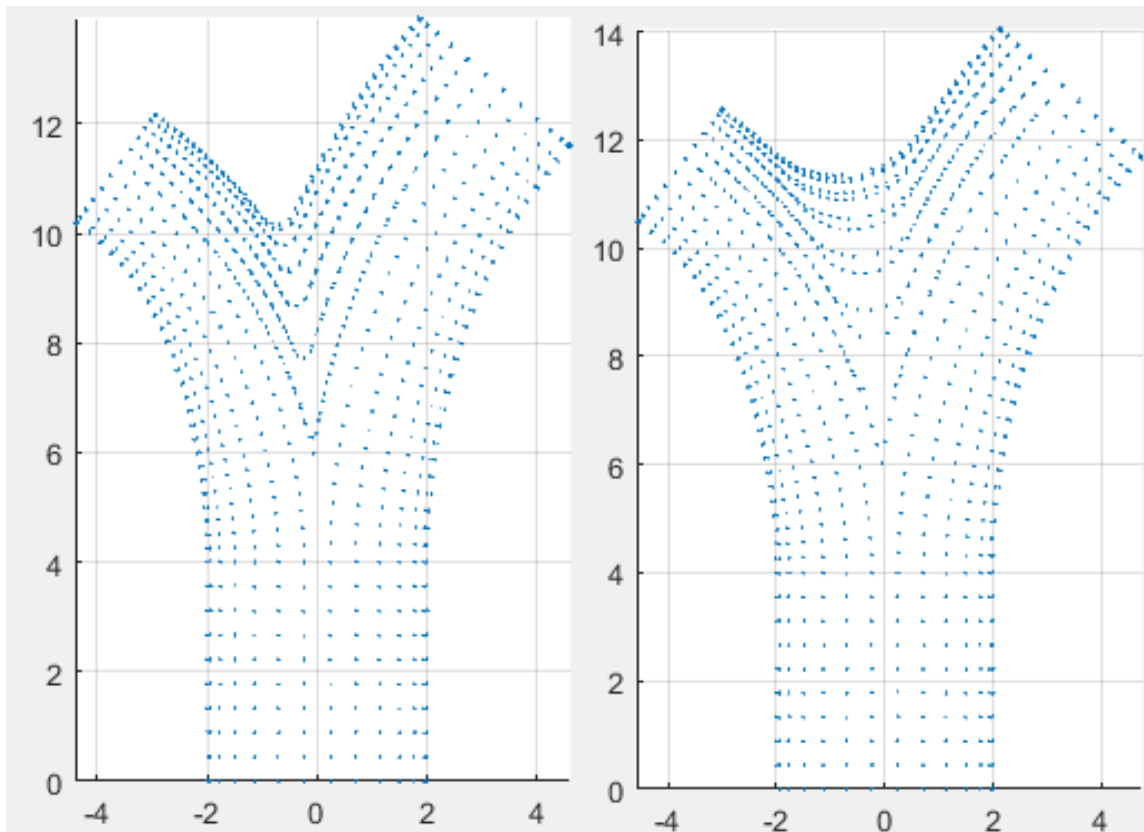
Einfluss der Verzweigungswinkel **5.2**  [-]

Breite der Carinalkurve **5.3**  [-]

Wie stark die Carina, also der Übergang zwischen zwei Tochterbronchien, verrundet werden soll, kann im zweiten Feld angegeben werden. Wird in den Feldern **5.1** und **5.2** eine 0

angegeben, dann wird keine Verrundung zwischen den Tochterbronchien konstruiert. Bei Werten größer als 0 nimmt die Stärke der Verrundung mit steigenden Werten in **5.1** und **5.2** zu. Unten ist ein Vergleich dargestellt, bei dem die Carinalverrundung einmal stark (rechts) und einmal schwach (links) ausgeprägt ist.

Feld **5.3** bestimmt die Breite der Verrundung in y-Richtung. Hier wird auf MA, S. 41 verwiesen. Der Wert von Feld **5.3** stellt den Wert der Variablen  $\tau_{u,c,3}$  dar.



## Sigmoidfunktion

**Sigmoidfunktion**

☐ Sigmoidfunktion nach Heistracher und Hofmann (1995)  
**6.1**  
Modulationsparameter **6.2**  [-]

☒ modifiziert  
**6.3**  
Modulationsparameter **6.4**  [-]

Die Form der Sigmoidfunktion nach MA, Kap. 3.3.4 (S. 36) wird im unteren Kasten auf dem Reiter „Bifurkationsmodell“ eingestellt. Es besteht die Alternative, entweder die Sigmoidfunktion durch **6.1**

nach Heistracher und Hofmann (1995) zu verwenden (vgl. MA, S. 38, Abb. 3.15) oder die modifizierte Sigmoidfunktion durch **6.3** (vgl. MA, S. 39, Abb. 3.16) zu verwenden. Die Felder **6.2** bzw. **6.4** erhalten die Werte der Modulationsparameter.

## 4. Post Processing

### Allgemeines zum Post Processing

The screenshot displays a software interface for post-processing a bronchial tree model. It is divided into several sections:

- Top Left:** A checkbox labeled "Modelloberfläche am allen Öffnungen schließen" (7.1) is present.
- Below 7.1:** A section titled "Sockel 7.2" contains a checkbox "Sockel konstruieren". Below it are input fields for "Höhe" (25 [mm]) and "Durchmesser" (25 [mm]).
- Below Sockel 7.2:** A section titled "Wandstärke 7.3" contains a checkbox "Wandstärke konstruieren". Below it are options for "Wandstärke" (1 [mm]), "Wandstärke nach außen auftragen" (selected), "Carinalverrundung anpassen" (checked), "Wandstärke nach innen auftragen", and "Fehlertoleranz" (1e-06 [mm]).
- Right Side:** A section titled "Endstücke 7.4" contains radio buttons for "keine", "gerade Zylinder", and "benutzerdefiniert". The "gerade Zylinder" option has a "Länge" input field set to 0 [mm]. The "benutzerdefiniert" option has a button "Endstückeditor starten". Below this is a dropdown menu showing "Trompete\_1-D2" (7.5) and an "aktualisieren 7.6" button.

Das Post Processing dient dazu, das Bronchialbaummodell so zu erweitern, dass es fertigungstechnischen Ansprüchen genügt. Dazu können alle Öffnungen durch Aktivierung von **7.1** geschlossen werden. Das bedeutet, dass bei einem Modell ohne Wandstärke die Endbronchien durch Punkte verschlossen werden, während Modelle mit einer Wandstärke an den Endbronchien nur durch Kreislänge geschlossen werden. Es wird im zweiten Fall also der offene Zwischenraum zwischen Außen- und Innenfläche verschlossen.

Zur Handhabbarkeit kann ein Sockel durch **7.2** definiert und konstruiert werden. Dieser ist stets Zylinderförmig und hat einen gerundeten Übergang zwischen Baum und Sockel.

Im Feld **7.3** wird eine Wandstärkekonstruktion aktiviert, bzw. definiert. Dabei können der Betrag und die Richtung der Wandstärke (nach innen oder außen) eingestellt werden. Bei der Anpassung einer Carinalverrundung wird bei einem Auftrag der Wandstärke nach außen berücksichtigt, dass dieser Auftrag Platz benötigt und die Verrundung der Außenwand daher kleiner sein muss. Diese Anpassung der Verrundung kann aber wahlweise aktiviert oder deaktiviert werden.

Feld **7.4** gibt die Möglichkeit an die Enden der letzten Bronchien noch verschiedenartige Endstücke zu konstruieren. Dabei bestehen die Möglichkeiten entweder keine solchen hinzuzufügen, geradlinige Zylinder mit dem jeweiligen Durchmesser der Endbronchien, aber fester Länge zu konstruieren, oder benutzerdefinierte Endstücke zu verwenden. Diese werden im Endstückeditor entworfen, worauf der folgende Abschnitt genauer eingeht. In jedem Fall muss nach dem Entwurf eines benutzerdefinierten Endstückes zunächst der Button „aktualisieren“ (**7.6**) gedrückt und dann das entsprechende Endstück im Dropdown (**7.5**) ausgewählt werden.

## Endstückeditor

Speichern und Laden von Einstellungen

Name der Endstückform

Form speichern

bestehende Endstückformen

Trompete\_1-D2

Form laden

Form löschen

Allgemeine Einstellungen

Punktabstand

50

[µm]

☒ Wandstärke konstruieren (nach außen)

0.5

[mm]

Wandstärke des Hauptmodells: 1 mm

☒ Endstück schließen

Plot aktualisieren

Konstruktionselemente hinzufügen, ändern oder löschen

Element hinzufügen

Kreisbogen

hinzufügen

Element Nummer

bearbeiten

ändern

löschen

Radius

[mm]

Winkel

[°]

#	Form	Radius	Länge	Winkel	Durchmesser
1	Kegel	-	-	60	2
2	Kreisbogen	1	-	45	-
3	Strecke	-	0.5	15	-
4	Kreisbogen	-3	-	10	-
5	Kreisbogen	-2.5	-	10	-
6	Kreisbogen	-2	-	10	-
7	Kreisbogen	-1.5	-	10	-
8	Kreisbogen	-1	-	10	-
9	Kreisbogen	-0.5	-	10	-
10	Kreisbogen	-0.1	-	10	-

neues Endstück (Tabelle leeren)

8.5

Der Endstückeditor ist in fünf Bereiche gegliedert: **8.1** ist der Bereich, um Endstücke zu speichern oder zu laden. Nur gespeicherte Formen können auch verwendet werden!

Im Bereich **8.2** werden die Auflösung des Endstückes (diese ist immer von der Auflösung des restlichen Bronchialbaummodells unabhängig), die Wandstärke oder der Verschluss offener Flächen eingestellt werden.

Feld **8.3** ist der Bereich, in dem die eigentliche Konstruktion stattfindet. Eine ausführlichere Beschreibung der Konstruktion siehe unten.

Ist ein Kegel konstruiert, können Kreisbögen und Strecken konstruiert werden. Diese beginnen immer am letzten Punkt des vorangegangenen Konstruktionselementes. Alle konstruierten Konstruktionselemente werden in der Tabelle **8.4** aufgelistet. Über die Nummer kann jedes Element im Feld **8.3** nachträglich geändert oder gelöscht werden.

Die Ansicht des aktuell konstruierten Endstückes ist im Plot **8.5** zu sehen.

**Nicht vergessen:** Endstücke müssen nach der Konstruktion gespeichert werden (Feld **8.1**)!!

## Konstruktion eines neuen Endstückes

Der Editor wird mit einer leeren Tabelle **8.4** initiiert. Falls schon ein Endstück vorhanden ist, kann eine neue Konstruktion durch einen Klick auf den roten Button gestartet werden, die Tabelle leert sich.

Konstruktionselemente hinzufügen, ändern oder löschen	
Element hinzufügen	Kreisbogen <b>9.1</b> <input type="button" value="hinzufügen &lt;b&gt;9.5&lt;/b&gt;"/>
Element Nummer <b>9.2</b>	bearbeiten <input type="button" value="ändern&lt;b&gt;9.6&lt;/b&gt;"/> <input type="button" value="löschen&lt;b&gt;9.7&lt;/b&gt;"/>
Radius	<input type="text" value="9.3"/> [mm]
Winkel	<input type="text" value="9.4"/> [°]

Bei einem neuen Endstück muss zunächst ein Kegel konstruiert werden, mit dem das Endstück später an die Bronchien gefügt wird. Dieser ist im Editor immer zunächst unten

geschlossen und nach oben geöffnet. Die Kegelspitze wird aber später bei der Fügung an das Bronchialbaummodell so abgeschnitten und geöffnet, wie es für die Bronchien dann erforderlich ist (das passiert automatisch).

Der Kegel wird im Dropdown **9.1** ausgewählt (einzige Option). Dann wird ein Öffnungswinkel zwischen z-Achse und Kegelmantelfläche angegeben (**9.4**) und der Radius des Kreises bestimmt, mit dem der Kegel enden soll (**9.3**). Das Konstruktionselement Kegel wird dann über den Button **9.5** hinzugefügt.

Nachdem ein Kegel konstruiert ist, wird der halbe Schnitt rechts als Reihe von Punkten angezeigt (**8.5**). Außerdem wird es in der Tabelle mit den eingegebenen Werten Winkel und Radius in der Tabelle **8.4** angezeigt. Im Dropdown **9.1** erscheinen die Optionen Kreisbogen und Strecke, Kegel ist verschwunden. Diese können

Kreise werden durch den Winkel, den sie einschließen, und ihren Radius definiert. Sie schließen sich immer tangential an das letzte Konstruktionselement an. Für Strecken werden eine Länge und ein Winkel angegeben. Strecken können damit auch nicht tangential, also mit einem Knick vom letzten Konstruktionselement ausgehen. Jedes neue Konstruktionselement wird durch den Button 9.5 zur Tabelle **8.4** und zum Plot **8.5** hinzugefügt.

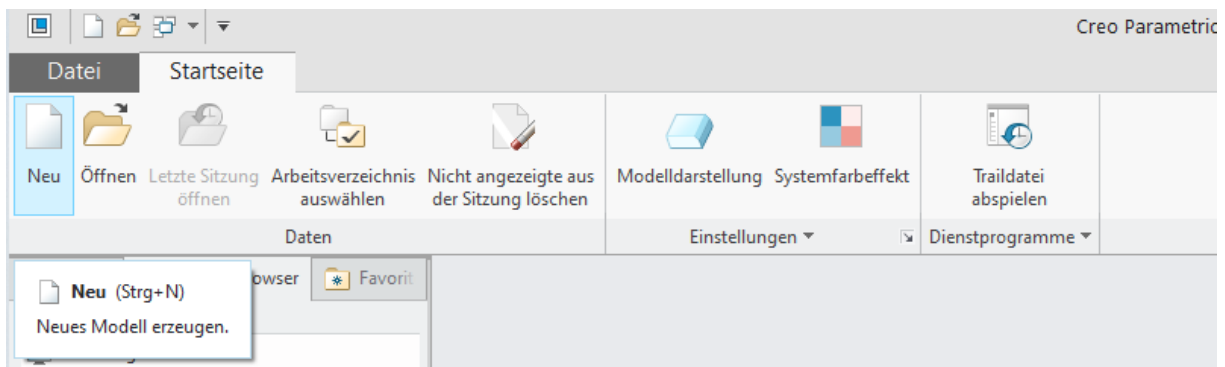
Bereits konstruierte Konstruktionselemente können geändert oder gelöscht werden. Dazu wird in **9.2** die Nummer aus der ersten Spalte der Tabelle **8.4** angegeben und die neuen Werte werden eingetragen. Auch die Art des Konstruktionselementes kann dabei nachträglich geändert werden. Eine Änderung wird dann durch den Klick auf den Button **9.6** durchgeführt und in **8.4** und **8.5** angezeigt. Das Löschen von Konstruktionselementen erfolgt genauso. Nur muss hier nur die Nummer des Konstruktionselementes in **9.2** angegeben werden und auf den Button **9.7** geklickt werden. Das entsprechende Element wird aus der Tabelle **8.4** und aus dem Plot **8.5** gelöscht.

Als Beispiel-Endstücke sind zwei verschiedene Trompeten, eine Alveole und ein Zylinder (Diffusor) vorgegeben. Diese können im Endstückeditor geladen werden, um sich mit dem Tool vertraut zu machen.

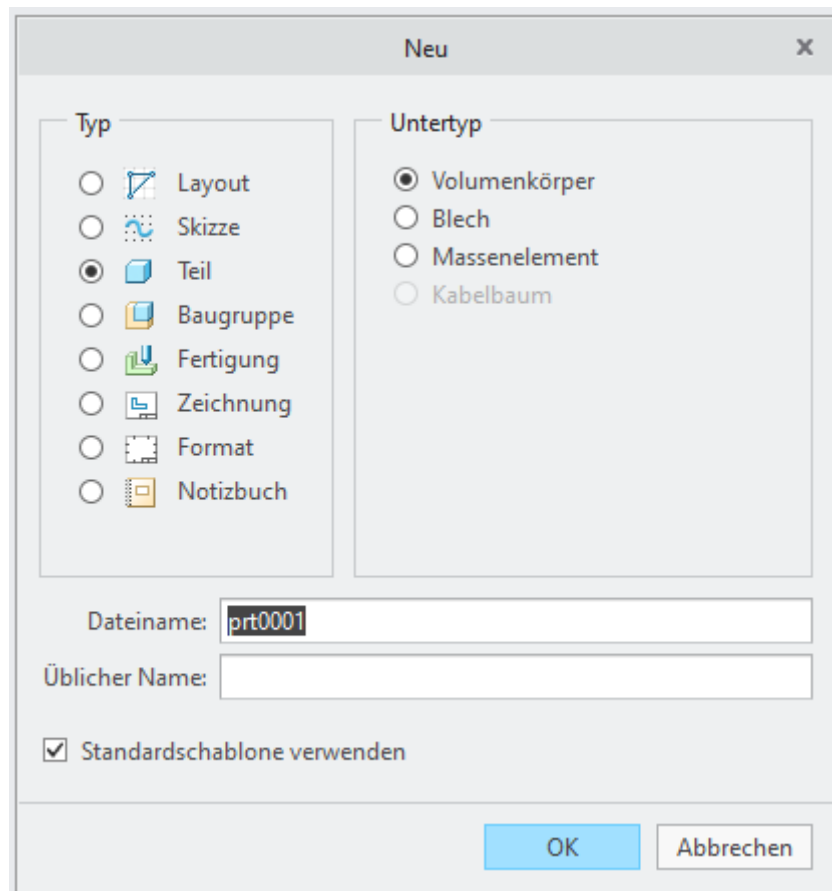
## 5. Erzeugung eines Flächenmodells in CREO

Um ein Oberflächenmodell zu erzeugen, muss zunächst ein Punktwolkenmodell im .pts-Format vorliegen. Dann werden die folgenden Schritte ausgeführt:

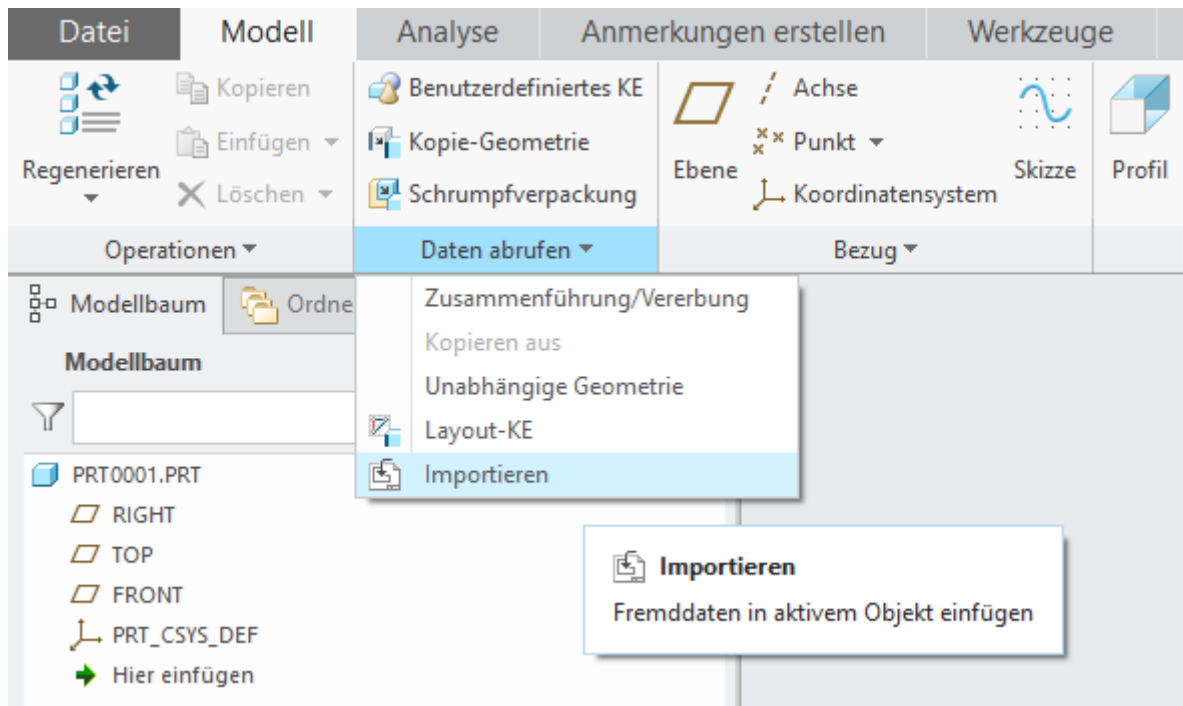
Im leeren CREO-Fenster wird ein neues Modell erzeugt (Schaltfläche „**Neu**“ oben links in der Menüleiste (blau hinterlegt)).



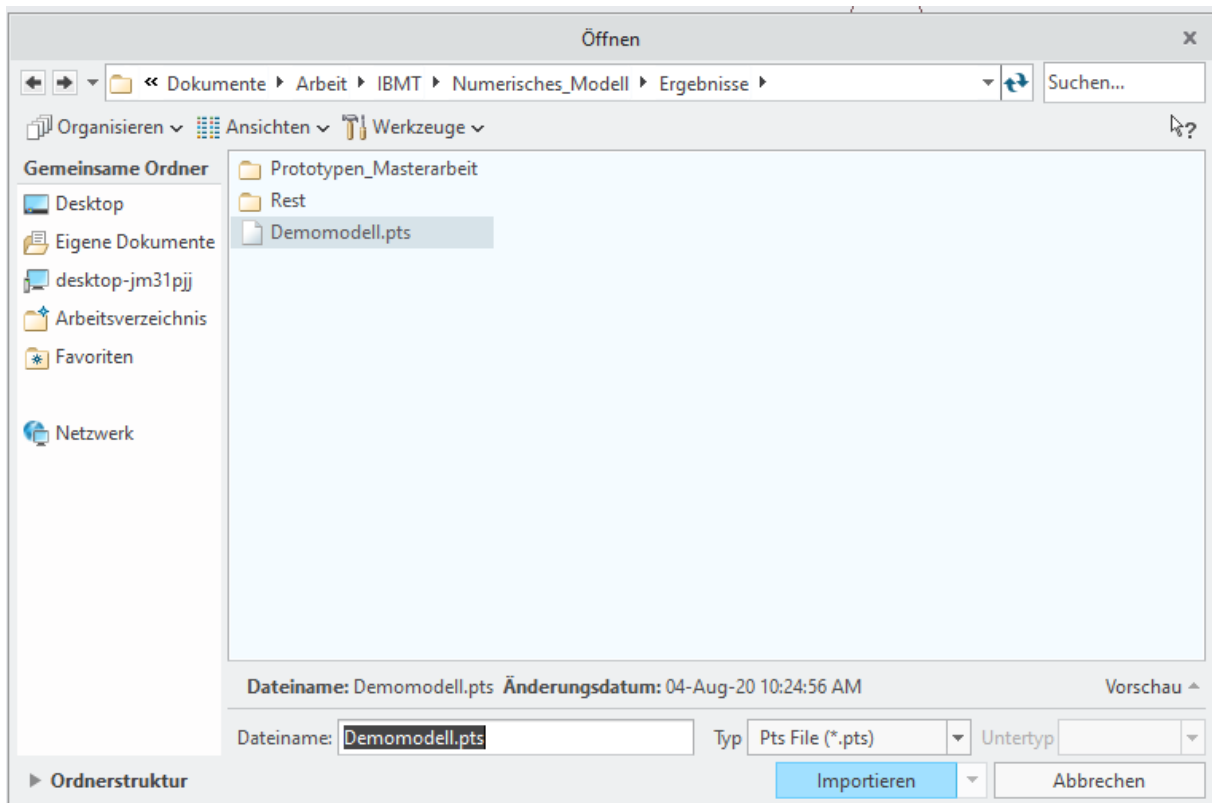
Im sich dann öffnenden Fenster werden folgende Optionen (**Teil**, **Volumenkörper**) gewählt und ein Name für das Modell angegeben. Anschließend auf „**Ok**“ bestätigen.



Unter „**Modell** -> **Daten abrufen** -> **Importieren**“ kann die Punktwolke in CREO importiert werden.

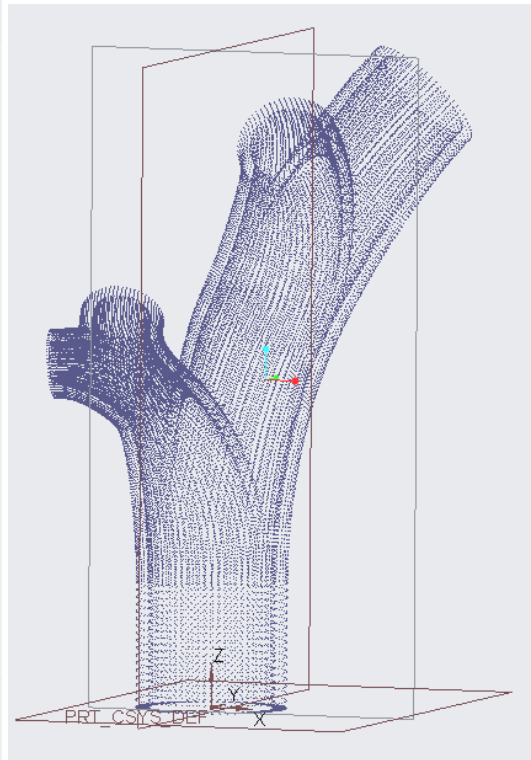
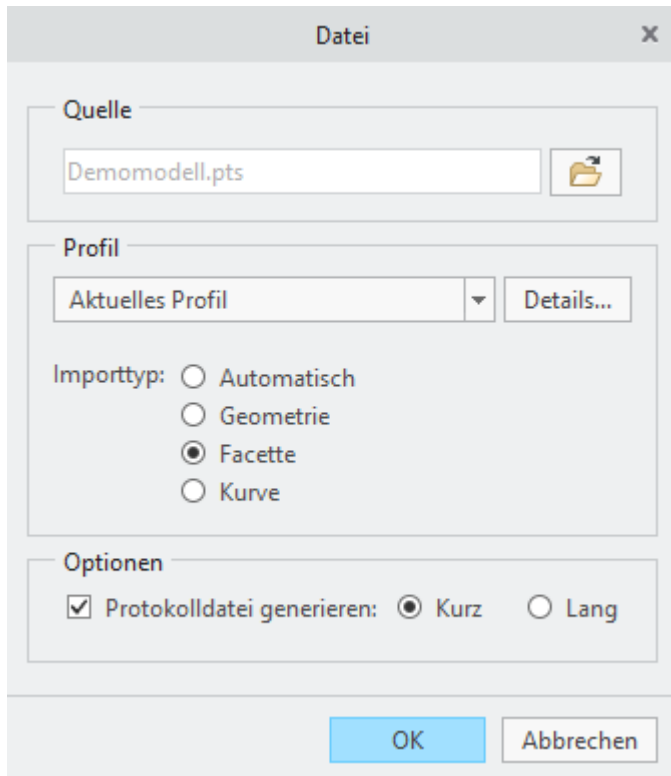


Im Dialogfenster kann die **.pts-Datei** ausgewählt werden.

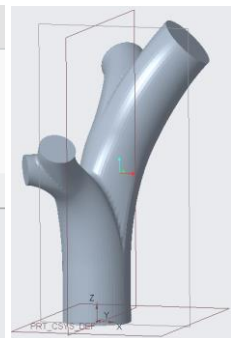
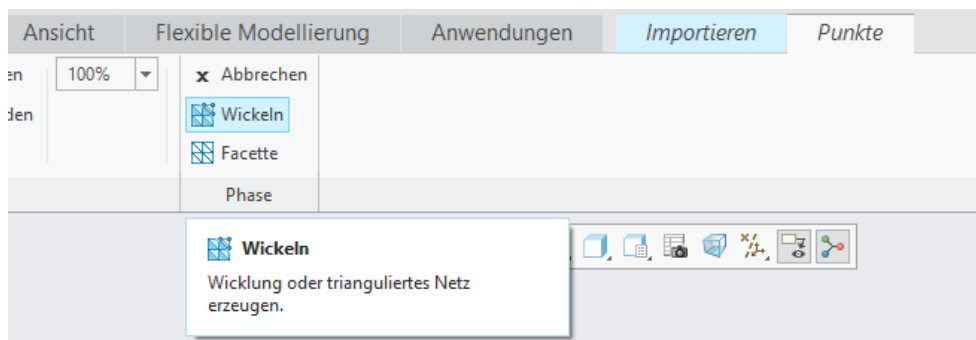


Dabei werden folgende Einstellungen gewählt. Das Protokoll ist optional. Wichtig ist, dass der Importtyp „**Facette**“ aktiviert ist. „**Ok**“ klicken. Anschließend wird die Punktwolke angezeigt.

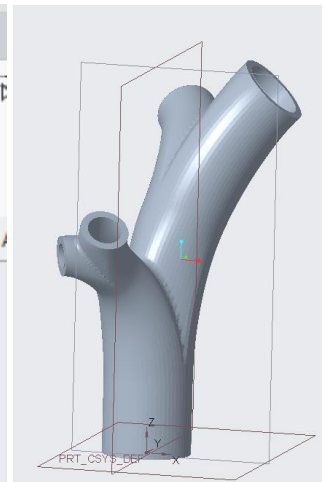
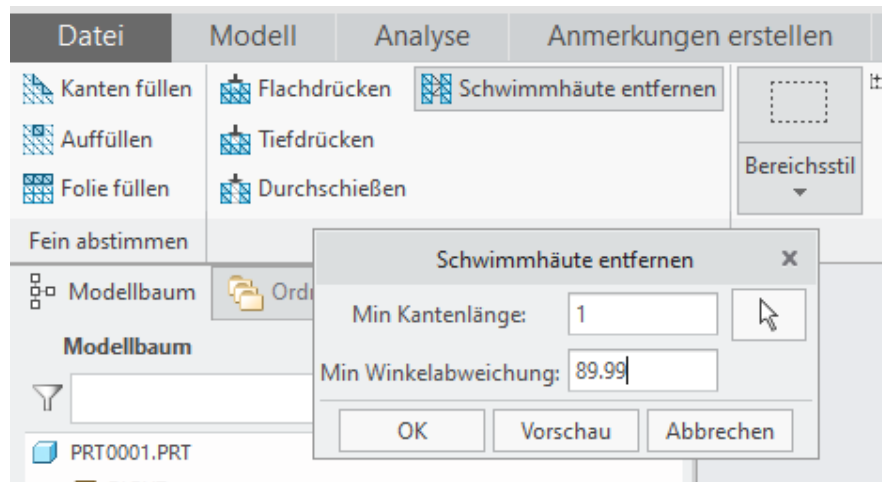




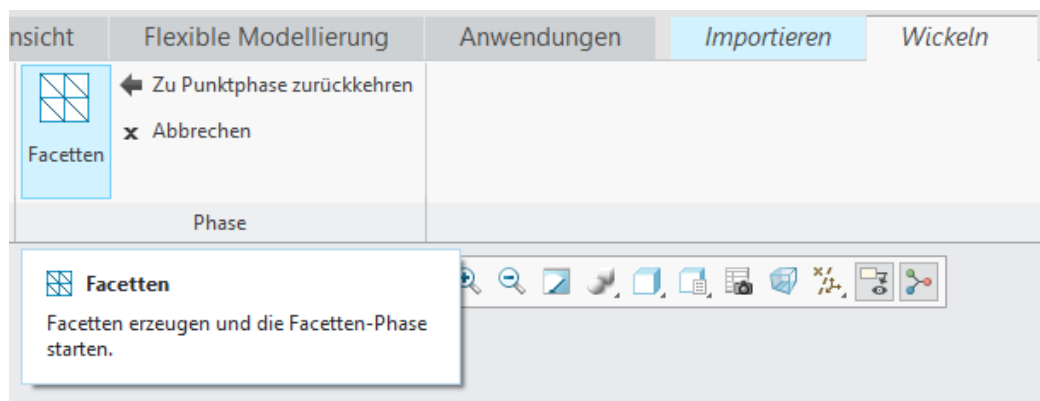
Oben werden der laufende Import- und Punkteprozess angezeigt. Durch „**Wickeln**“ wird dann eine Oberfläche in die Punktwolke interpretiert.



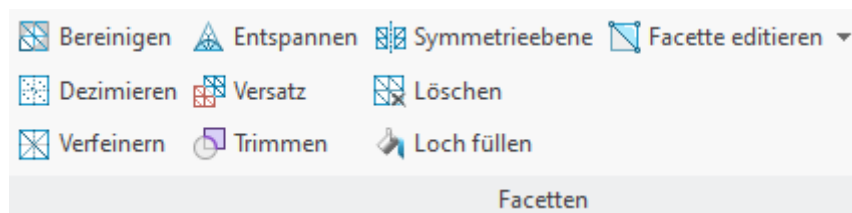
Unter „**Schwimmhäute entfernen**“ können zu große Dreiecke entfernt werden und so die Enden der Bronchien geöffnet werden.



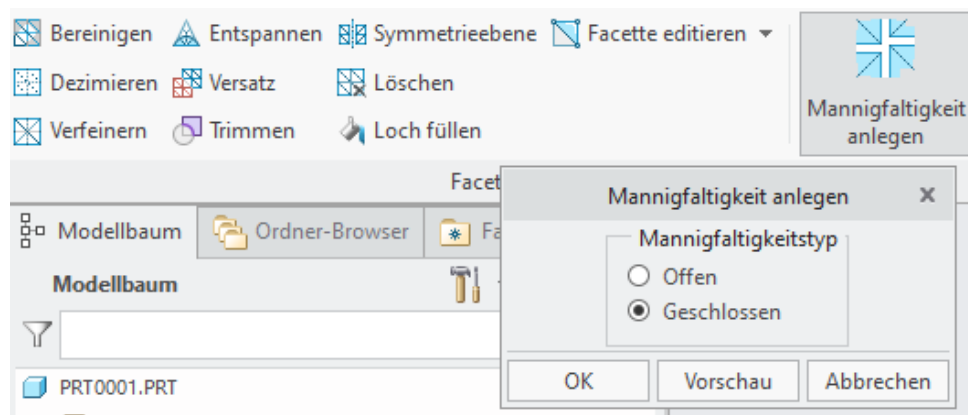
Unter „Facetten“ kann das Modell nun weiter verfeinert werden.



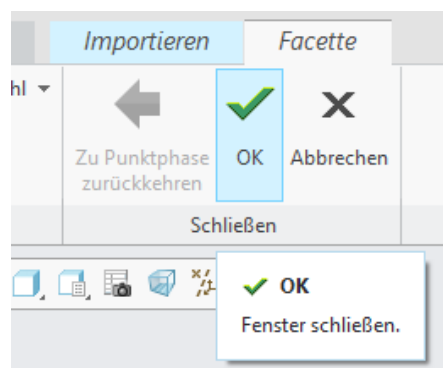
Über „**Verfeinern**“ können weitere Punkte zwischen die Punkte der Punktwolke interpoliert werden. Durch die Option „**Entspannen**“ kann das Modell geglättet werden.



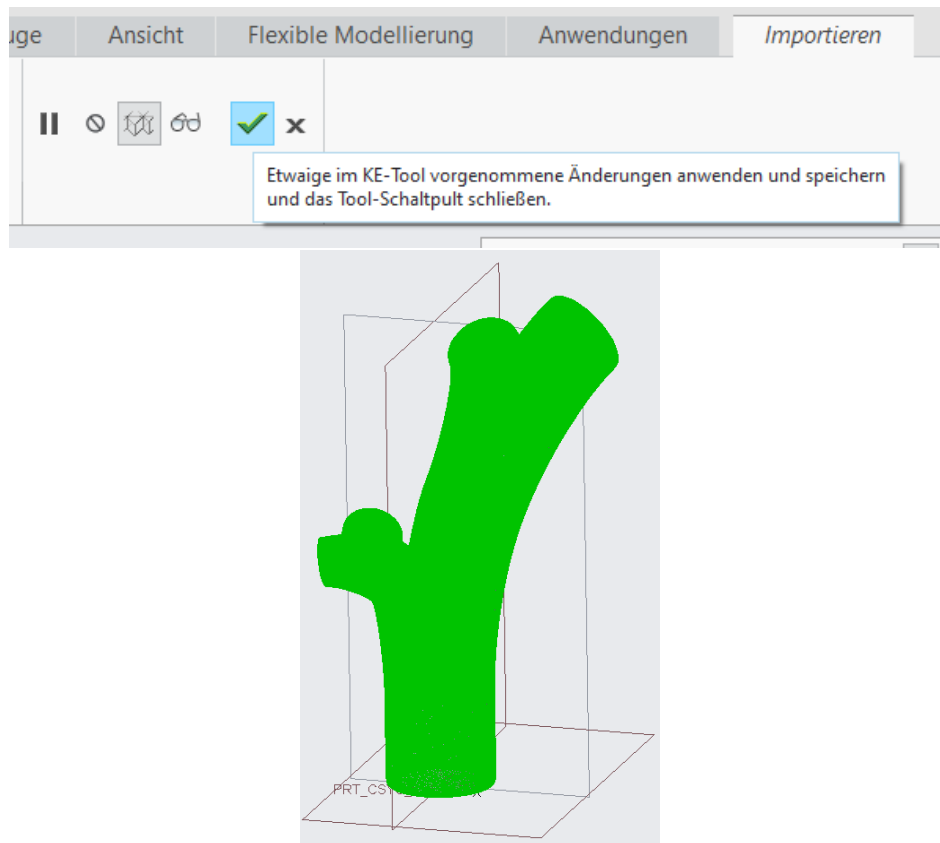
Nachdem das Modell durch diese beiden Optionen bereinigt wurde (optional) muss „**Mannigfaltigkeit anlegen**“ geklickt werden (in jedem Fall erforderlich).



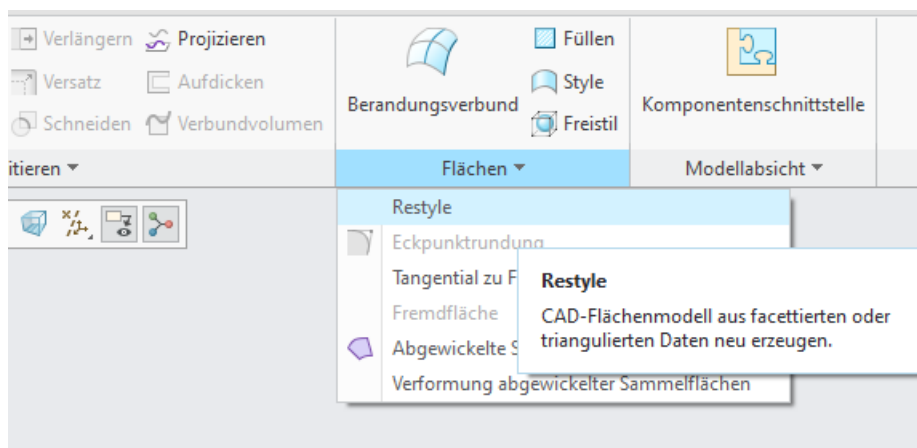
Dann mit dem **grünen Haken** die Facetten-Umgebung abschließen.



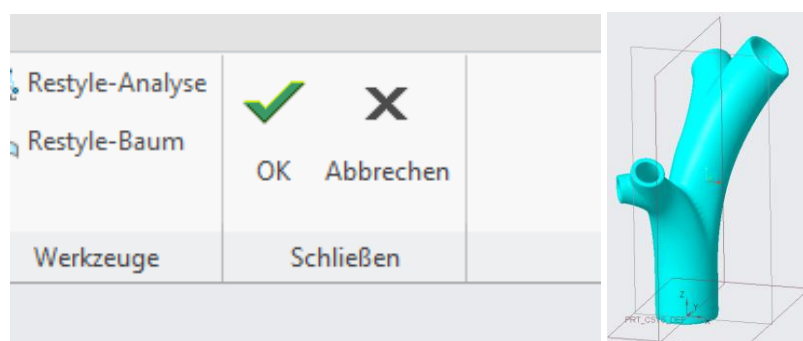
Die Importieren-Umgebung muss ebenfalls durch den **grünen Haken** geschlossen werden. Das Modell erscheint dann als grünes Gitter.



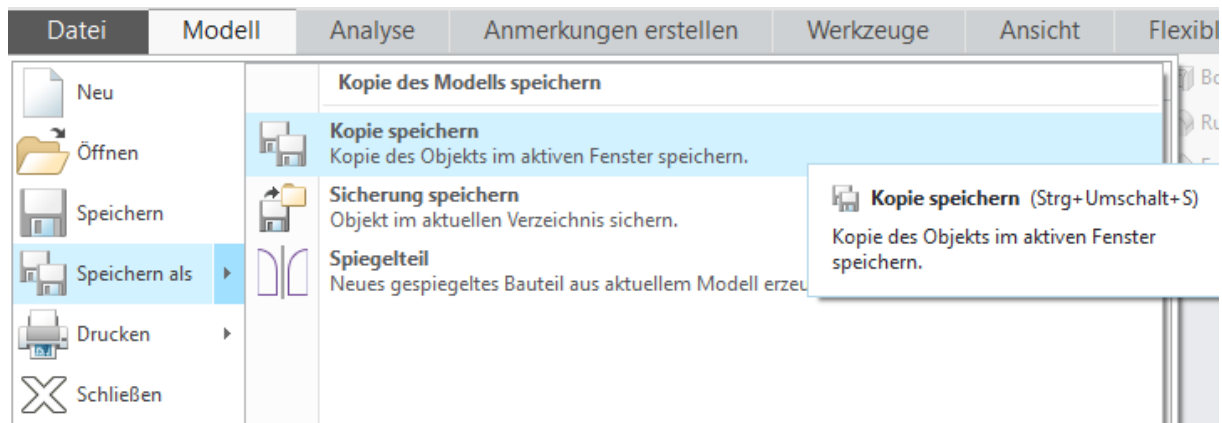
Als nächstes wird „(Modell) -> **Flächen** -> **Restyle**“ gewählt.



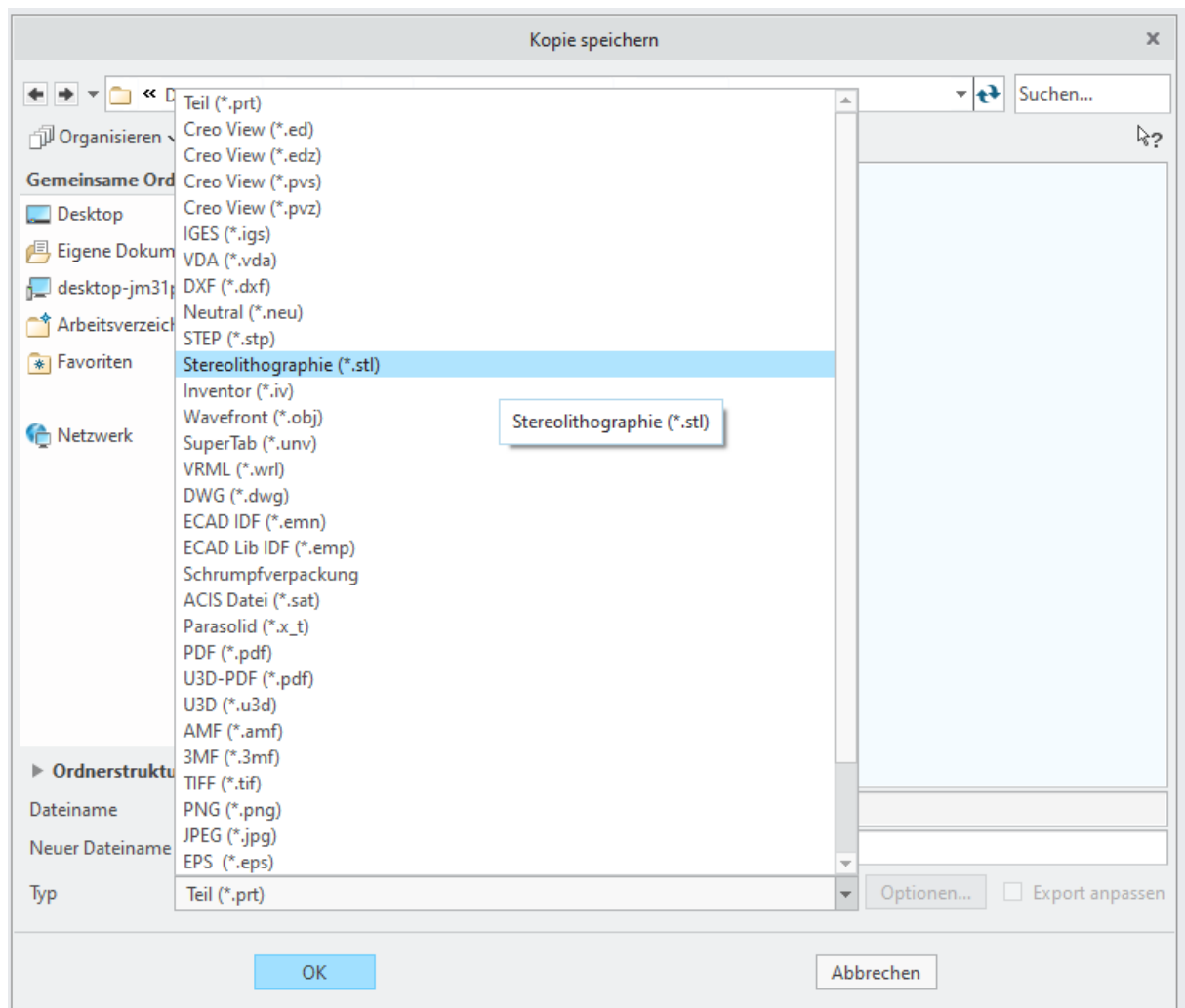
Dann wird mit dem **grünen Haken** bestätigt. Das Modell erscheint nun hellblau.



Fast fertig! Jetzt wird das Modell unter „**Datei** -> **Speichern als** -> **Kopie speichern**“ als .stl gespeichert.



Im sich öffnenden Fenster muss noch unter „**Typ**“ die Option „**Stereolithographie (\*.stl)**“ gewählt werden.



Wenn alles erfolgreich war, dann erscheint das Modell jetzt als blaues Gitter.

