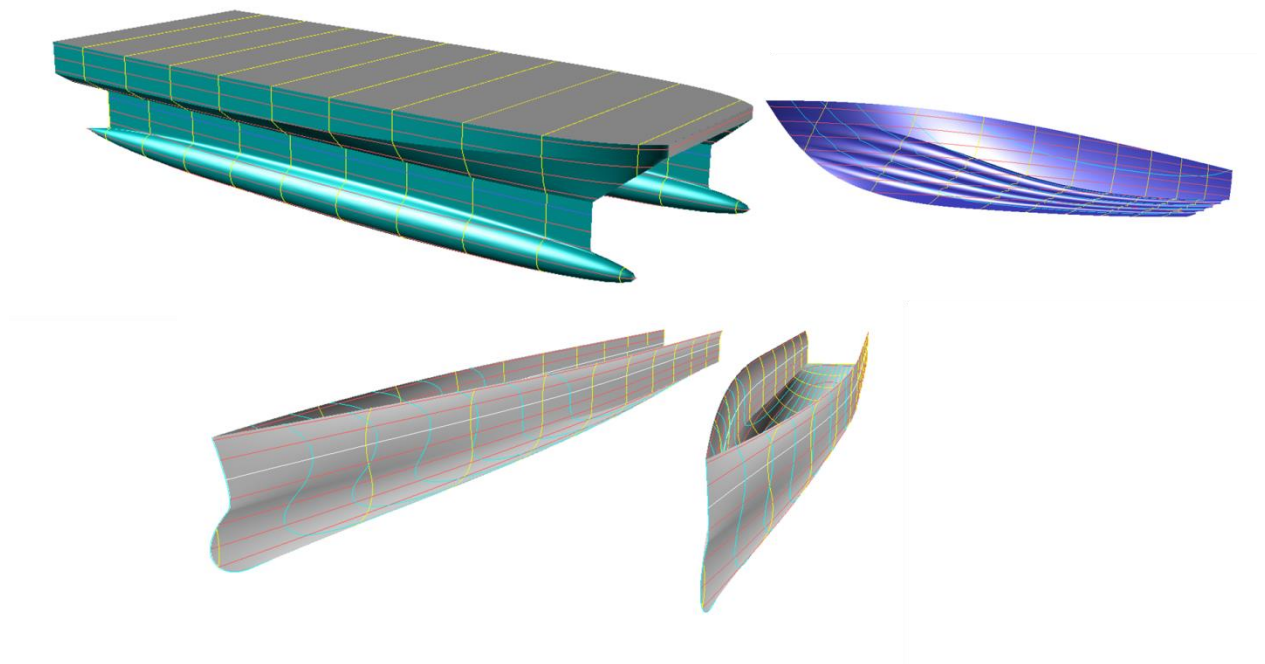


Drei Konstruktionsaufgaben

Katamaran-Rumpf, Rumpf mit multi-konkavem Boden, Swath-Schiff: Übergang Auftriebskörper – Stützfläche

von Reinhard Siegel

Mai 2022



Inhalt

Einleitung

1 Katamaran-Rumpf

1.1 Formmerkmale

1.2 Aussenflächen Rumpf

Oberkante Seite

Bodenkontur

Vorderkante von Seite und Boden

Hinterkante von Seite und Boden

Innere Masterkurven

Flächen

1.3 Innenflächen Rumpf

Boden

Seite

2 Multi-konkaver Rumpf

2.1 Formmerkmale

2.2 Rumpf mit Standard-Boden

Oberkante Seite, Knick, Bodenkontur

Vorsteven – Vorderkante von Seite und Boden

Hinterkante von Seite und Boden

Innere Masterkurven

Rumpfflächen

2.3 Rumpf mit multi-konkavem Boden

Masterkurven – regelbasierter Ansatz

Masterkurven – Freiform-Ansatz

3 Swath-Schiff: Übergang Auftriebskörper–Stützfläche

3.1 Formmerkmale

3.2 Basismodell

3.3 Ausrundungsfläche 1 – Rolling Ball Fillet

3.4 Ausrundungsfläche 2 – Blend Surface

3.5 Anwendungsfall – Swath-Schiff

Modell-Aufbau

Rumpfflächen

Auftriebskörper und Stützfläche

Übergang Auftriebskörper–Stützfläche

Einleitung

Dieses Tutorium, angeregt durch einen MultiSurf-User, behandelt das Modellieren eines Katamaran-Rumpfes, eines multi-konkaven Bodens für ein Motorboot sowie des Übergangs zwischen zwei Flächen. Es geht darum, wie sich ganz bestimmte charakteristische Formmerkmale erzeugen lassen. Es geht nicht darum, Modelle mit spezifischen Abmessungen zu erstellen.

Verwendete Abkürzungen:

Cp: Kontrollpunkt, Stützpunkt (control point, support point); synonym verwendet.

Mc: Masterkurve, Stützkurve, Kontrollkurve (master curve, support curve, control curve); synonym verwendet.

cp1, cp2, ...: bezeichnet den 1., 2. ... Punkt in der Liste der Kontrollpunkte einer Kurve. Es ist kein Objektname.

mc1, mc2, ...: bezeichnet die 1., 2. ... Kurve in der Liste der Stützkurven einer Fläche. Es ist kein Objektname.

Im Folgenden werden die MultiSurf-Namen für Punkt-, Kurven- und Flächenarten verwendet. Das ergibt zwar „denglische“ Sätze, soll aber dem Verständnis und der Nachvollziehbarkeit dienen.

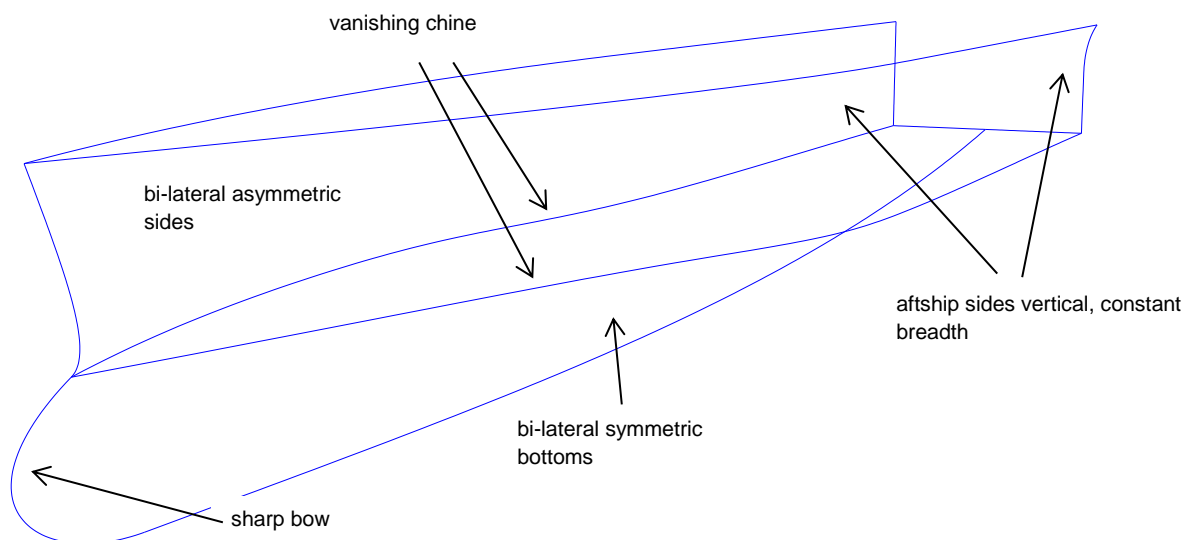
1 Katamaran-Rumpf

Ausgangspunkt ist ein Forschungsbericht über den Einfluß der Rumpfform auf die hydrodynamischen Eigenschaften von Hochgeschwindigkeits-Katamaranföhren. Das Geometriemodell einer der untersuchten Rumpfformen (S8) wird erstellt. Es ist kein Nachentwurf im Sinne von genauer Übereinstimmung, sondern es geht darum, die charakteristischen Formmerkmale zu modellieren. Am Beispiel des Modells *s8-z.ms2* wird dies versucht.

Wenn im Weiteren von „Rumpf“ die Rede ist, ist nicht der Rumpf des gesamten Schiffes gemeint, sondern der eintauchende Schwimmkörper einer Schiffshälfte (Semi Hull).

1.1 Formmerkmale

Welche geometrischen Merkmale hat die Form von S8?



- Es gibt einen in Längsrichtung verlaufenden Knick, er läuft zum Bug hin aus. Dieser Knick trennt die Rumpfflächen in Seite und Boden.
- Im hinteren Bereich sind die Seiten vertikal und konstant breit.
- Aussen- und Innenfläche des Bodens sind symmetrisch zu Mitte Rumpf.
- Aussen- und Innenfläche der Seite sind nicht symmetrisch zu Mitte Rumpf
- Wulstbug mit scharfen Wasserlinien

Wesentliches Formmerkmal ist der auslaufende Knick in der Rumpffläche. Tutorium 3 befaßt sich mit diesem Thema und beschreibt das prinzipielle Vorgehen, um eine solche Geometrie zu erzeugen.

Im vorliegenden Fall kommt hinzu, dass der Knick im hinteren Rumpfbereich in der Aufsicht gerade und mit konstanter Breite verläuft.

Für die Rumpf-Seiten sind wegen der Unsymmetrie zwei Flächen zu erzeugen. Die Aussenfläche des Bodens kann wegen der Symmetrie an der Rumpf-Mittelebene gespiegelt werden.

Anmerkungen zum Modell

Modell-Einstellungen (Tools/ Options/...)

.../ Model Units: Meters / Kilograms

.../ Performance: Decimal places = 4; Divisions multiplier = 2

.../ Dragging: Nudge amount = 0.01 [m]

Koordinatensystem

Statt des globalen Koordinatensystems wird als Koordinatensystem des Modells der 3-point Frame [frame1](#) verwendet. Dadurch kann der gesamte Rumpf einfach an die gewünschte Breitenposition verschoben werden.

Mittelebene Rumpf

Die Mittelebene des Rumpfes ist die 2-point Plane [plane1](#).

Verkürzte Darstellung

Wegen der besonderen Schlankheit des Rumpfes sind Ungenauigkeiten im Strak nicht leicht zu erkennen. Im Entwurfsstadium wird das Modell in X-Richtung um den Faktor 0.5 skaliert, ausgenommen die Cps der Bug-Masterkurven.

1.2 Aussenflächen Rumpf

Betrachten wir zunächst die Aussenflächen des Rumpfes (Semi Hull).

Es werden zwei in Längsrichtung verlaufende Flächen erzeugt, die C-spline Lofted Surface [side_out](#) für die Seite und die C-spline Lofted Surface [bottom_out](#) für den Boden. Seite und Boden sind entlang ihrer gemeinsamen Längskante verbunden. Sie stoßen im hinteren Rumpfbereich mit einem Knick aneinander, im vorderen Bereich sind sie in Spantrichtung tangential verbunden. Beide Flächen werden gestützt von B-spline-Masterkurven.

(Siehe auch die Tutorien 1 und 2; dort werden die Vorteile einer C-spline Lofted Surface mit B-spline Masterkurven und die Vertexkurven-Methode beschrieben.)

Beginnen wir mit dem Umriß beider Flächen, also Oberkante, Hinterkante, Unterkante, Vorderkante.

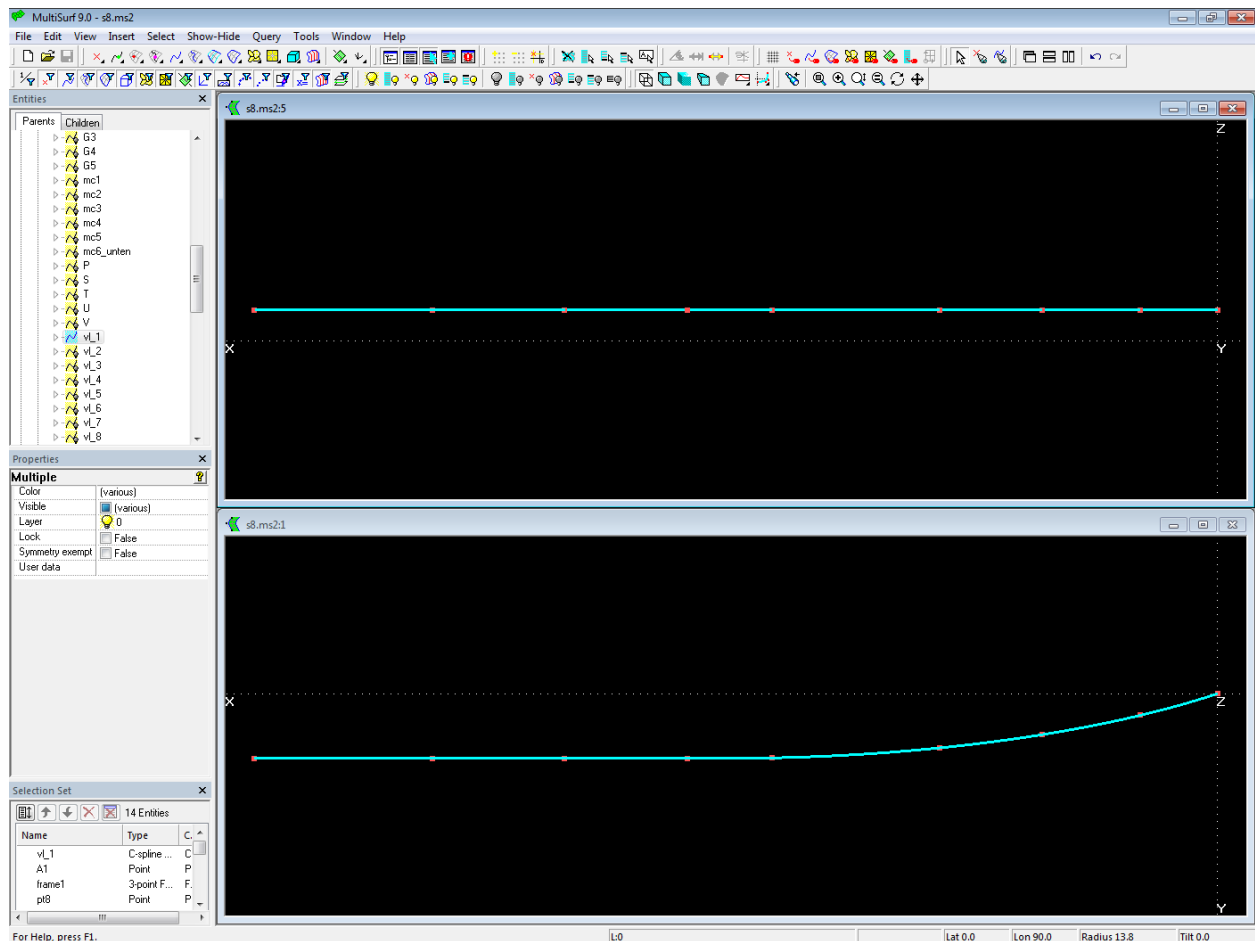
Oberkante Seite

Y-view: Verlauf von Bug bis Heck ist horizontal. Dies ist eine Annahme. Die Seite wird nach oben sicher weitergehen, die Mcs sind entsprechend nach oben zu verlängern.

Z-view: konstante Breite in der hinteren Hälfte.

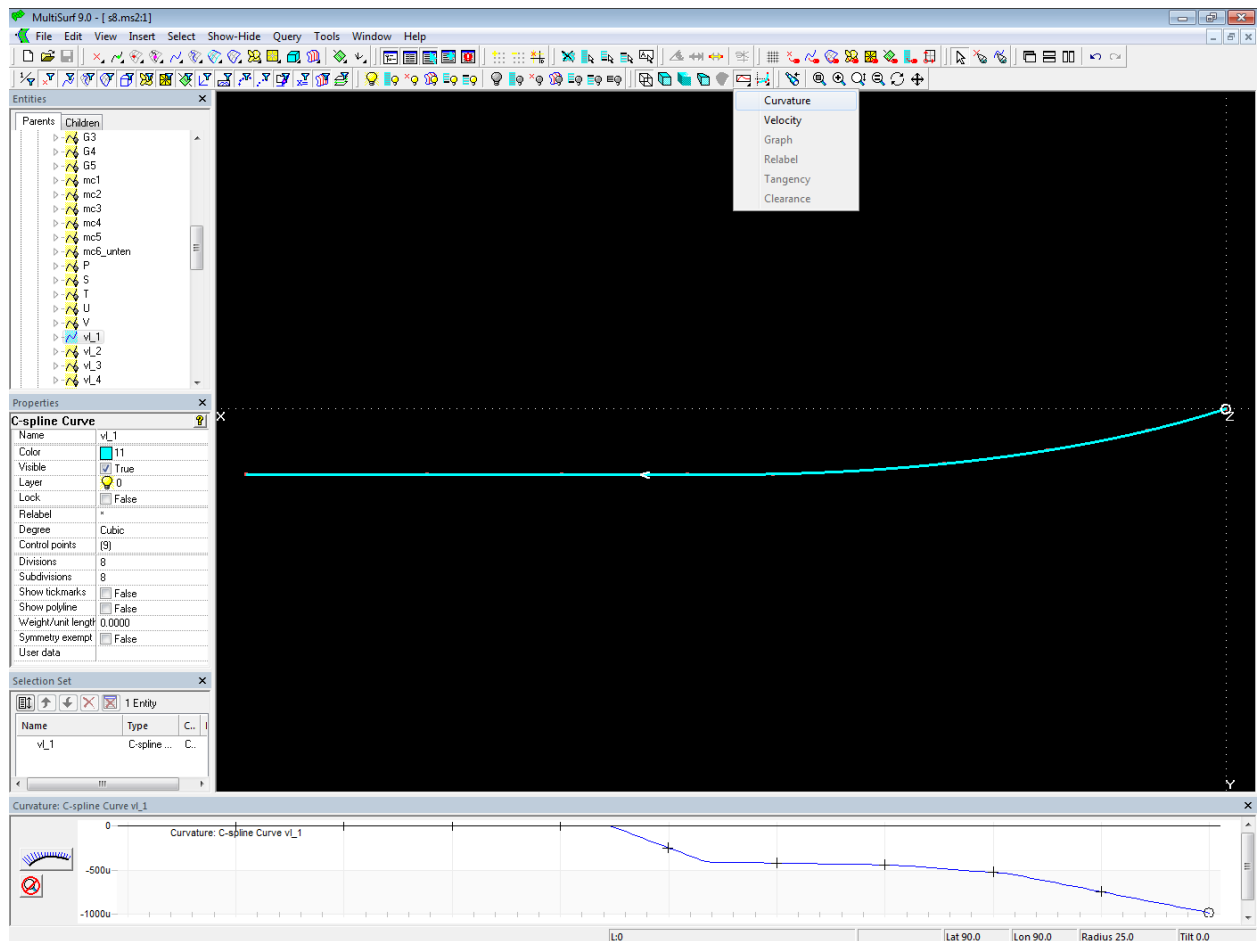
Da eine C-spline Lofted Surface verwendet wird, muß durch Anzahl und Position der Cps dafür gesorgt werden, dass die Kurve nicht schwingt.

Es werden 9 Cps verwendet, alle definiert im 3-point Frame [frame1](#). Durch diese Punkte der Oberkante Seite verläuft die C-spline Curve [vl_1](#) (Vertexkurve, Strakhilfskurve). Die Eigenschaft „Dragging“ der Cps ist gesetzt auf Y-Richtung.



Modell s8-z.ms2 – Vertexkurve vL_1 beschreibt die Oberkante der Seite.

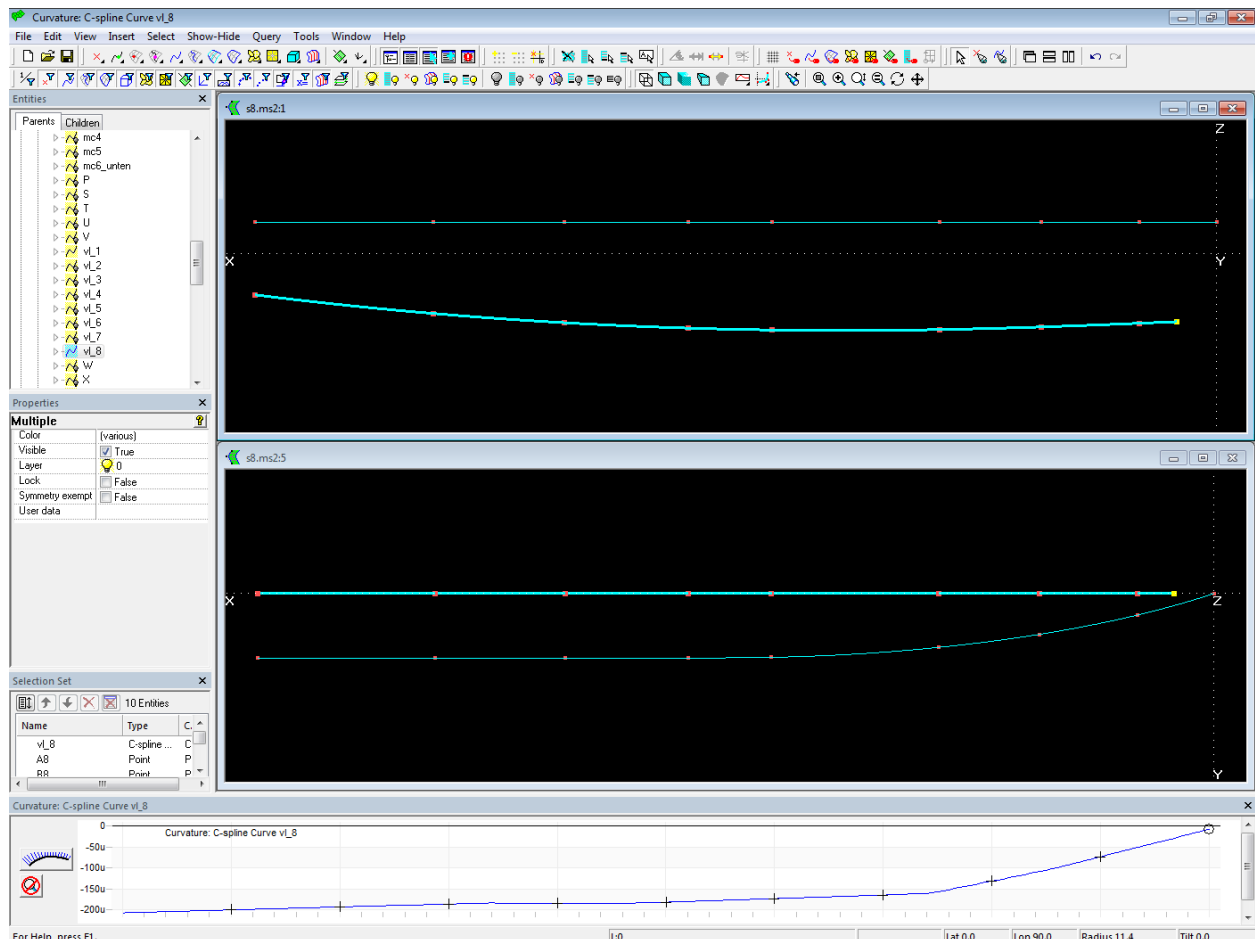
Über View/ Display/ Profile/ Curvature (oder den entsprechenden Toolbar Button) kann kontrolliert werden, dass die Kurve in eine Gerade einläuft.



Modell s8-z.ms2 – Vertexkurve **v1_1**: Kontrolle des Krümmungsverlaufs über Profile/ Curvature

Bodenkontur

Analog wird die Strakhilfskurve (Vertexkurve) **v1_7** für den Verlauf der Bodenkontur erzeugt. Für alle Cps ist $dy = 0$. Eigenschaft „Dragging“ gesetzt auf Z-Richtung.



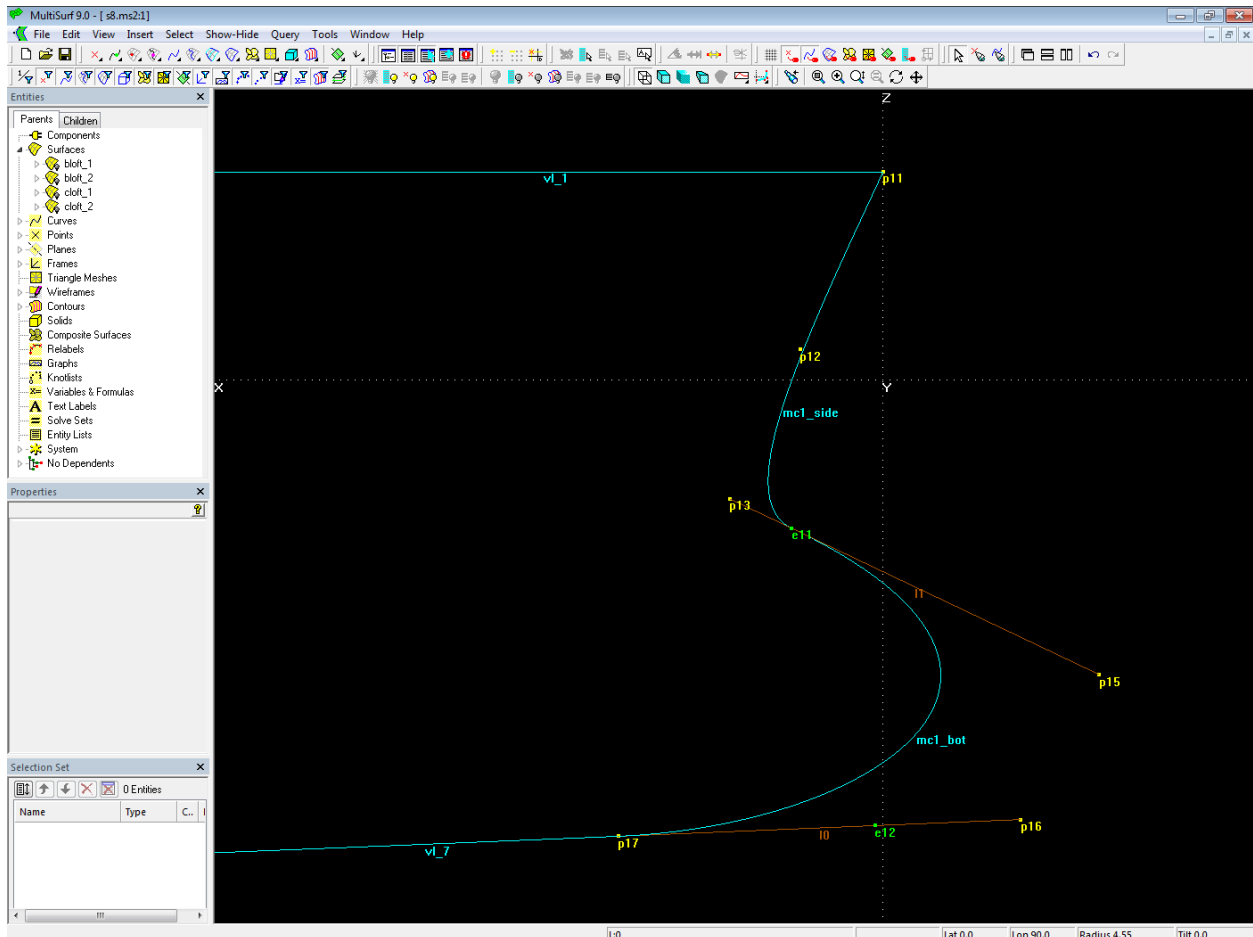
Modell s8-z.ms2 – Bodenkantur(Vertexskurve [v1_7](#))

Vorderkante von Seite und Boden

B-spline Curve [mc1_side](#) und B-spline Curve [mc1_bot](#) – beide verlaufen in der Mittschiffsebene des Rumpfes. Also alle Cps definiert im 3D Frame [frame1](#) mit $dy = 0$. Eigenschaft „Dragging“ gesetzt auf X- und Z-Richtung.

Die Anzahl Cps (hier für beide Flächen 4) ist kein Dogma. Man verwende so viel, wie es nötig ist, um die gewünschte Form zu erzeugen. Eigenschaft „Degree“ der B-spline Curves gleich 3. Endpunkt von [mc1_side](#) (Bead [e11](#)) ist gleich Startpunkt von [mc1_bot](#).

Beide Kurven sind tangential verbunden.



Modell s8-z.ms2 – Konstruktion der Mcs **mc1_side** und **mc1_bot**. Die tangentielle Verbindung ist festverdrahtet. Ebenso der tangentielle Einlauf in die Bodenkontur.

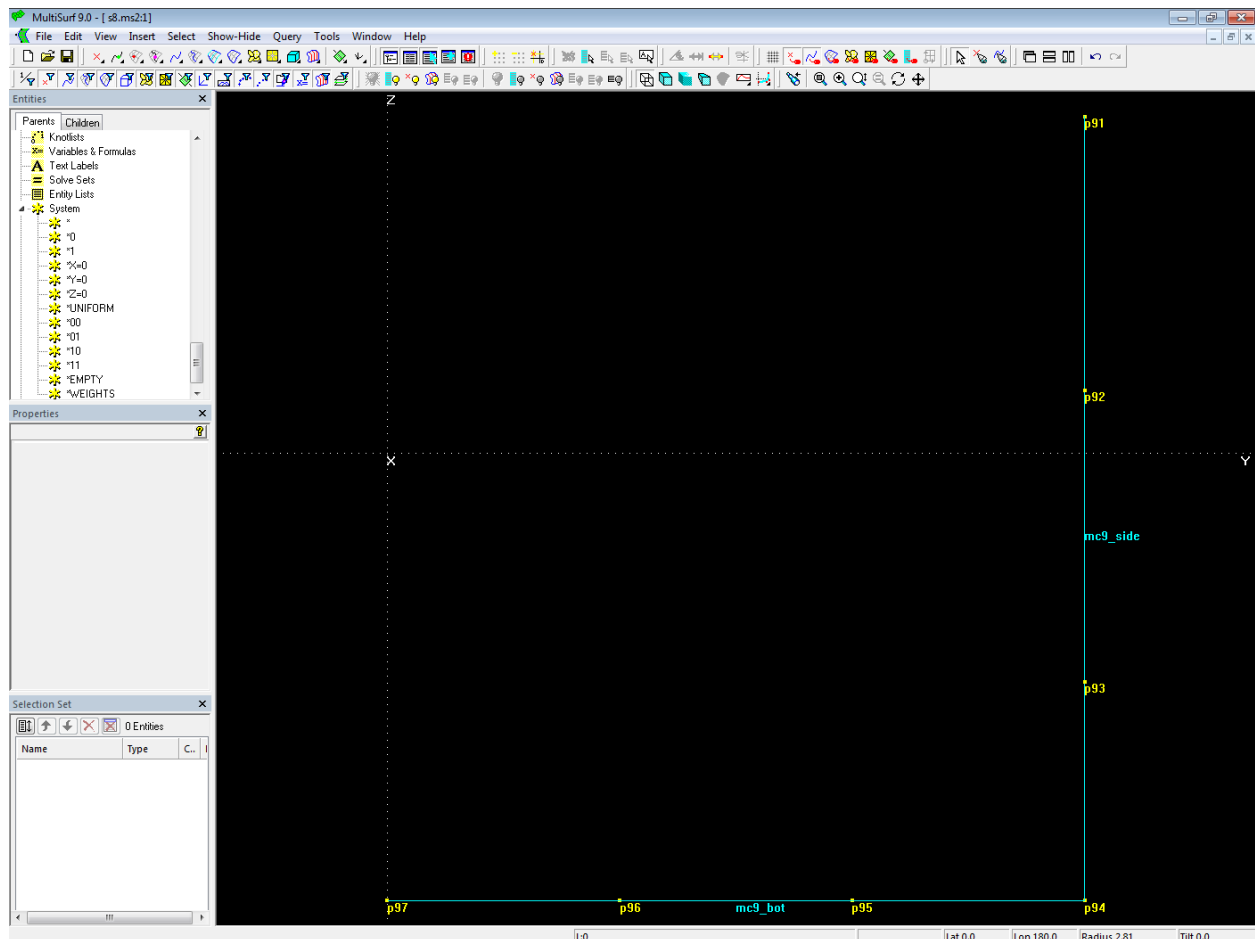
Man beachte auch, dass der vorletzte Cp (Bead **e12**) von **mc1_bot** auf der Tangente (Line **l0**) im Startpunkt der Vertexkurve **vl_7** liegt. Damit ist der tangentielle Einlauf von **mc1_bot** in die Bodenkontur festverdrahtet.

Hinterkante von Seite und Boden

Seite vertikal: B-spline Curve **mc9_side**; für innere Cps: „Dragging“ = Z-Richtung.

Boden horizontal: B-spline Curve **mc9_bot**; für innere Cps: „Dragging“ = Y-Richtung

Beide Mcs verlaufen in Spantebene; für alle Cps: dx = 20 (Längen im Entwurfsstadium um Faktor 0.5 verkürzt).



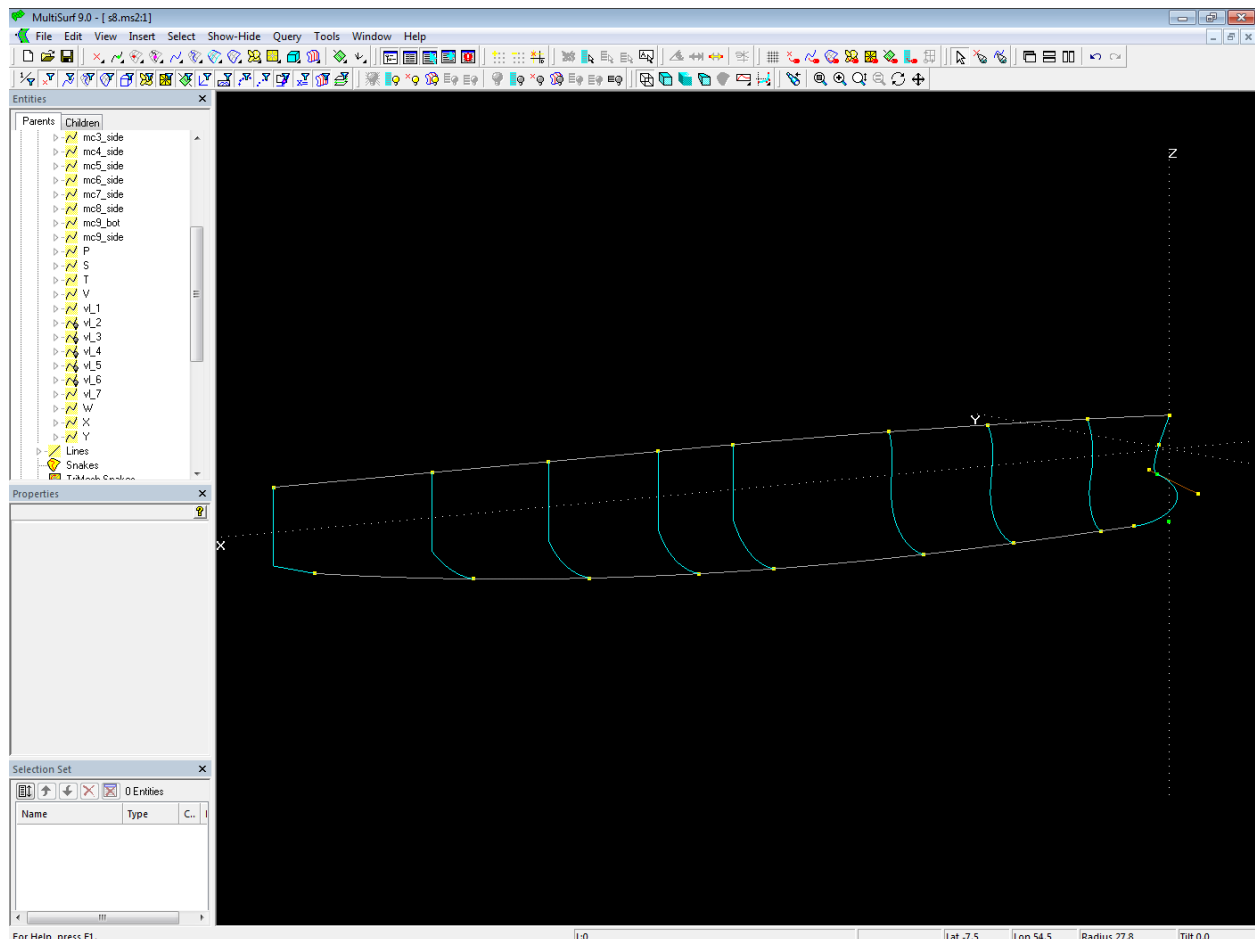
Modell s8-z.ms2 – Masterkurven am Heck: B-spline Curves *mc9_side* und *mc9_bot*

Damit sind Oberkante der Seitenfläche (*vl_1*), Unterkante der Bodenfläche (*vl_7*), sowie Vorder- und Hinterkante (*mc1_side*, *mc1_bot*, *mc9_side*, *mc9_bot*) des Rumpfes bestimmt.

Von der gemeinsamen Längskante von Seite und Boden sind bislang nur Beginn und Ende festgelegt, nämlich Bead *e11* (Bug) und Point *p94* (Heck).

Innere Masterkurven

Es müssen nun Mcs für das Innere beider Flächen erzeugt werden – 7 B-spline-Mcs für die Seite und 7 B-spline-Mcs für den Boden. Die Position dieser inneren Mcs sowie Start- und Endpunkt ist durch die Cps von *vl_1* und *vl_7* gegeben. Die Anzahl der Cps pro Mc ist 4, Degree = 3. Es kann somit mit der Vertexkurven-Methode gearbeitet werden, um strakende Flächen zu erzeugen.

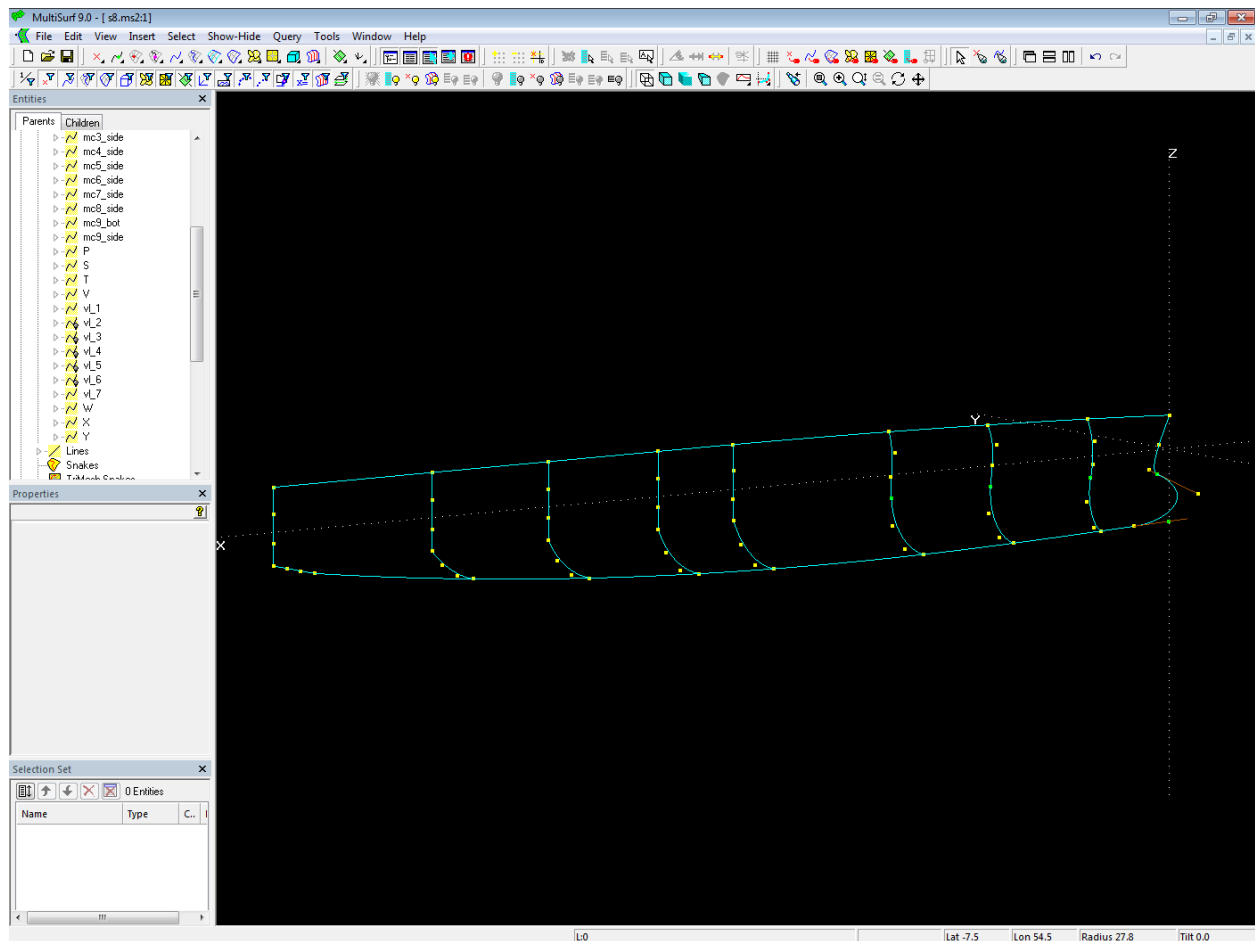


Modell s8-z.ms2 – Masterkurven der Außenflächen des Rumpfes

Die Mcs **mc6_side** bis **mc8_side** verlaufen vertikal. „Dragging“ der Cps gesetzt auf Z-Richtung.

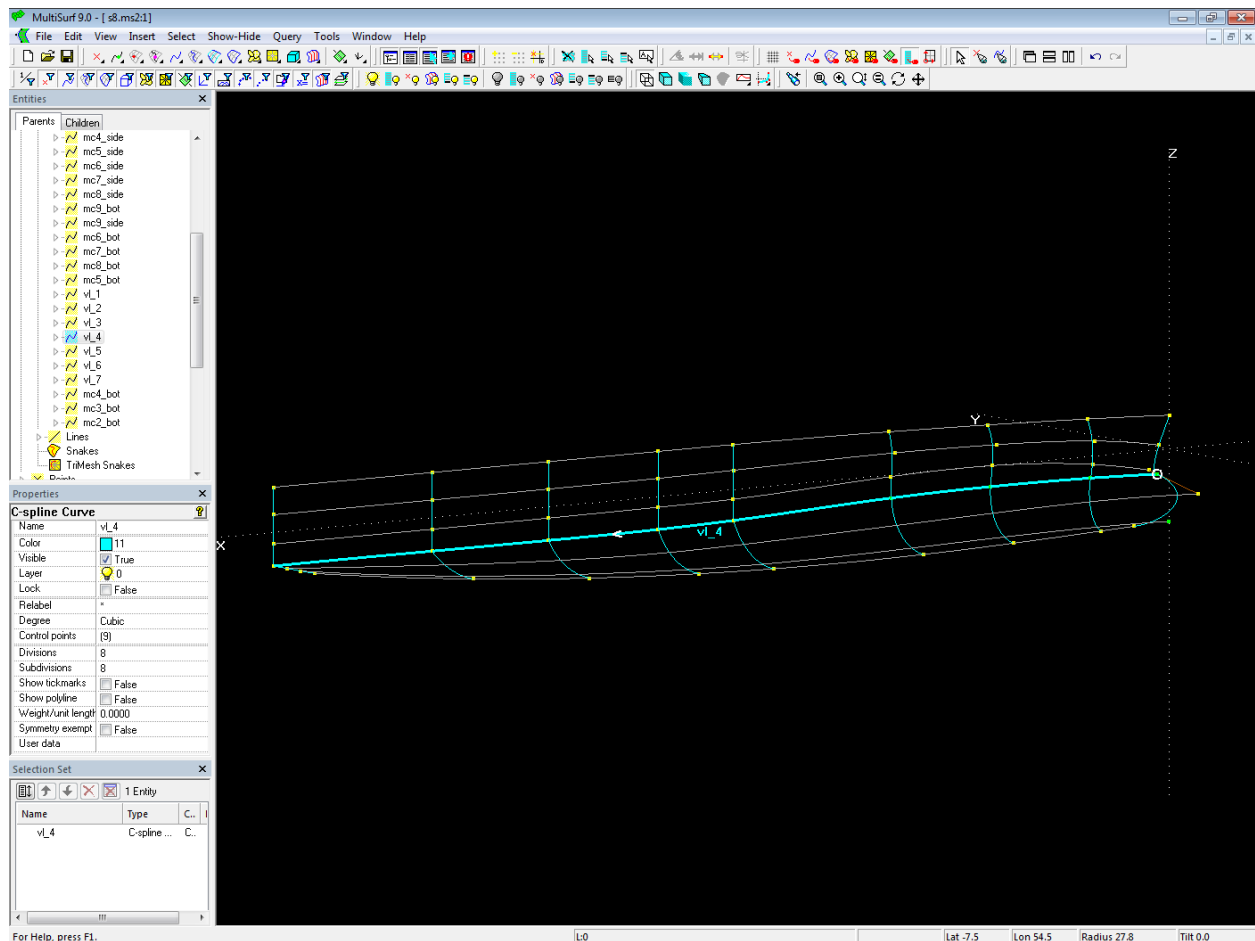
Alle inneren Mcs verlaufen in Spantebene; folglich ist bei C-spline Lofted Surfaces die Form der Mc gleich der Form des Spantes am Ort der Mc.

„Dragging“ der Cps gesetzt auf Y und Z. Ein Cp kann dann in Perspektiv-Ansicht verschoben werden (dy, dz), ohne dass sich dx ändert.



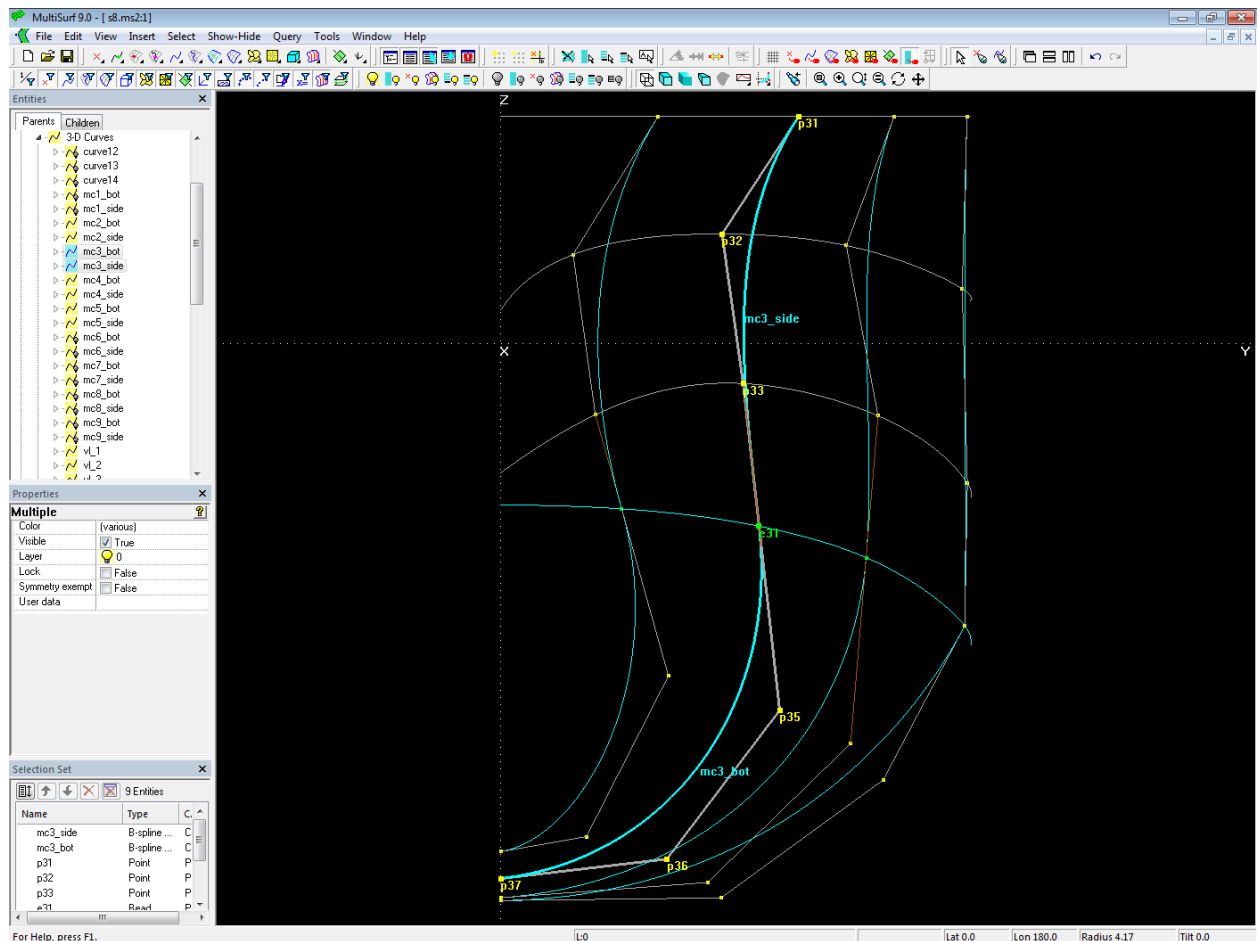
Modell s8-z.ms2 – Masterkurven und Kontrollpunkte für Seite und Boden der Rumpfaussenflächen

Zur Positionierung der Cps werden die C-spline Curves [vl_2](#) bis [vl_6](#) (Strakhilfskurven) durch die entsprechenden Cps der Mcs gelegt. Die gemeinsame Kante der Seiten- und der Bodenfläche beschreibt [vl_4](#).



Modell s8-z.ms2 – Strahlfeldkurven (Vertexkurven) zur Positionierung der Cps. Den Knickverlauf definiert **vl_4**.

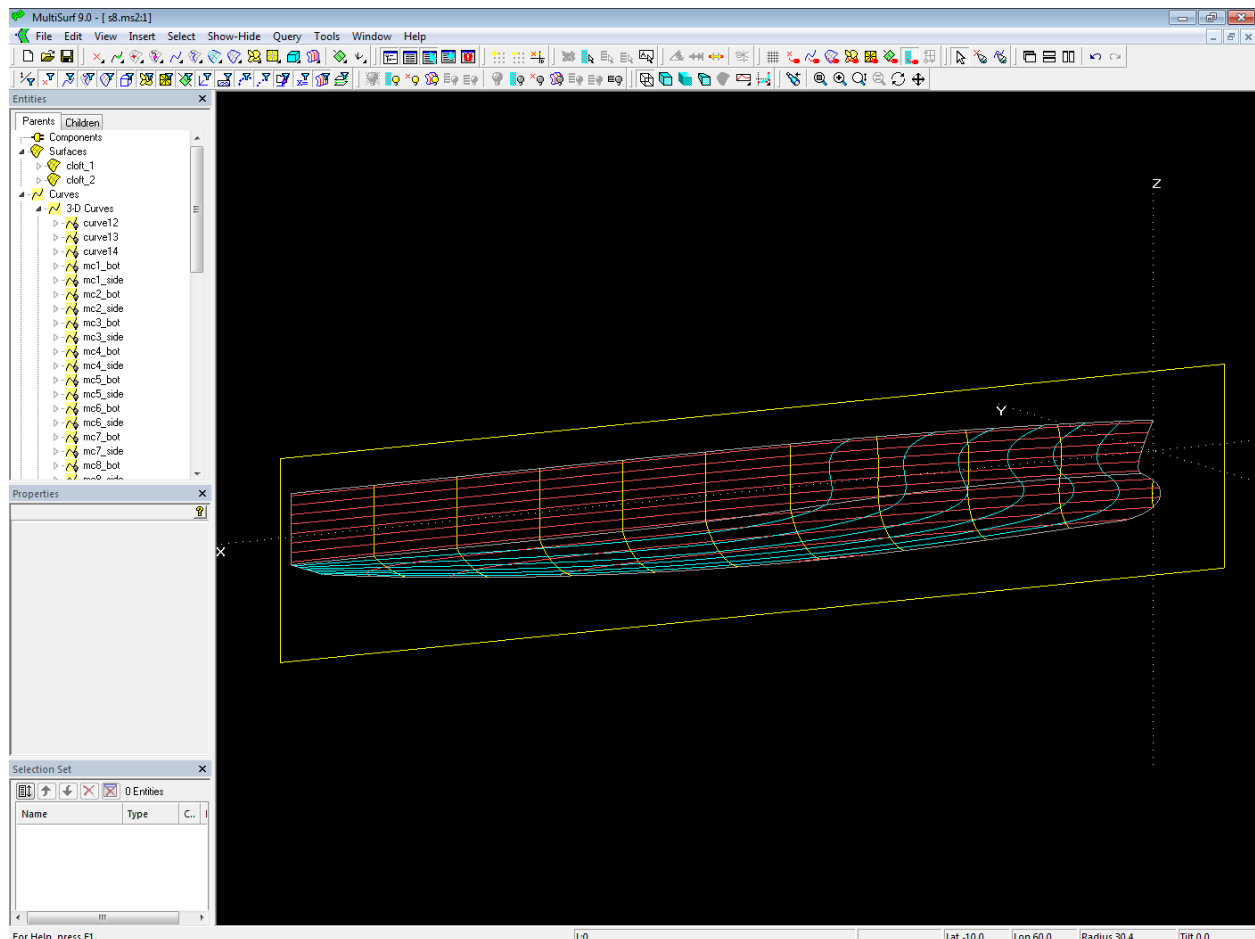
Der tangentielle Anschluß der Mcs 2,3 und 4 erfolgt über die gleiche Konstruktion wie für die Mcs von Seite und Boden am Bug.



Modell s8-z.ms2 – tangentielle Verbindung der Mcs 2, 3 und 4

Flächen

Nach Definition der inneren Mcs können nun die beiden C-spline Lofted Surface **side_out** und **bottom_out** erzeugt werden. Anschließend werden durch diese die Contours Spanten, Schnitte und Wasserlinien gelegt.



Modell s8-z.ms2 – Aussenflächen des Rumpfes (Länge verkürzt)

Soweit zur Konstruktion des Modells für die Aussenflächen des Katamaranrumpfes.

1.3 Innenflächen Rumpf

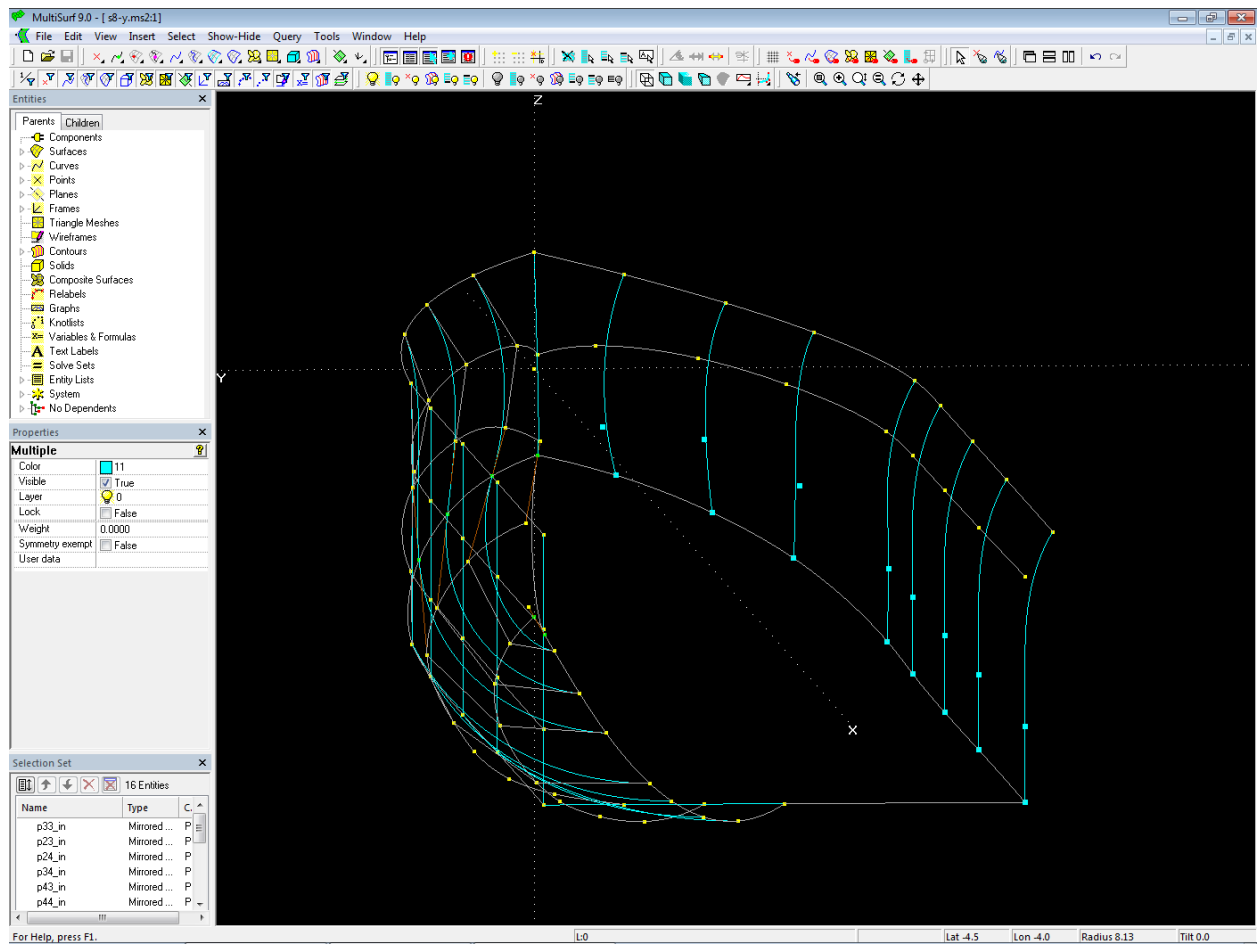
Boden

Bei der vorliegenden Geometrie sind für den Boden Aussen- und Innenfläche symmetrisch zur Mittelebene des Rumpfes. Die Boden-Innenfläche kann somit durch die Mirrored Surface [bottom_in](#) erzeugt werden.

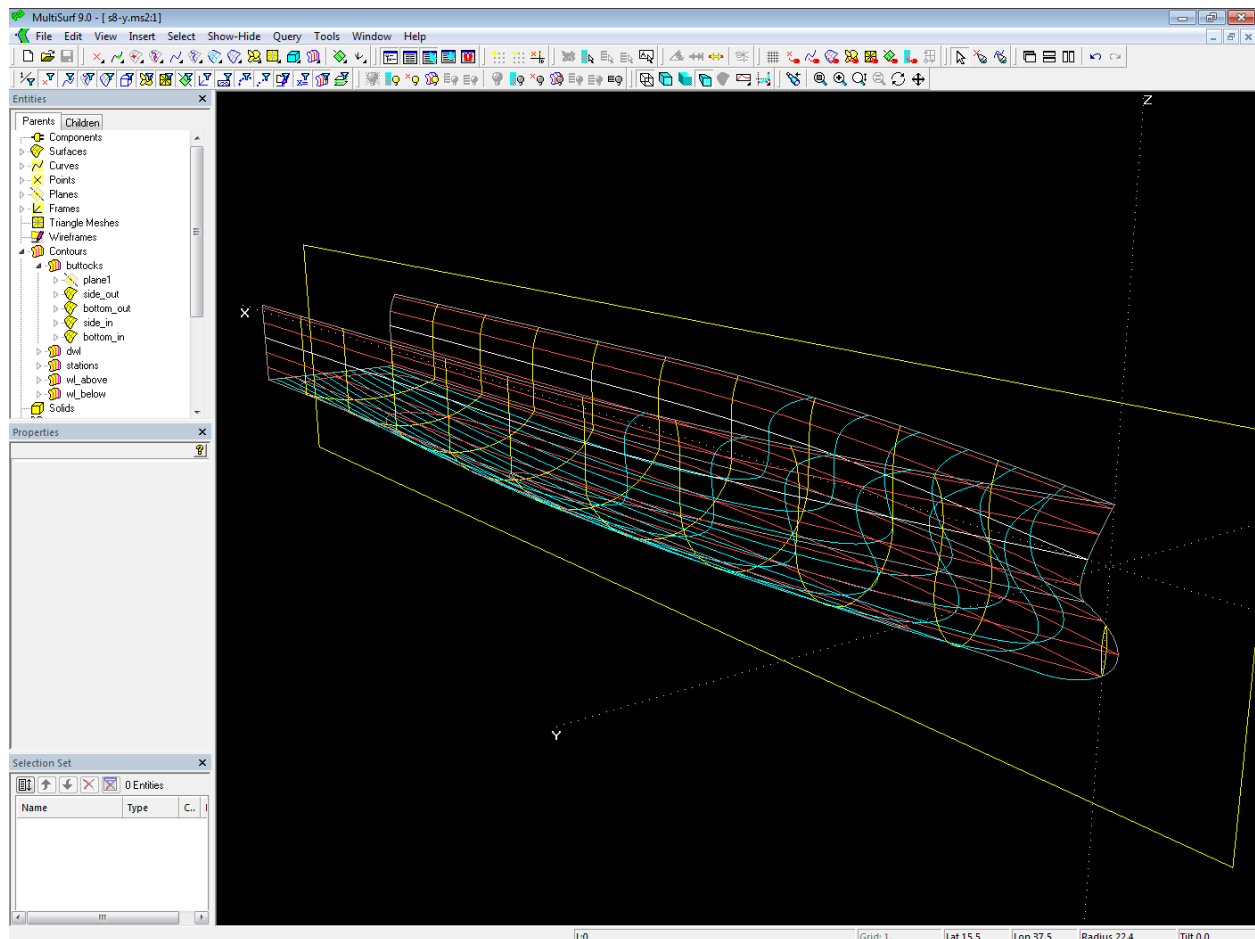
Seite

Aussen- und Innenfläche der Seite sind nicht symmetrisch zur Mittelebene. Darum wird für die Seite die C-spline Lofted Surface [side_in](#) erzeugt: Ihre Mcs sind B-spline Curves mit je 4 Cps. Cp3 und Cp4 sind Mirrored Points der Cps der korrespondierenden Mcs für die Aussenfläche der Seite.

Änderungen der Aussenflächen [side_out](#) und [bottom_out](#) werden somit automatisch auf die Innenflächen [side_in](#) und [bottom_in](#) übertragen.



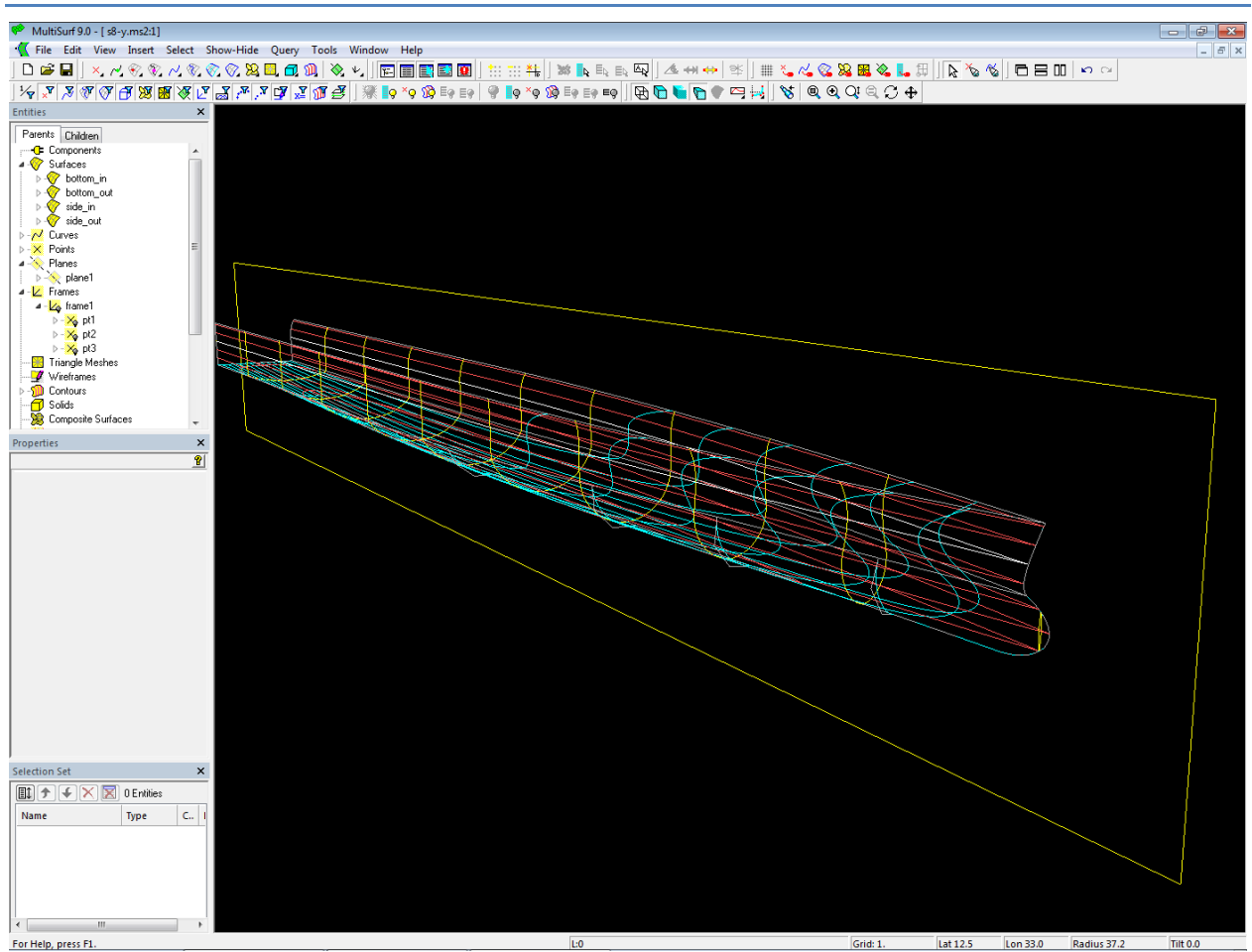
Modell s8-z.ms2 – Mcs für die Innenfläche der Seite – Cp3 und Cp4 sind Mirrored Points der Cps der korrespondierenden Mcs für die Aussenfläche der Seite.



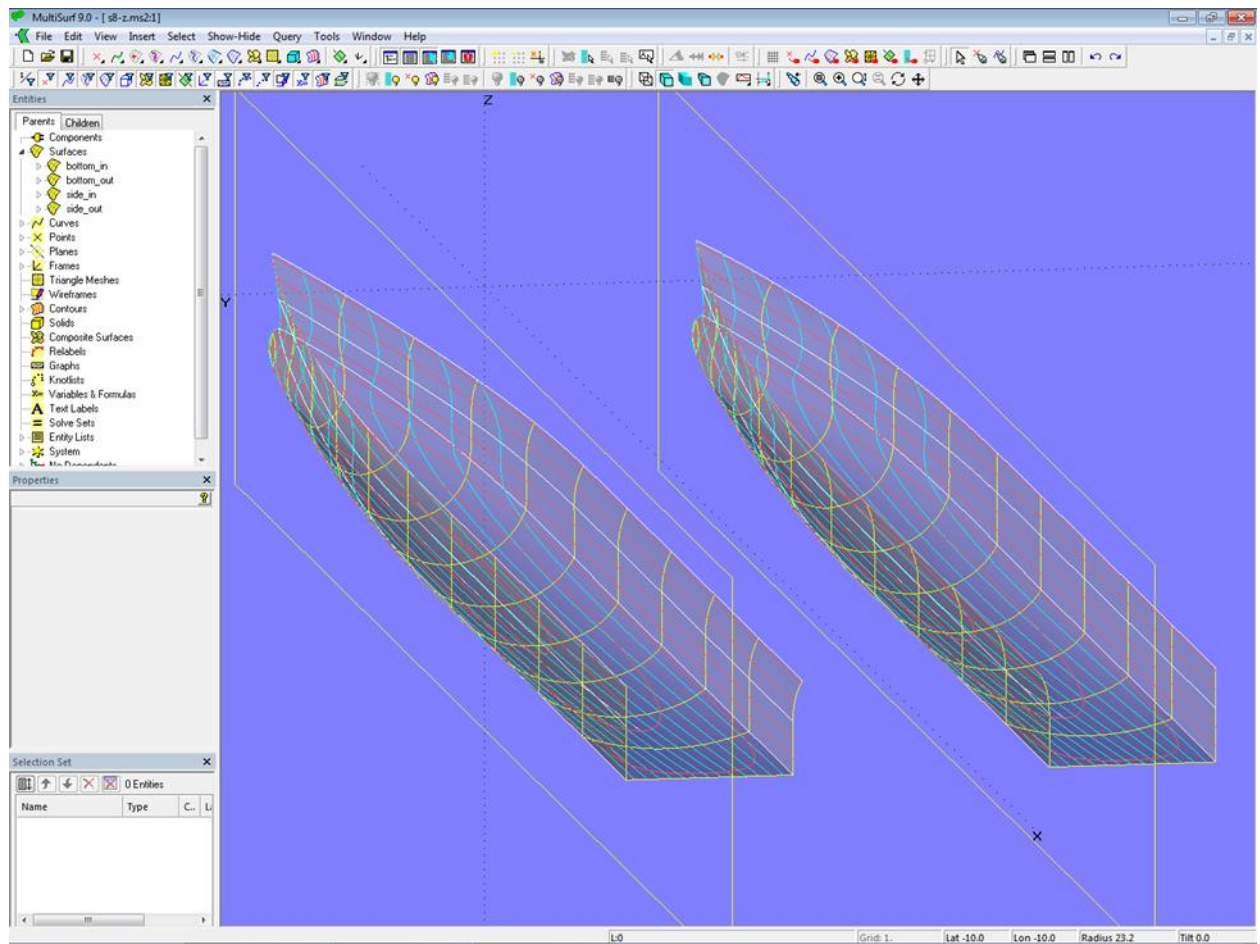
Modell s8-z.ms2 – Aussen- und Innenflächen des Rumpfes (Länge verkürzt)

Hinweis

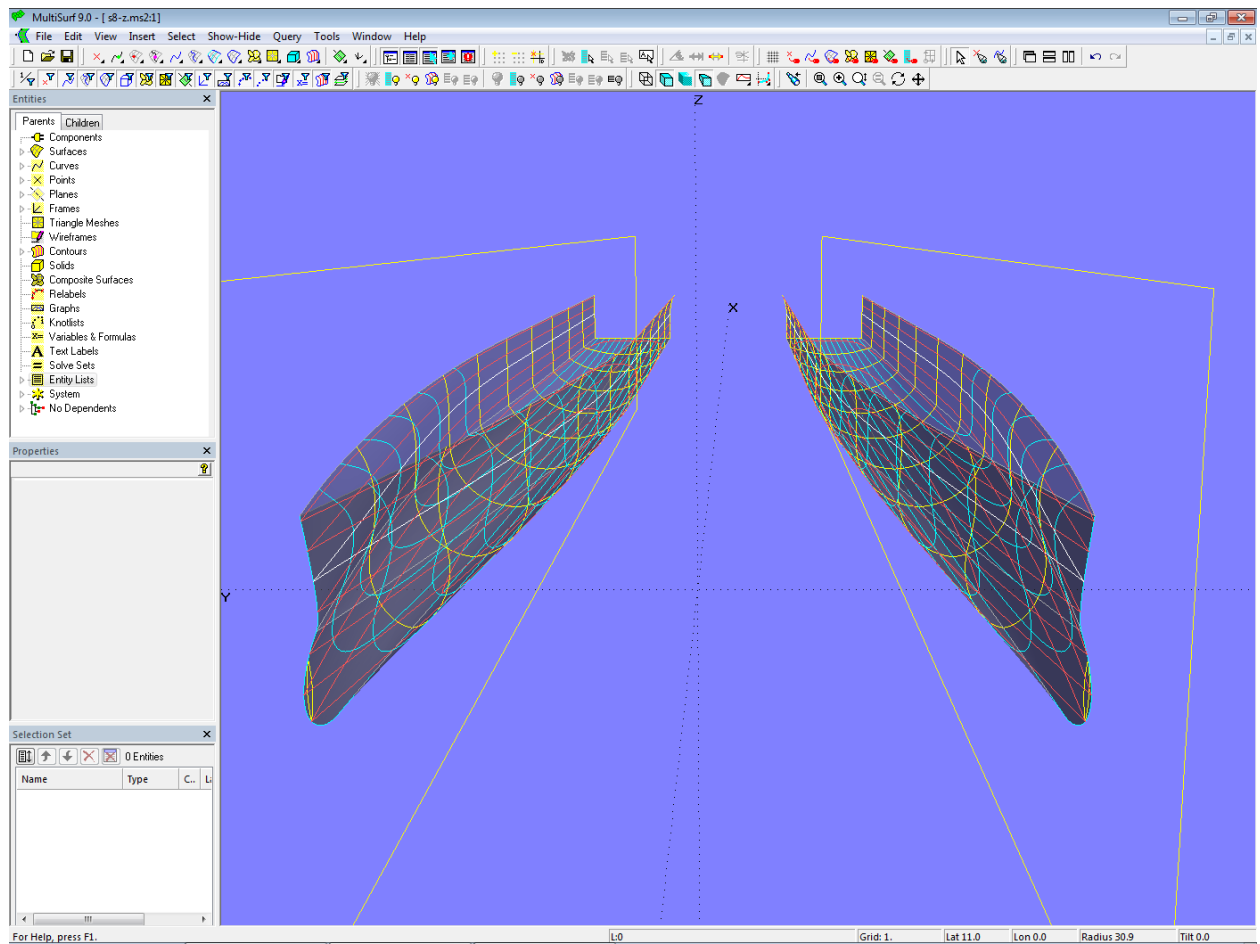
Wie oben erwähnt, ist das Modell für das Entwurfsstadium in der Länge verkürzt. Um das Modell auf die wahre Länge zu bringen, müssen die X-Koordinaten der Cps mit dem Faktor 2 skaliert werden (Edit/ Transform/ Scale). Allerdings mit Ausnahme der Cps der Bug-Mcs. Um die Auswahl der zu skalierenden Punkte zu vereinfachen, gibt es die Entity List [entities_to_scale](#). Diese im Entities Manager auswählen, dann Select/ Expand Entity List/ First Generation. Auf diese Weise kann zwischen Modell-Ansicht verkürzter und wahrer Länge gewechselt werden.



Modell s8-z.ms2 – Aussen- und Innenflächen des Rumpfes (wahre Länge)



Modell s8-z.ms2 – Katamaran-Rumpf (wahre Länge)



Modell s8-z.ms2 – Katamaran-Rumpf (wahre Länge)

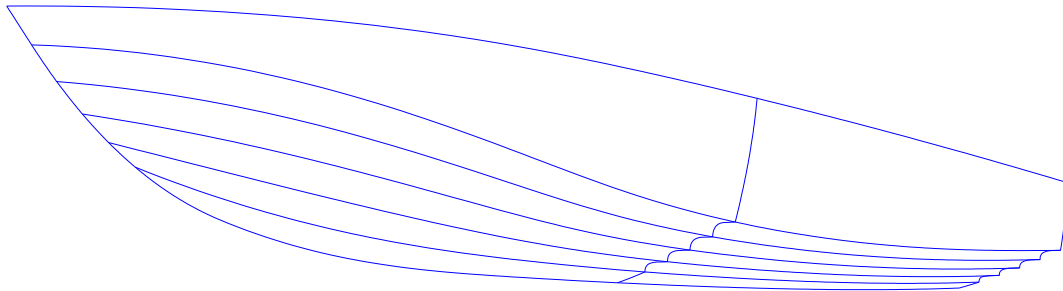
2 Rumpf mit multi-konkavem Boden

Ausgangspunkt sind Bilder der Bodenfläche eines GFK-Motorbootes in seiner Laminierform sowie eine Ansicht des Spiegels. Der Boden hat Knicke in Längsrichtung, dazwischen ist er nach innen eingebuchtet.

Zunächst wird ein typischer Knickspant-Motorboottrumpf modelliert. Anschließend wird die Bodenfläche als Basis für eine Bodenfläche mit Einbuchtungen verwendet.

2.1 Formmerkmale

Schnelle Motorboote weisen auf die Bodenfläche aufgesetzte Spritzleisten auf. Zwischen diesen verläuft die Spantkontur normal. Im vorliegenden Fall zeigt die Bodenfläche mehrere in Längsrichtung verlaufende Knicke, zwischen diesen Knicken ist die Bodenfläche nach innen eingebuchtet (konkav). Die Spantform dieser Einbuchtungen oder Einkehlungen erinnert an eine Mischung von Spritzleiste und Tunnel.



Anmerkungen zum Modell

Modell-Einstellungen (Tools/ Options/...)

.../ Model Units: Meters / Kilograms

.../ Performance: Decimal places = 4; Divisions multiplier = 2

.../ Dragging: Nudge amount = 0.001 [m]

Koordinatensystem

Es wird das globale Koordinatensystems verwendet.

Mittelebene Rumpf

Die Mittelebene des Rumpfes ist die XZ-Ebene des globalen Koordinatensystems.

2.2 Rumpf mit Standard-Boden

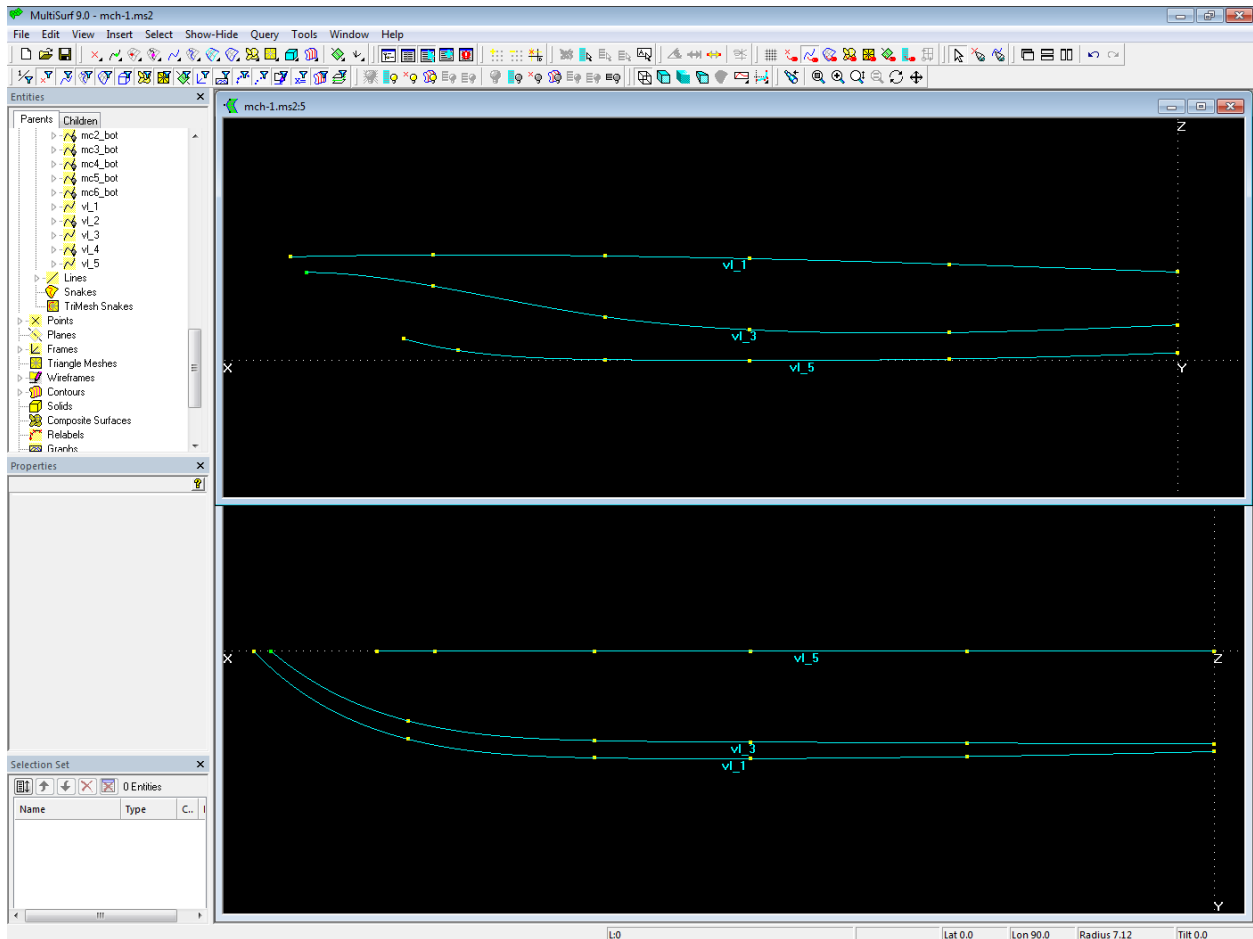
Es wird ein typischer Knickspantrumpf für ein Motorboot angenommen. Er besteht aus zwei in Längsrichtung verlaufenden Flächen, die C-spline Lofted Surface [side_0](#) für die Seite und die C-spline Lofted Surface [bottom_0](#) für die Basisfläche Boden. Seite und Boden stoßen entlang ihrer gemeinsamen Längskante mit einem Knick aneinander. Beide Flächen werden gestützt von B-spline-Masterkurven.

Die Konstruktion von Knickspantrümpfen für Motorboote wird in Tutorium 4 ausführlich behandelt.

Zunächst werden die Umriße beider Flächen erzeugt, also Oberkante Seite, Knick, Bodenkontur sowie Vorsteven und Hinterkante von Seite und Boden.

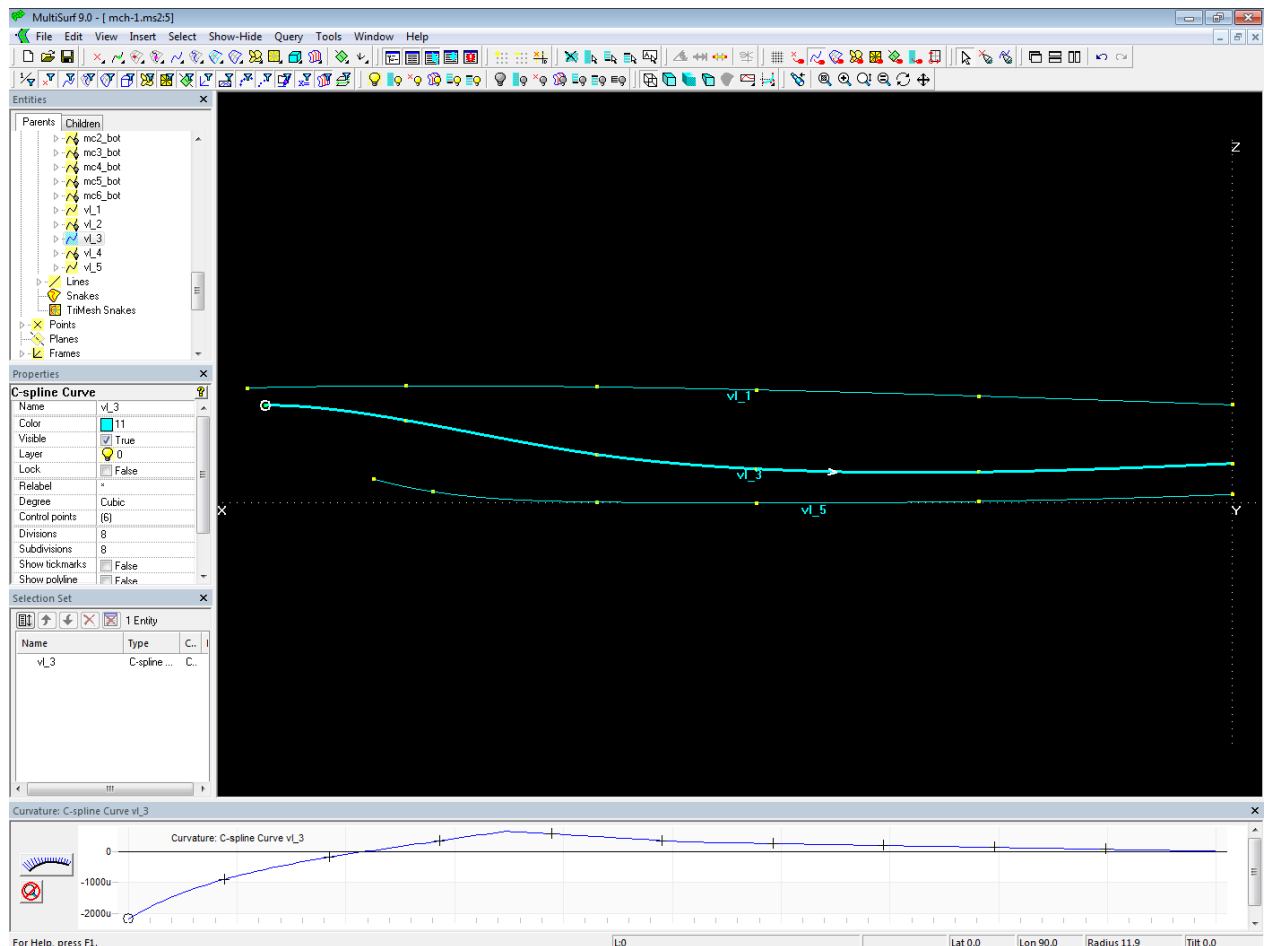
Oberkante Seite, Knick, Bodenkontur

Den Verlauf von Oberkante Seite, Knick und Bodenkontur beschreiben die C-spline Curves **vl_1**, **vl_3** und **vl_5** (Vertexkurve, Strakhilfskurve). Sie werden jeweils mit 6 Cps definiert.



Modell mch-1.ms2 – Vertexkurven **vl_1**, **vl_3** und **vl_5** beschreiben den Verlauf von Oberkante Seite, Knick und Bodenkontur.

Über View/ Display/ Profile/ Curvature (oder den entsprechenden Toolbar Button) kann kontrolliert werden, ob der Krümmungsverlauf dieser Kurven harmonisch ist.



Modell mch-1.ms2 – Kontrolle des Krümmungsverlaufs der Vertexkurve **v1_3** über Profile/ Curvature

Für alle Cps der Bodenkontur (**v1_5**) ist $dy = 0$. Die Eigenschaft „Dragging“ ist gesetzt auf Z-Richtung.

Vorsteven – Vorderkante von Seite und Boden

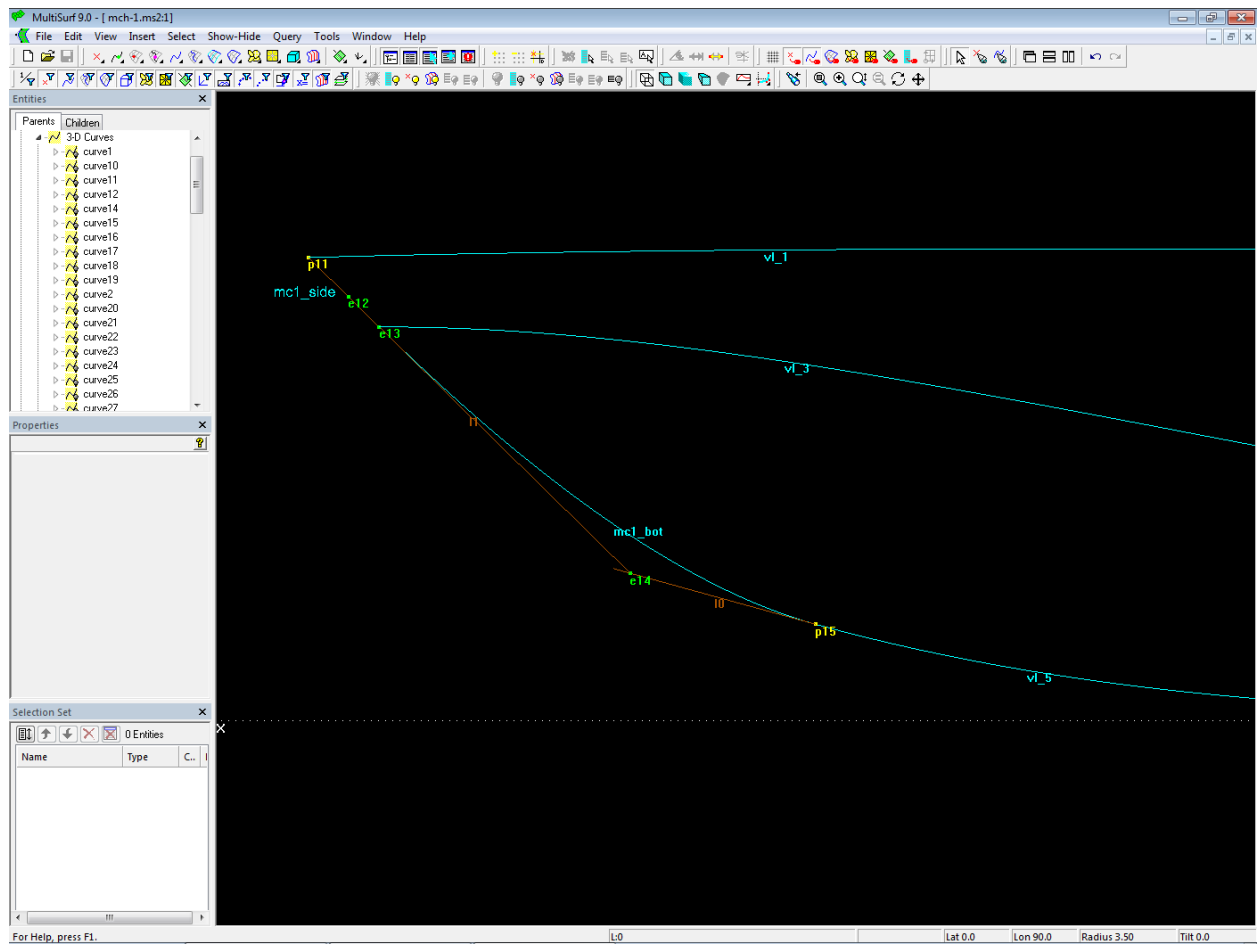
Den Verlauf des Vorstevens beschreiben die beiden mit je 3 Cps bestimmten B-spline Curves **mc1_side** und **mc1_bot**. Eigenschaft „Degree“ gleich 2.

Der vorletzte Cp (Bead **e14**) von **mc1_bot** liegt auf der Tangente (Line **l0**) im Anfangspunkt der Bodenkontur (**v1_5**). Durch diese Konstruktion läuft die Vorderkante der Bodenfläche tangential in die Bodenkontur ein.

Fest tangential verbunden sind auch die beiden Kurven **mc1_side** und **mc1_bot**. Dazu wird zuerst Line **l1** aufgespannt zwischen Point **p11** (Vorsteven-Kopf) und Bead **e14** auf **l0**. Auf **l1** liegt dann Bead **e13** als Endpunkt von **mc1_side** und Startpunkt von **mc1_bot**.

Da der innere Cp von **mc1_side** ebenfalls auf Line **l1** liegt, verläuft diese B-spline Curve gerade.

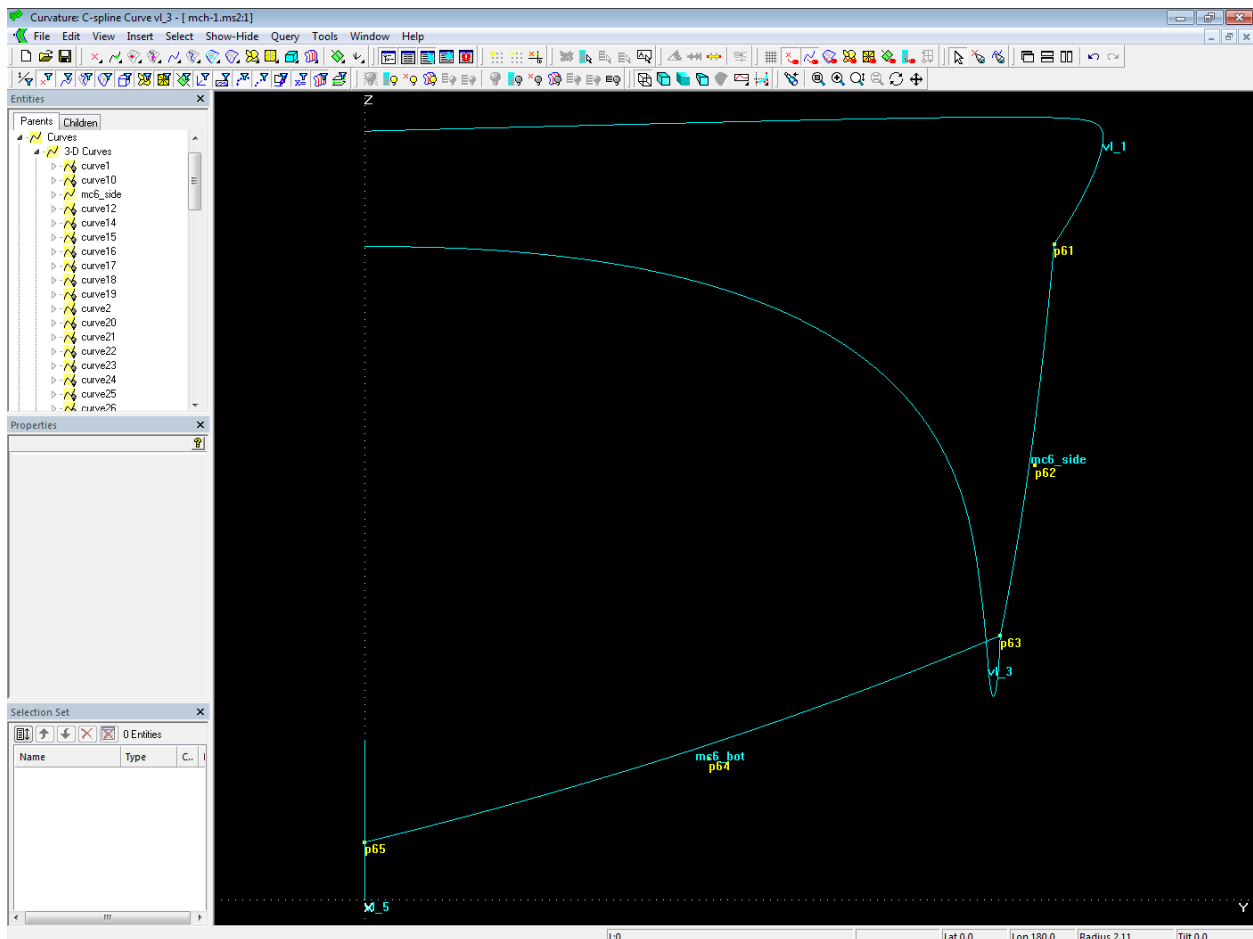
Freie Punkte sind nur Point **p11** und Point **p15**, definiert mit $dy = 0$. Eigenschaft „Dragging“ gesetzt auf X- und Z-Richtung.



Modell mch-1.ms2 – Konstruktion der Mcs *mc1_side* und *mc1_bot*. Die tangentielle Verbindung ist festverdrahtet, ebenso der tangentielle Einlauf in die Bodenkontur.

Hinterkante von Seite und Boden

Sie werden gebildet durch die B-spline Curves *mc6_side* und *mc6_bot*. Beide Mcs verlaufen in Spantebene.



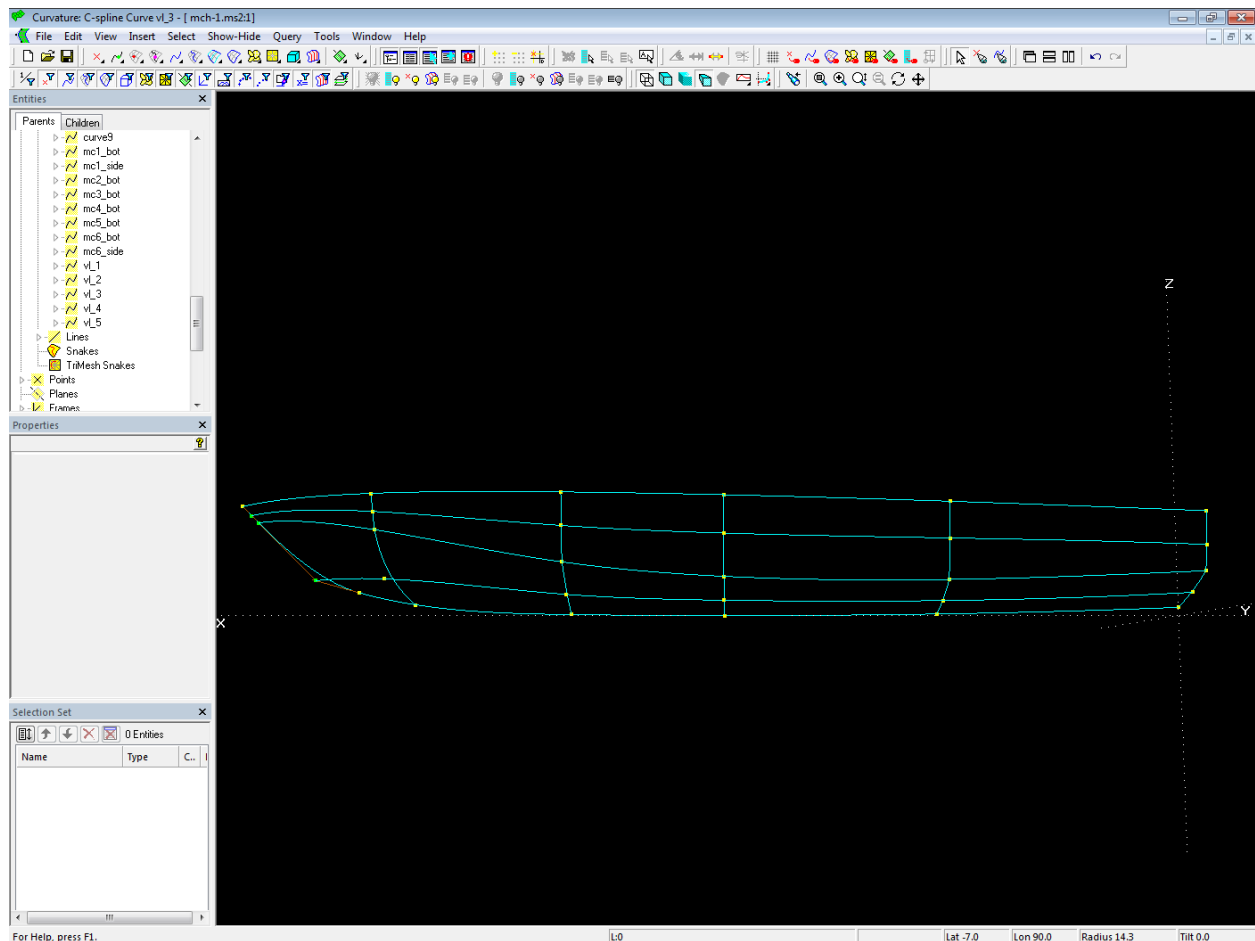
Modell mch-1.ms2 – Masterkurven am Heck: B-spline Curves *mc6_side* und *mc6_bot*

Damit sind Oberkante der Seitenfläche (*vl_1*), Unterkante der Bodenfläche (*vl_5*), Knick (*vl_3*) sowie Vorder- und Hinterkante (*mc1_side*, *mc1_bot*, *mc6_side*, *mc6_bot*) des Rumpfes bestimmt.

Innere Masterkurven

Es müssen nun die Mcs für das Innere beider Flächen erzeugt werden – 4 B-spline-Mcs für die Seite und 4 B-spline-Mcs für den Boden. Die Anzahl der Cps pro Mc ist 3, Degree = 2. Die Position der inneren Mcs sowie ihr Start- und Endpunkt ist durch die Cps von *vl_1*, *vl_3* und *vl_5* gegeben. Lediglich ein weiterer Cp muß jeweils dazwischen erzeugt werden.

Da alle Mcs vom gleichen Kurventyp mit jeweils gleicher Anzahl Cps sind, kann mit der Vertexkurven-Methode gearbeitet werden, um strakende.Flächen zu erzeugen. Entsprechend werden noch die beiden C-spline Curves *vl_2* und *vl_4* definiert.

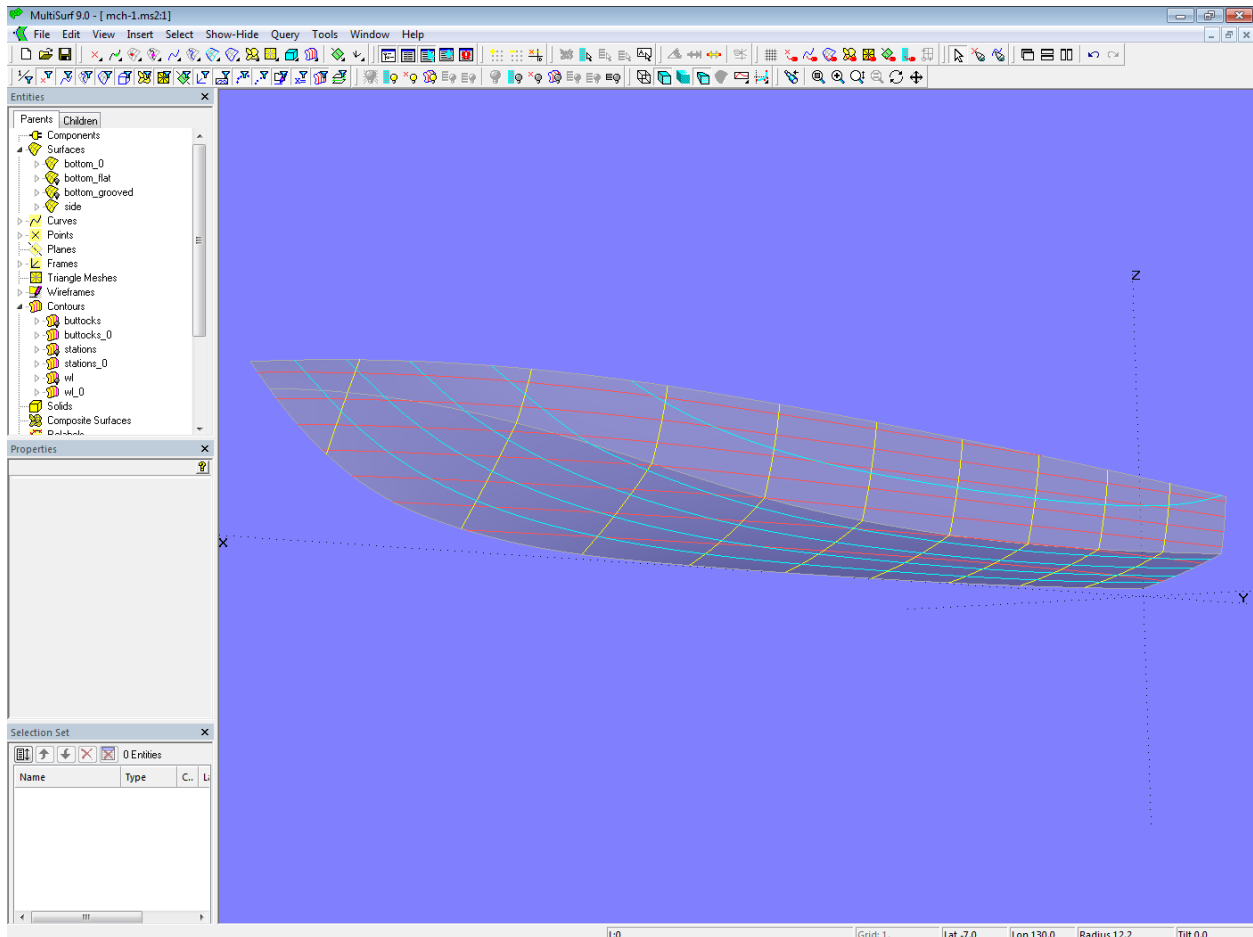


Modell mch-1.ms2 – Masterkurven, Kontrollpunkte und Vertexkurven der Rumpfflächen

Bis auf Vorsteven und **mc2_bot** verlaufen alle Mcs in Spantebene. „Dragging“ ihrer Cps gesetzt auf Y- und Z-Richtung. Sie können dann in Perspektiv-Ansicht verschoben werden (dy, dz), ohne dass sich dx ändert.

Rumpfflächen

Nach Definition der inneren Mcs können nun die beiden C-spline Lofted Surface **side_0** und **bottom_0** erzeugt werden. Anschließend werden durch diese die Contours Spanten, Schnitte und Wasserlinien gelegt.



Modell mch-1.ms2 – Basisflächen Rumpf

Soweit zur Konstruktion des Modells für die Basisflächen des Motorbootrumpfes.

2.3 Rumpf mit multi-konkavem Boden

Masterkurven – regelbasierter Ansatz

Bei der vorliegenden Geometrieaufgabe soll der Boden nicht glatt sein, sondern in Längsrichtung verlaufende Einbuchtungen, Furchen, Einkehlungen aufweisen. Lediglich ein Flächenstreifen entlang der Bodenkontur ist Teil des bisherigen Bodens.

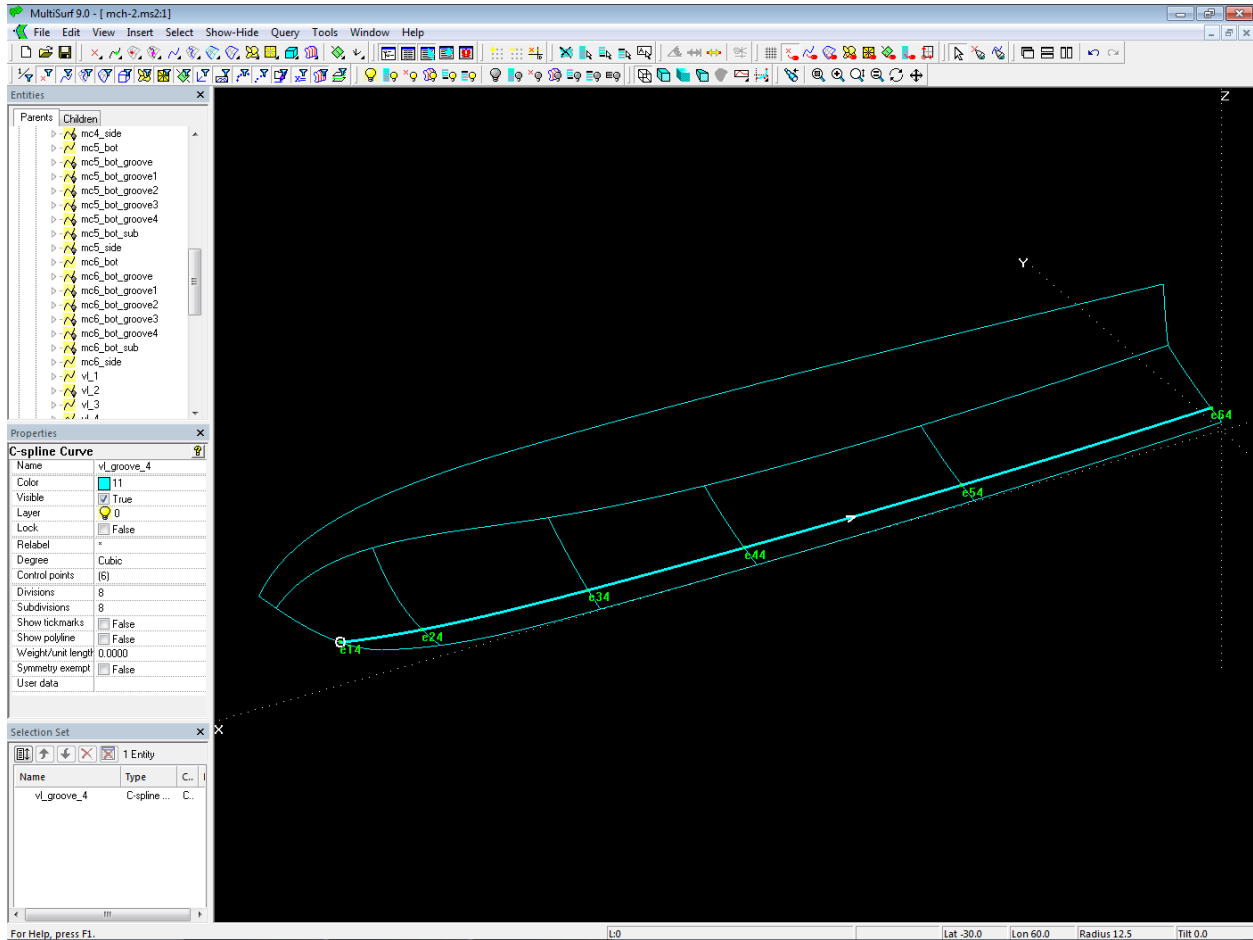
Auf Basis der vorhandenen Boden-Mcs werden neue Mcs mit Einkehlungen erzeugt. Mit diesen Mcs wird der multi-konkave Boden als C-spline Lofted Surface erzeugt. Dabei wird deren Form nicht frei definiert, also durch Kurven, deren Verlauf mit frei verschieblichen Punkte bestimmt wird. Vielmehr werden mit Hilfe von Variablen und Formeln sowie bestimmten Regeln geometrisch ähnliche Kurvenstücke erzeugt und dann mit einer PolyCurve zu einem Kurvenzug zusammengefaßt.

Es werden folgende Annahmen gemacht:

- Anzahl der Einkehlungen: 4
- Kurvenstück: B-spline Curve, 5 Cps, Degree = 2
 - Anfangs- und Endpunkt liegt auf Mc für die Basisfläche Boden
 - Gleiche Bogenlänge zwischen Anfangs- und Endpunkt an einer Mc
 - Verlauf Kurvenanfang: gerade, horizontale Tangente

- Verlauf Kurvenende: vertikale Tangente

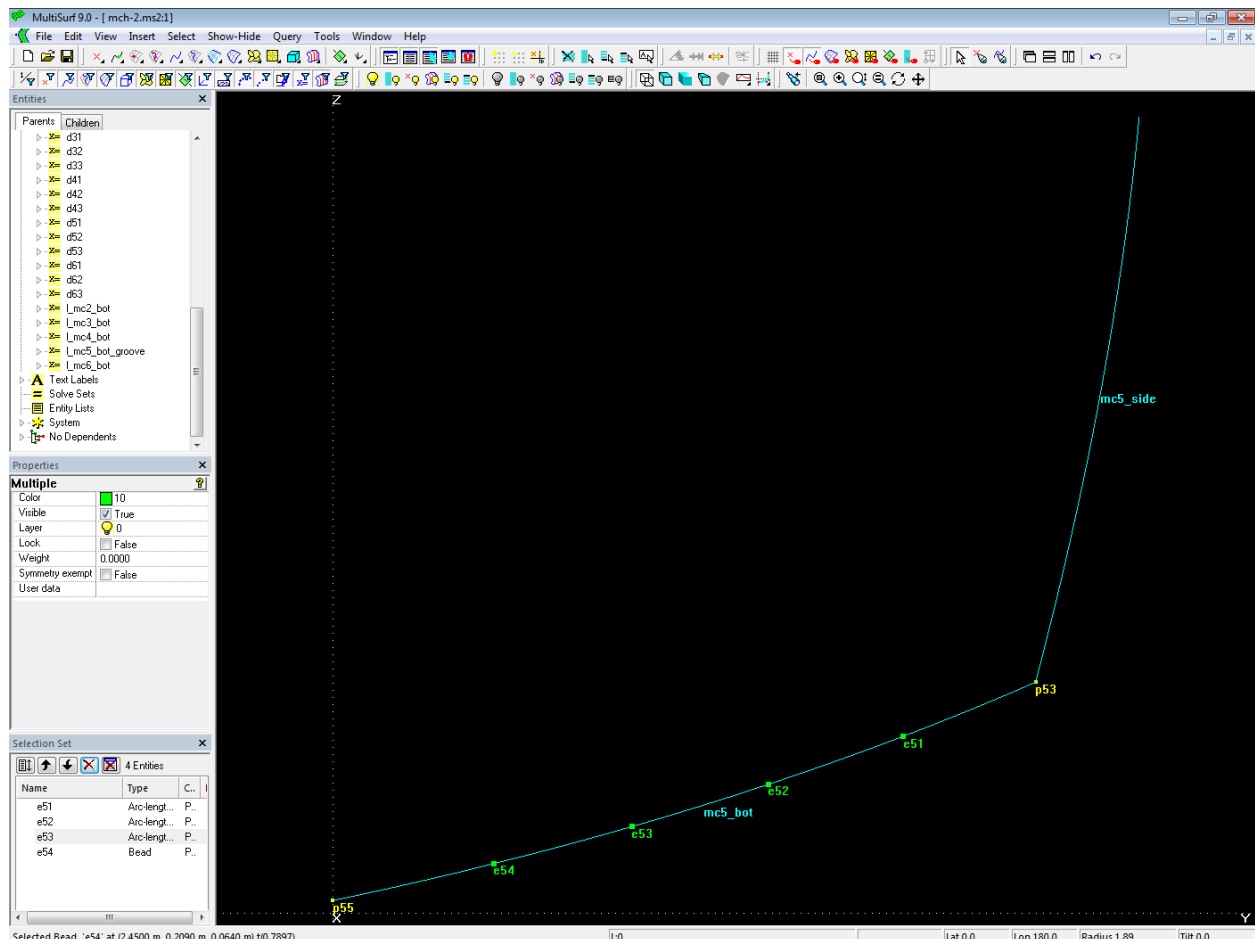
Die Trennkurve zwischen multi-konkavem Boden und glattem Boden wird durch die C-spline Curve **vl_groove_4** definiert. Sie verläuft durch die Beads **e14**, **e24**, **e34**, **e44**, **e54** und **e64** auf den Mcs 1 bis 6 der Basis-Bodenfläche **bottom_0**.



Modell mch-1.ms2 – Trennkurve zwischen multi-konkavem und glattem Boden

Am Beispiel von Mc5 soll die Konstruktion der neuen Mcs mit Einbuchtungen beschrieben werden.

Zunächst wird auf **mc5_bot** die Bogenlänge vom Kurvenanfang ($t = 0$) bis zum Bead **e54** ermittelt und durch die Anzahl der Einkehlungen geteilt. Die Berechnung dieses Wertes erfolgt mit der Formel **l_mc5_bot_groove**. Mit dieser Bogenlänge als Abstand voneinander werden nun die drei Arc-length Beads **e51**, **e52** und **e53** auf **mc5_bot** erzeugt.



Modell *mch-1.ms2* – Masterkurve *mc5_bot* mit 4 Beads im gleichen Abstand

Verschiebt man *e54*, ändert sich automatisch die Position der anderen Beads; die geometrische Beziehung (Teilung in 4 gleiche Bogenstücke) bleibt erhalten.

Mit Point *p53* als Bezugspunkt wird nun Point *g5_11* bestimmt, $dx = 0$, und $dz = 0$. Den Abstand dy bestimmt die Formel *d51*:

$$d51 = c2 * l_mc5_bot_groove$$

Die Variable *c2* ist auf den Wert -0.145 gesetzt. Das heißt, Point *g5_11* ist 14,5% der Einbuchtungsbreite nach innen versetzt relativ zu Point *p53*.

In analoger Weise wird Point *g5_12* definiert. Den horizontalen Abstand von *p53* bestimmt die Formel *d52*:

$$d52 = c3 * l_mc5_bot_groove$$

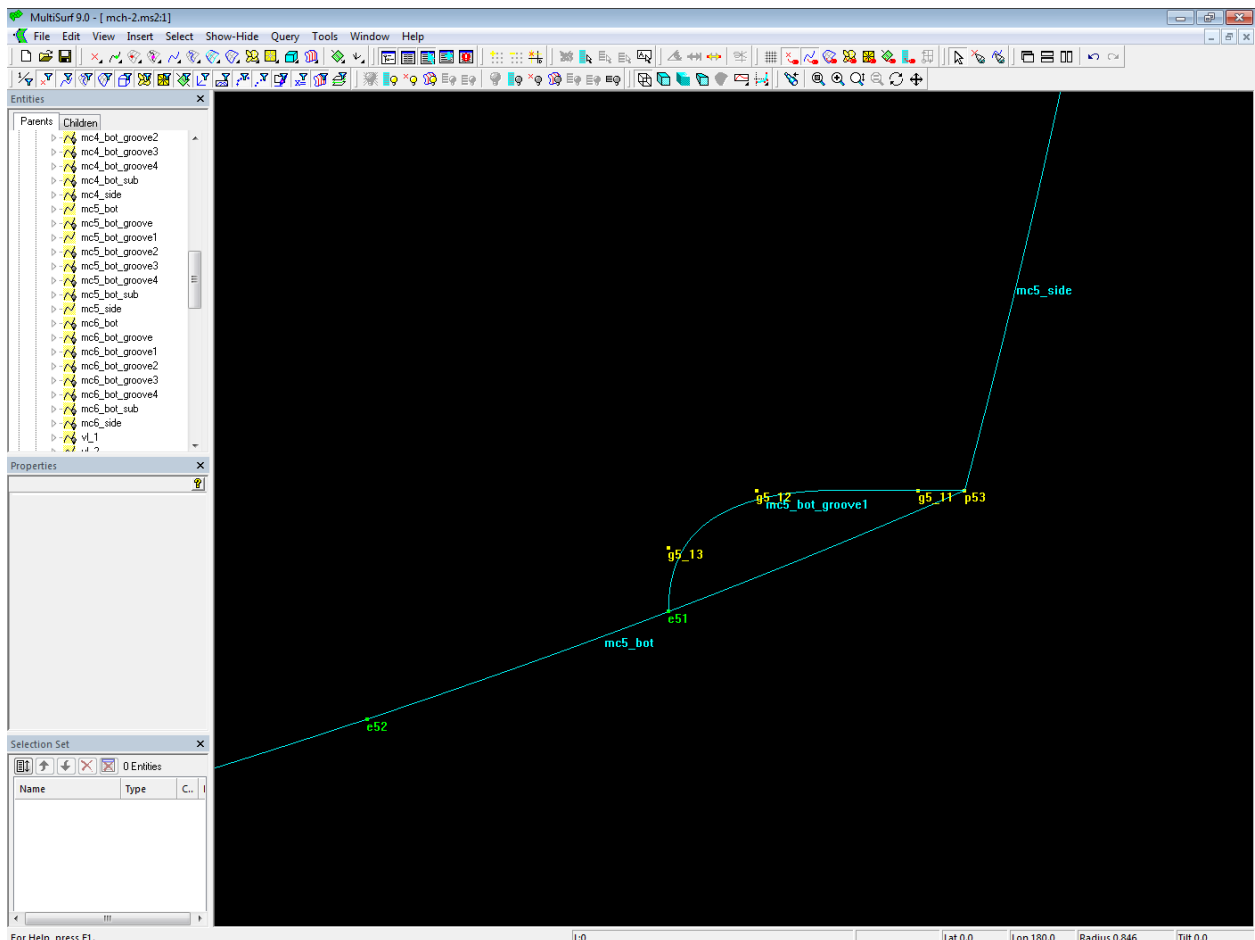
Die Variable *c3* ist auf den Wert -0.65 gesetzt. Point *g5_12* ist also 65% der Einbuchtungsbreite nach innen versetzt relativ zu Point *p53*.

In ähnlicher Weise wird Point *g5_13* erzeugt, nun mit der Formel *d53*:

$$d53 = c4 * l_mc5_bot_groove$$

Die Variable **c4** ist auf den Wert 0.21 gesetzt. Bezugspunkt von Point **g5_13** ist **e51**, und er ist nicht horizontal versetzt, sondern vertikal – dz = **d53**.

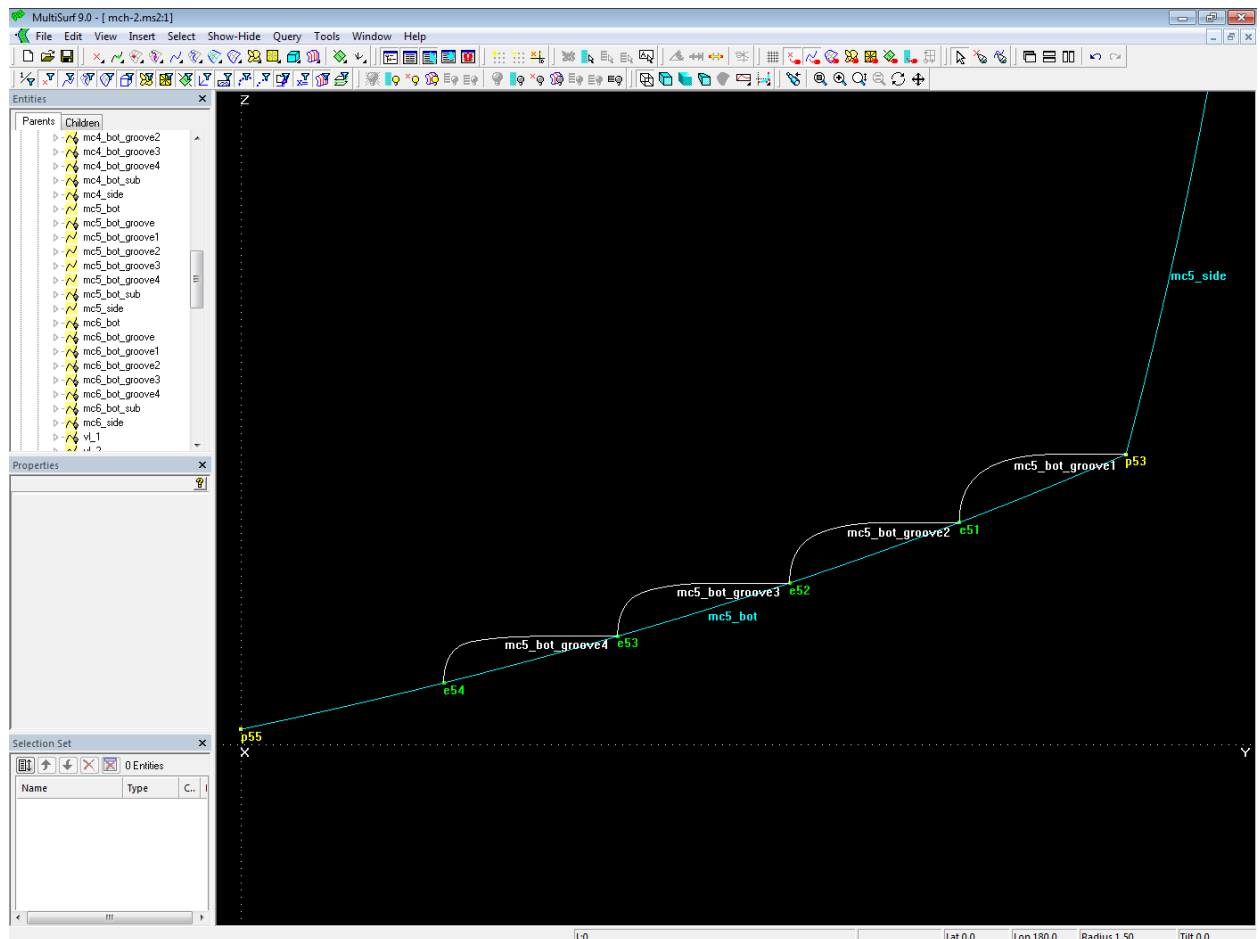
Mit **p52**, **g5_11**, **g5_12**, **g5_13** und **e51** wird nun die B-spline Curve **mc5_bot_groove1** bestimmt (Degree = 2).



Modell mch-1.ms2 – Querschnitt von Einkehlung 1 an Mc5

Wie die Unterseite einer Spritzleiste verläuft **mc5_bot_groove1** bis zur Mitte zwischen **g5_11** und **g5_12** gerade und horizontal.

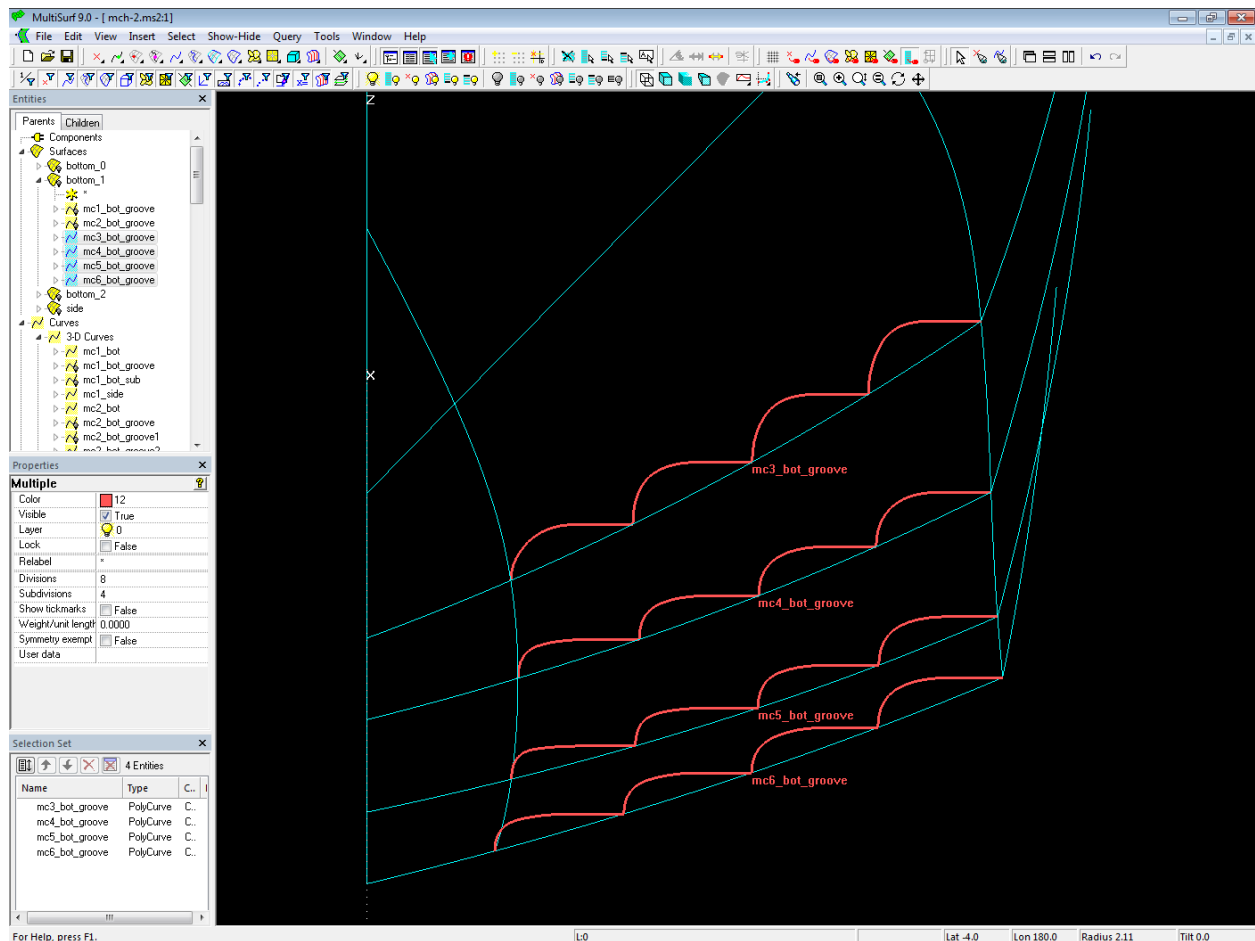
Auf analoge Weise werden die übrigen Einkehlungen an Mc5 erzeugt.



Modell mch-1.ms2 – B-spline Curves beschreiben den Querschnitt der Einkehlungen

Alle 4 Querschnitte werden nun zur PolyCurve **mc5_bot_groove** zusammengefaßt.

Die beschriebene Konstruktion wird dann für die Mcs 3, 4 und 6 wiederholt.

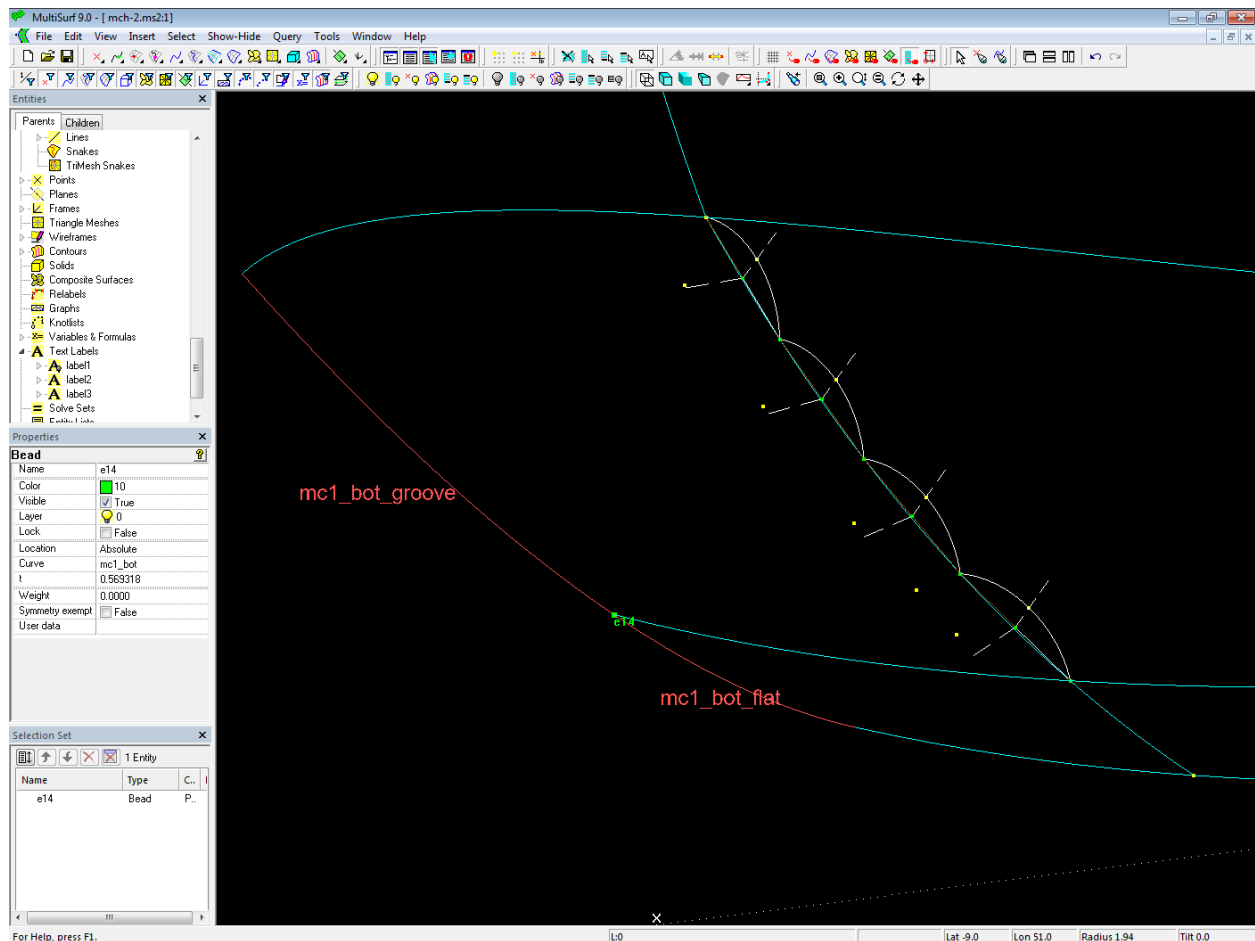


Modell mch-1.ms2 – Mcs (PolyCurves) für die multi-konkaven Bodenfläche

Etwas anders sehen die Einbuchtungen bei Mc2 aus. Hier wird als Querschnittsform ein Kreisbogen verwendet, der durch 3 Punkte verläuft. Auf den Mittelpunkt der Sehne des Kreisbogens bezieht sich die Buchthöhe. Sie ist definiert durch die Formel [d2](#):

$$d2 = c1 * l_{mc2_bot}$$

Die Variable [c1](#) ist auf den Wert 0.2 gesetzt.

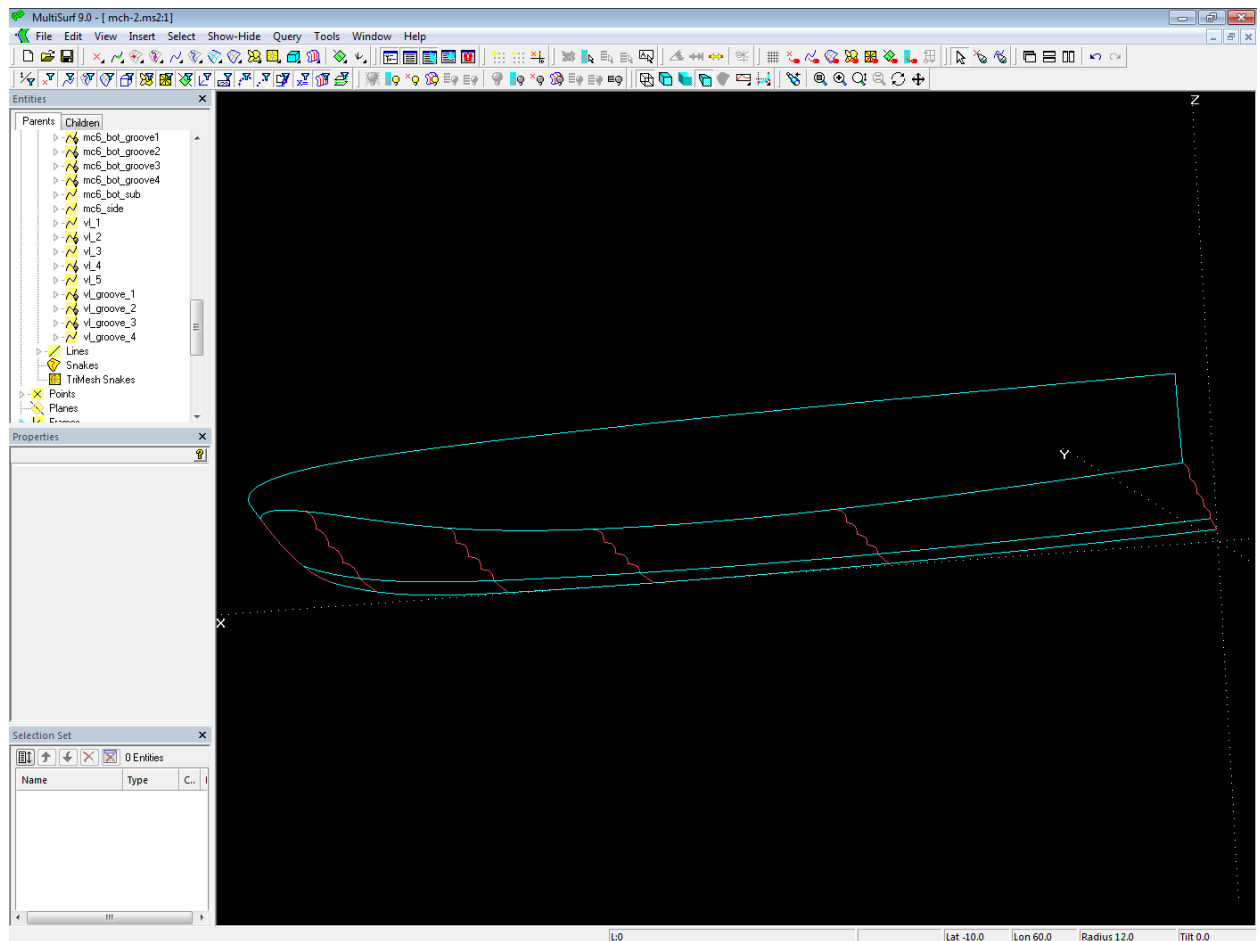


Modell *mch-1.ms2* – an Mc2 sind die Querschnitte der Einbuchtungen Kreisbögen.

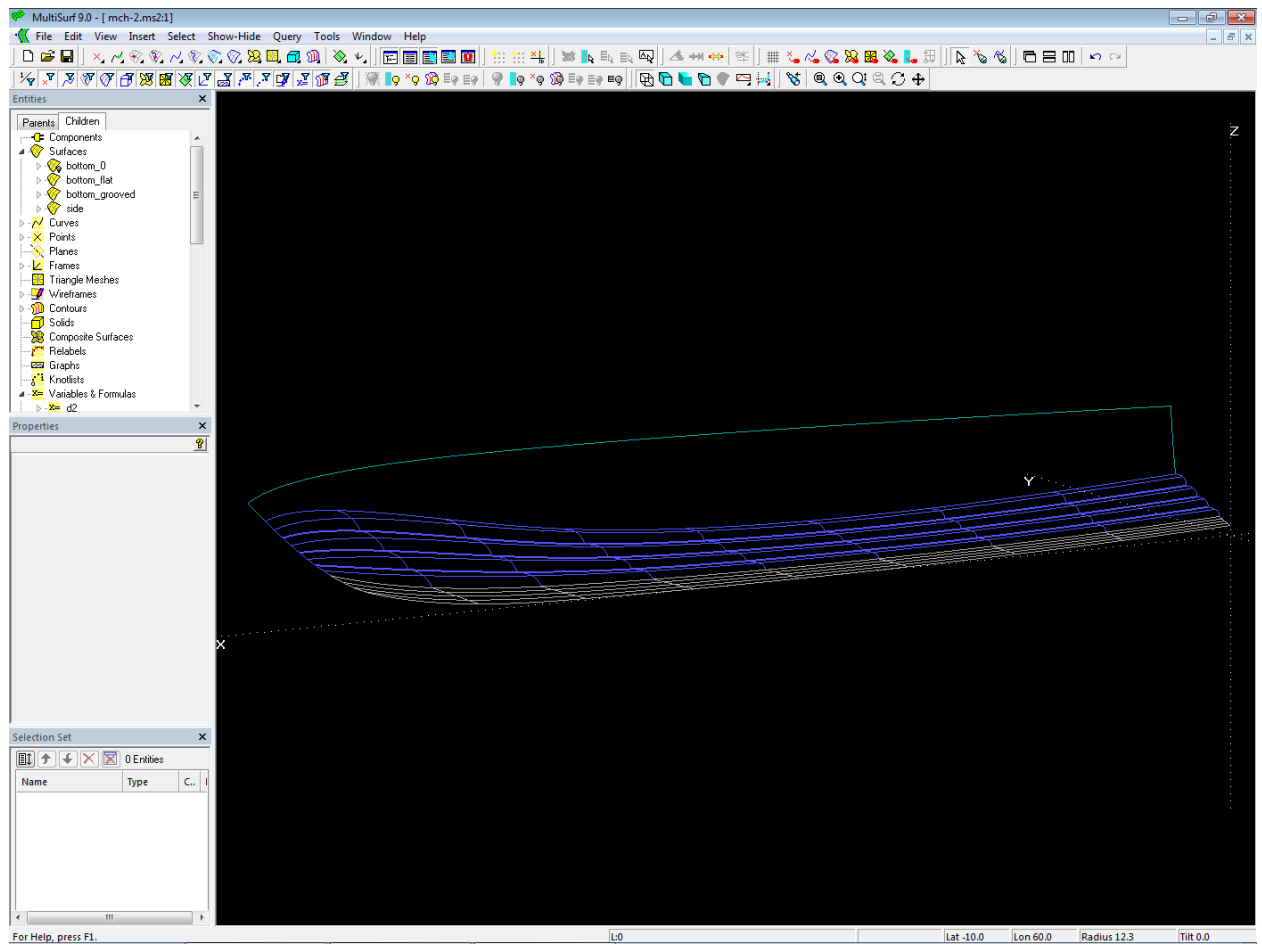
Fehlt noch die Bug-Mc des multi-konkaven Bodens. Dies ist die SubCurve **mc1_bot_groove**, sie ist das Teilstück vom Kurvenanfang ($t = 0$) von **mc1_bot** bis zu Bead **e14**.

Damit sind nun alle Mcs für den neuen Boden bestimmt und es kann die C-spline Lofted Surface **bottom_grooved** erzeugt werden.

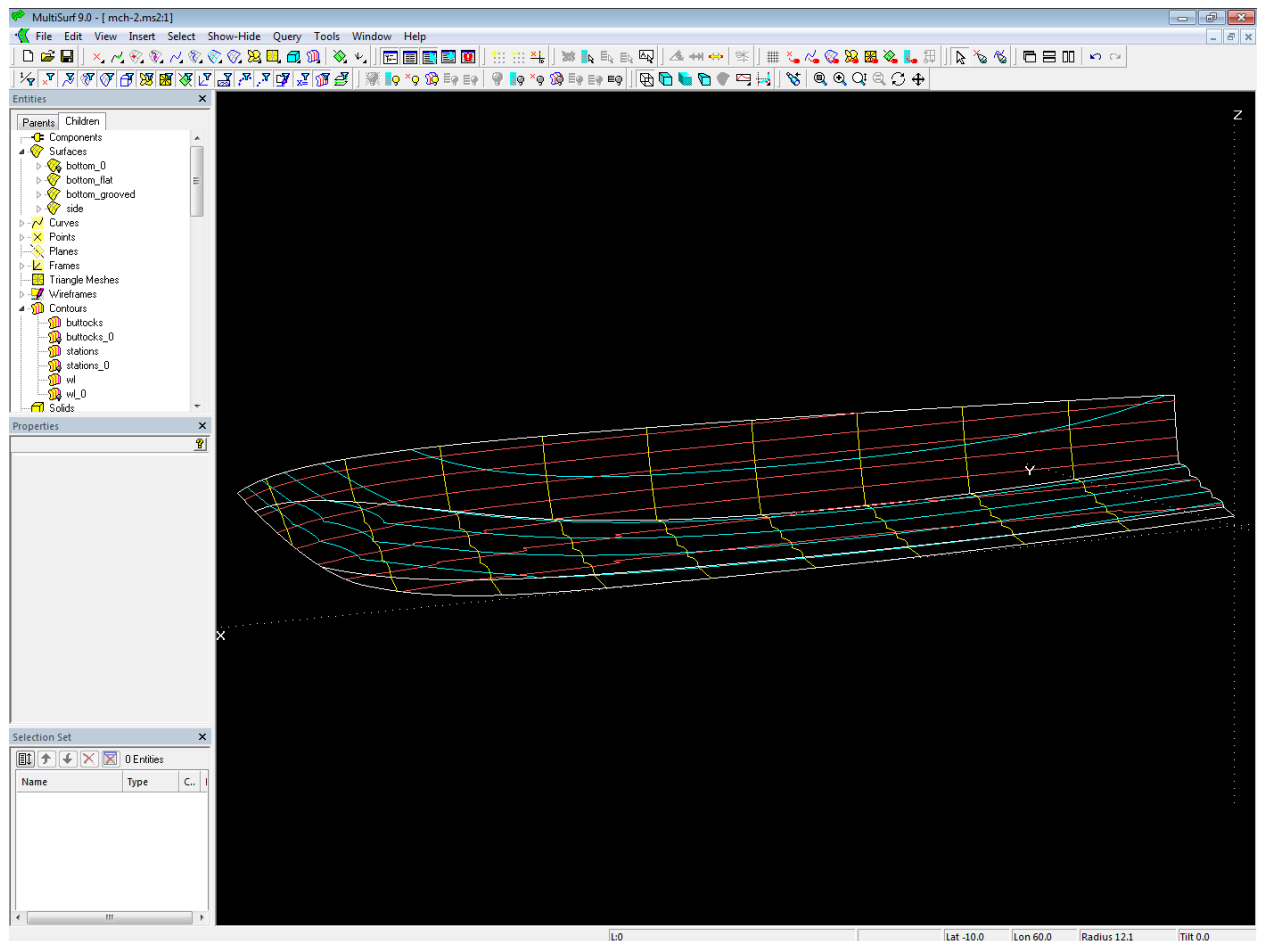
Für den Flächenstreifen vom Rand des multi-konkaven Bodens bis zur Bodenkontur (glatter Boden) werden mit den Beads **e14** bis **e64** auf ihren Mcs entsprechende SubCurves für das verbleibende Kurvenstück bis $t = 1$ gebildet. Mit diesen SubCurves wird dann die C-spline Lofted Surface **bottom_flat** generiert.



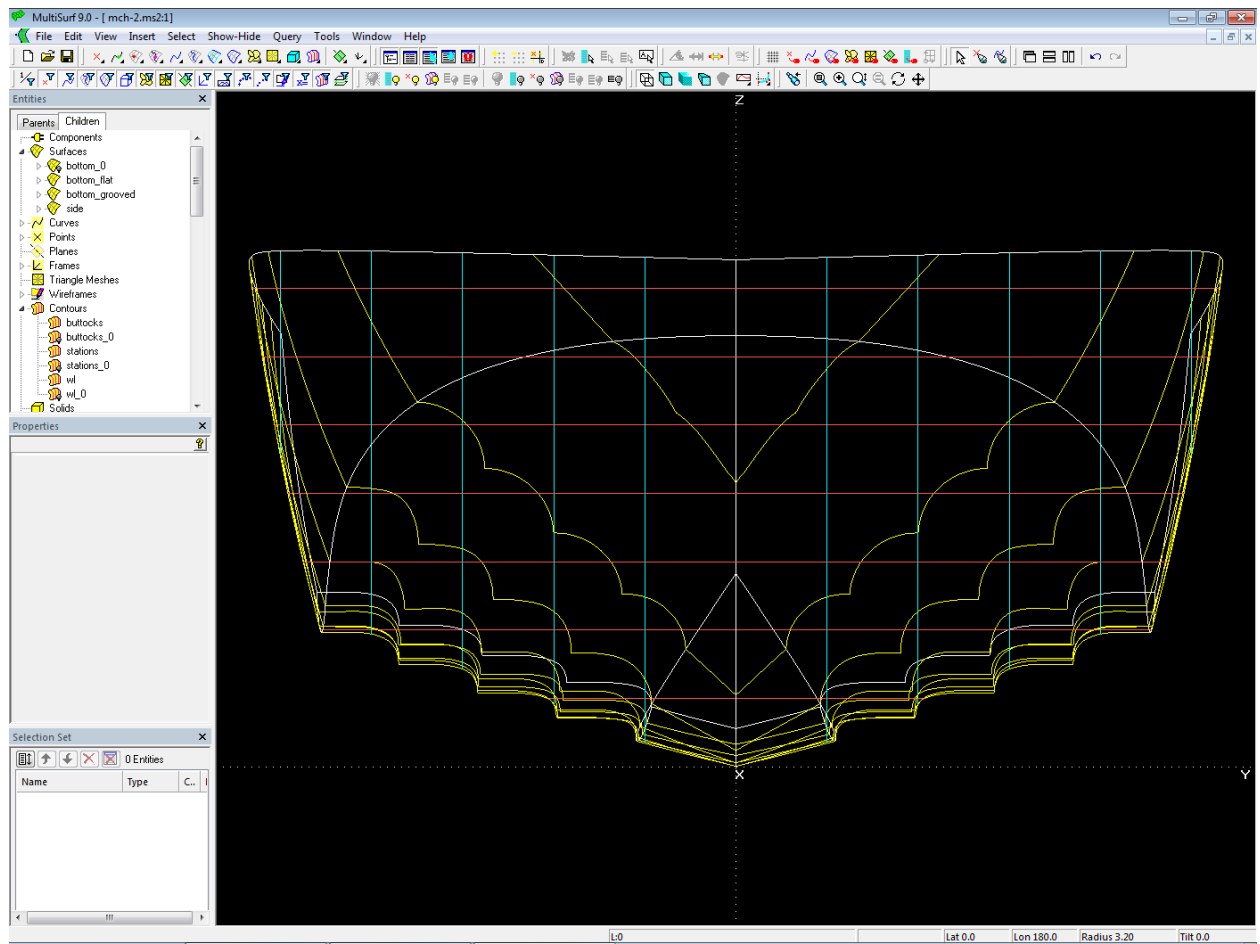
Modell mch-1.ms2 – Mcs für multi-konkaven und glatten Boden



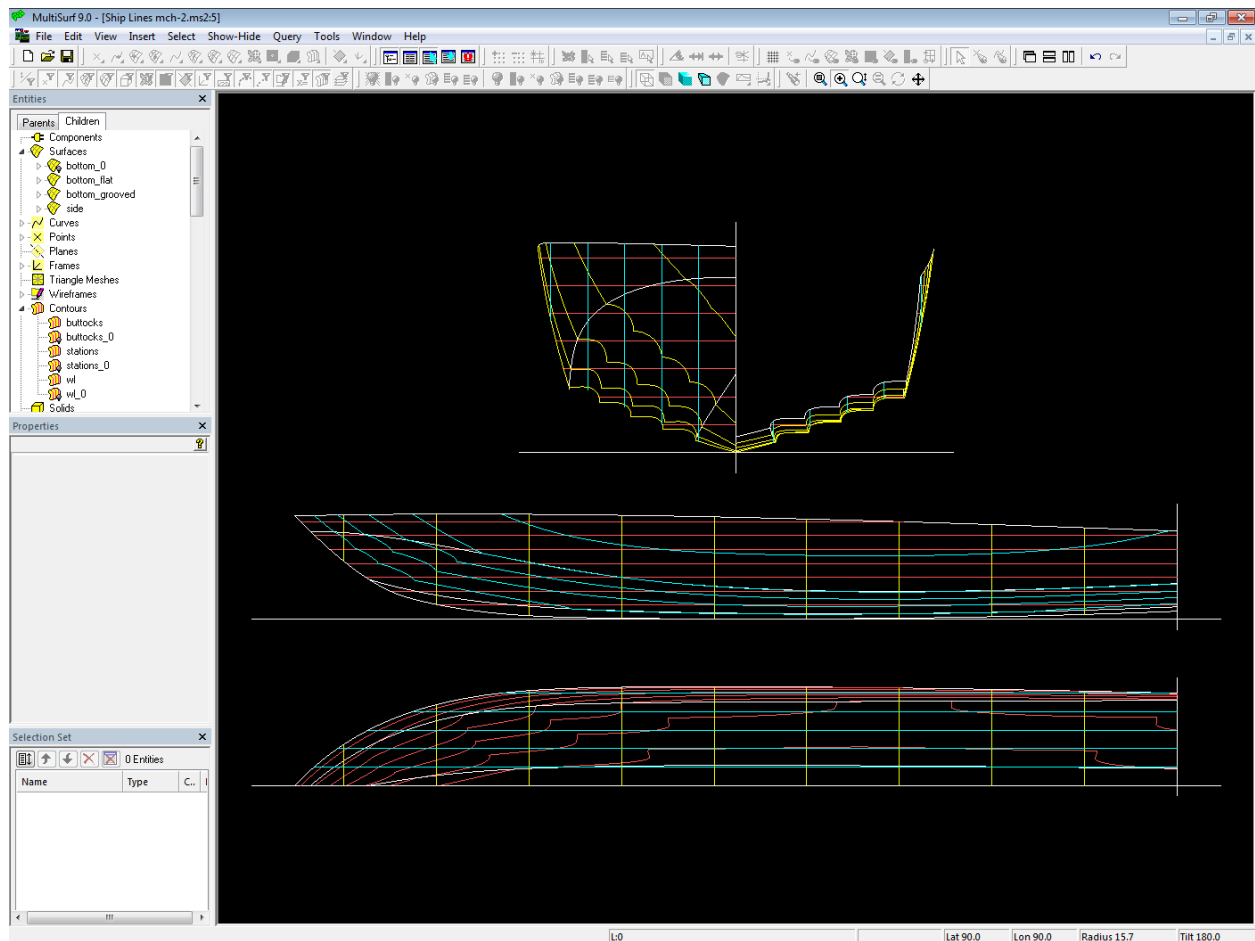
Modell mch-1.ms2 – multi-konkaver und glatter Boden (C-spline Lofted Surfaces *bottom_grooved* und *bottom_flat*)



Modell mch-1.ms2 – Motorboot-Rumpf mit multi-konkavem Boden

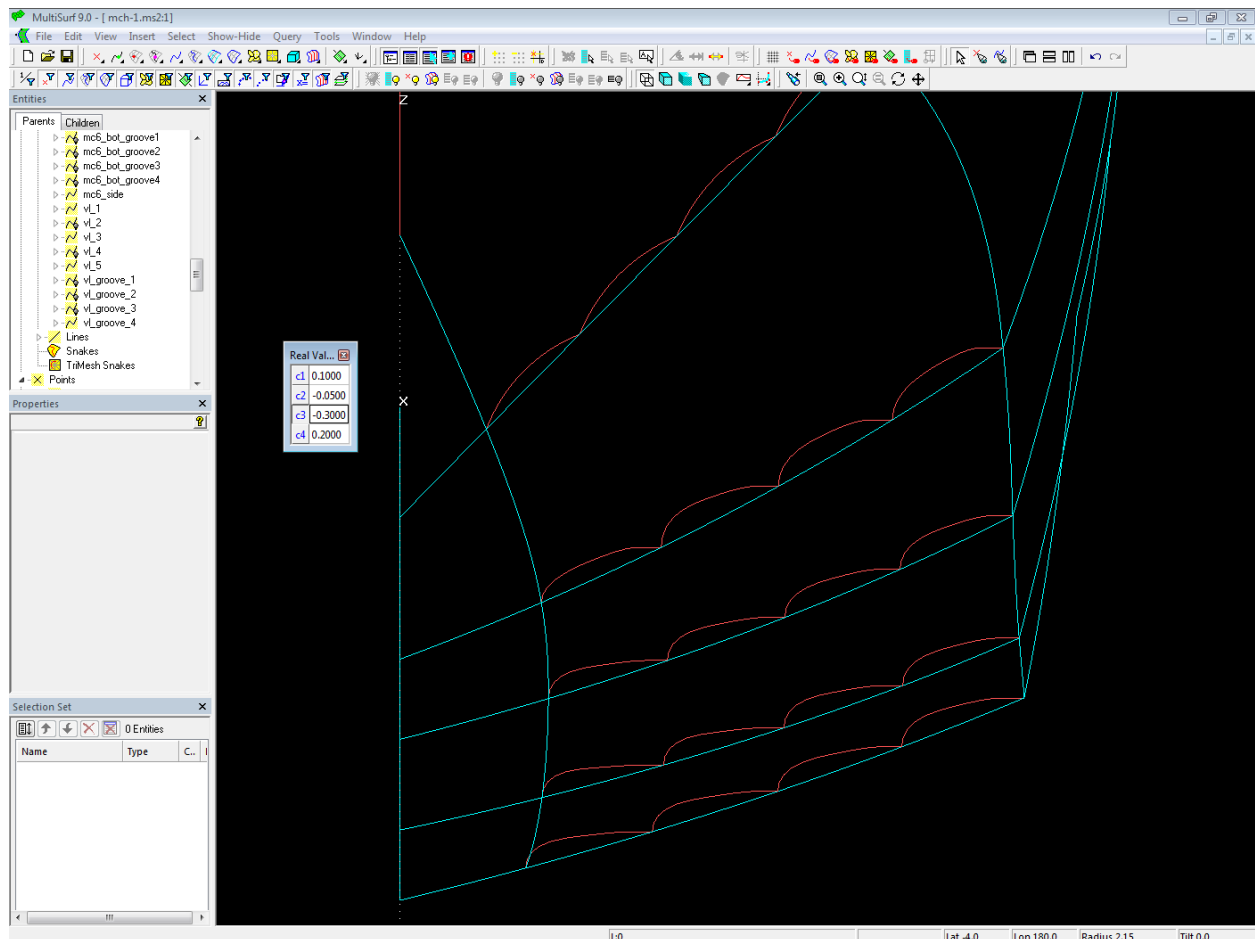


Modell mch-1.ms2 – Motorboot-Rumpf mit multi-konkavem Boden



Modell mch-1.ms2 – Motorboot-Rumpf mit multi-konkavem Boden (Ship Lines view)

Im vorgestellten Modell *mch-1.ms2* werden die Mcs für den multi-konkaven Boden mit Hilfe von Variablen und Formeln nach bestimmten Regeln auf Basis der Mcs des Standard-Bodens generiert. Die Form der Einbuchtungen ist geometrisch ähnlich. Durch Ändern der Variablenwerte *c1*, *c2*, *c3* und *c4* lässt sich die Querschnittsform modifizieren. Bei Änderungen der Basis-Rumpfform oder der Breite des glatten Bodens ändern sich die Einkehlungen im Boden automatisch mit, behalten aber ihre Formmerkmale (Kurvenstart horizontal, gerades Teilstück, Kurvenende vertikal).



Modell *mch-1.ms2* – die Form der Mcs für den multi-konkaven Boden läßt sich über Variablen ändern.

Im Modell *mch-1.ms2* wird angenommen, dass sich die Größe der Variablen **c1** bis **c4** über die Länge nicht ändert, das heißt, sie sind für alle Mcs gleich. Durch entsprechende Formeln kann auch eine Längenabhängigkeit eingebaut werden. So dass beispielsweise die Länge des geraden Teilstücks der Einkehlung von vorn nach achtern zunimmt.

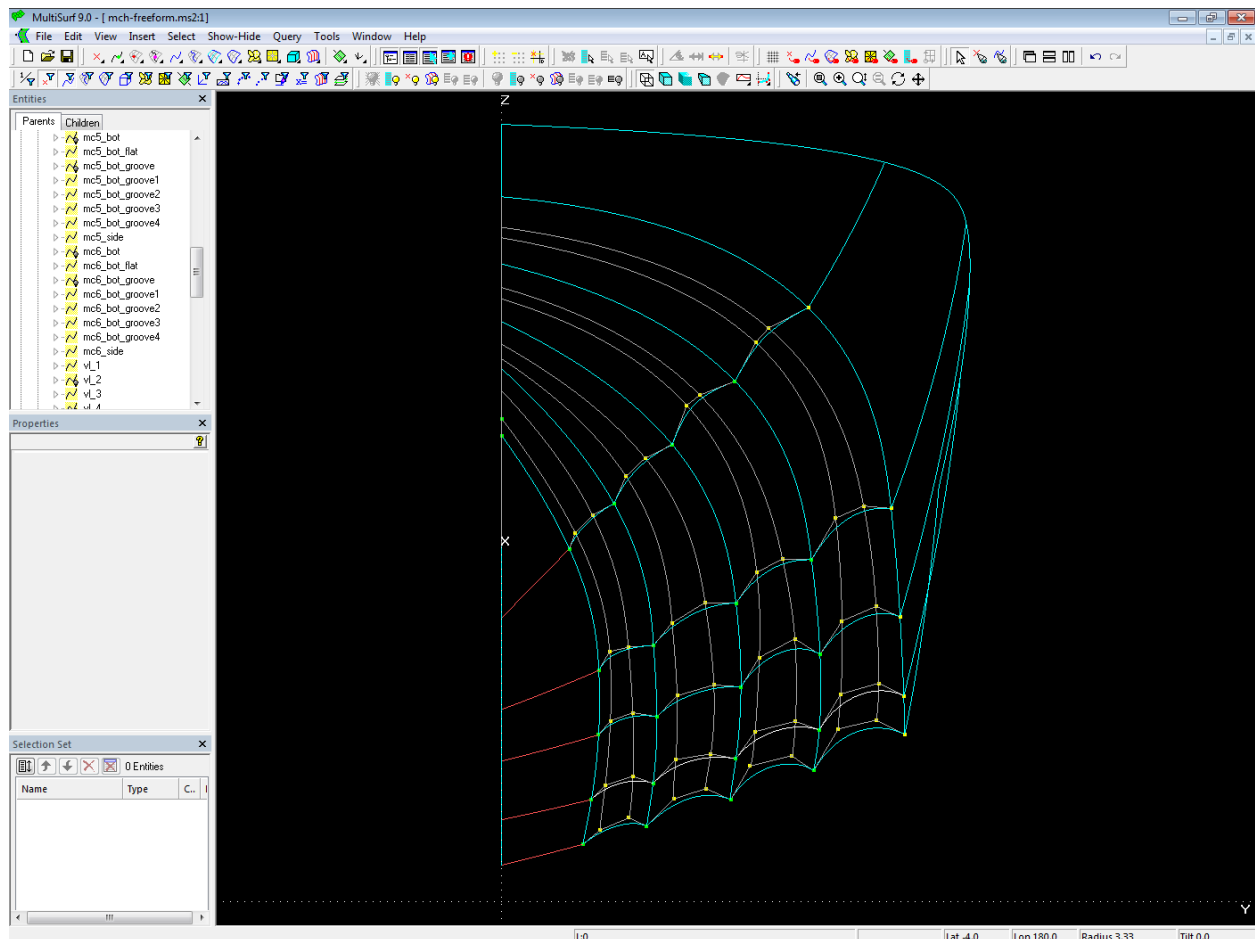
Andere geometrisch ähnliche Querschnittsformen lassen sich durch andere Regeln erzielen.

Masterkurven – Freiform-Ansatz

Man kann auch einen Freiform-Ansatz wählen. Dieser wird in Modell *mch-freeform.ms2* beschrieben. Seite und Basisfläche des Bodens sind die gleichen wie in Modell *mch-1.ms2*.

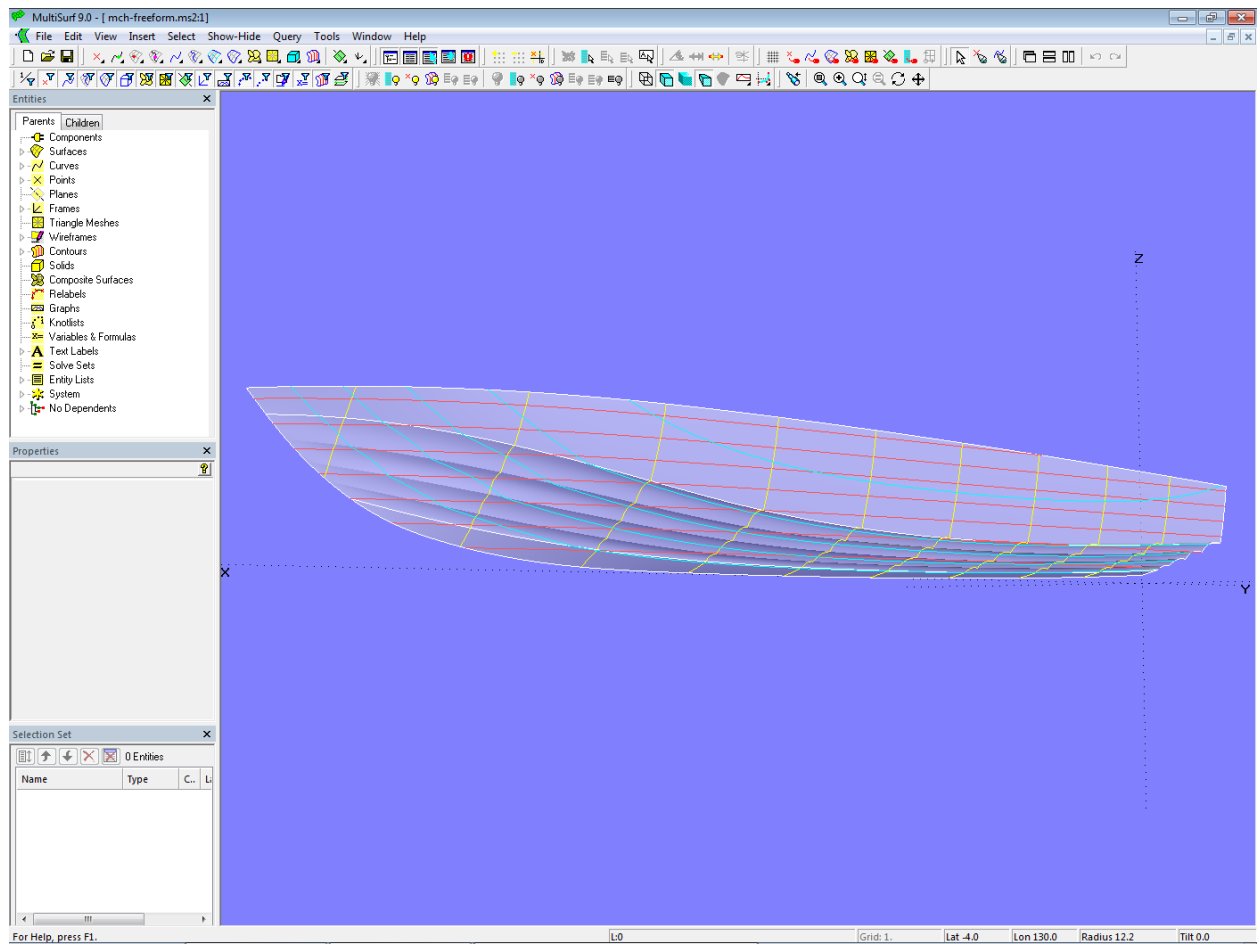
Die Einbuchtungen sind B-spline Curves, auch die an Mc2. Die Cps sind freie Punkte, sie haben keinen Formelbezug. Durch manuelles Verschieben der Cps kann die Querschnittsform des multi-konkaven Bodens den Entwurfsvorstellungen angepaßt werden.

Um einen in Längsrichtung strakenden Verlauf der Einkehlungen zu erreichen, werden korrespondierende Cps durch C-spline Curves verbunden. Straken diese, sind auch die Einkehlungen strakend.



Modell mch-freeform.ms2 – Masterkurven und Strahlhelfskurven der multi-konkaven Bodenfläche

Gibt es genaue Vorstellungen über die Querschnittsform der einzelnen Einkehlungen und lassen sich diese nicht durch geometrische Regeln bewerkstelligen, ist der Freiform-Ansatz vorzuziehen. Dann gibt es keine Einschränkungen in der Gestaltung. Allerdings nimmt das Positionieren einer erheblichen Anzahl freier Punkte bei gleichzeitig strakender Form beträchtliche Zeit in Anspruch. Wird die Basisgeometrie des Rumpfes geändert, muß die ganze Arbeit wiederholt werden.



Modell mch-freeform.ms2

3 Swath-Schiff: Übergang Auftriebskörper–Stützfläche

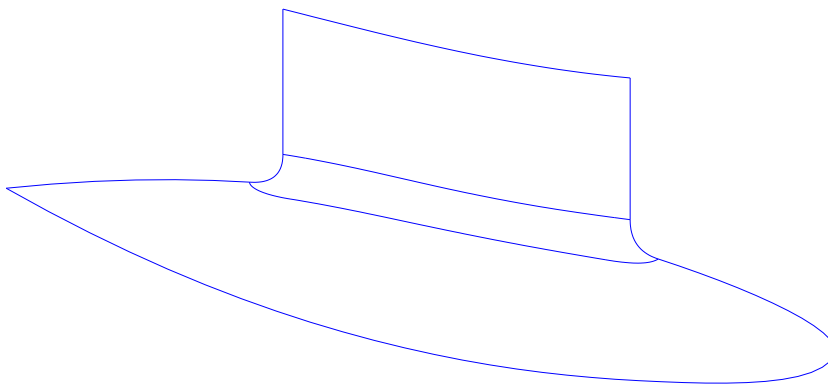
Bei der in diesem Abschnitt beschriebenen Entwurfsaufgabe geht es um die Konstruktion einer Übergangsfläche zwischen zwei aneinanderstoßenden Flächen. Zunächst werden allgemeine Lösungsansätze vorgestellt. Anschließend wird eine Anwendung am Beispiel eines Swath-Schiffes gezeigt.

Stoßen zwei Flächen aneinander, kann aus diversen Gründen ein allmählicher Übergang zwischen beiden Flächen gewünscht werden. In Tutorium 18, *Formmerkmale – über Besonderheiten der Geometrie von Rumpf, Deck und Kiel* wird im Abschnitt „Abrundungen“ an Hand mehrerer Beispiele gezeigt, wie sich entsprechende Aus- und Abrundungen modellieren lassen. Im vorliegenden Fall soll der Übergang zwischen Stützfläche und Tauchkörper wie bei einem Swath-Schiff betrachtet werden.

3.1 Formmerkmale

Geometrischen Merkmale der Übergangsfläche:

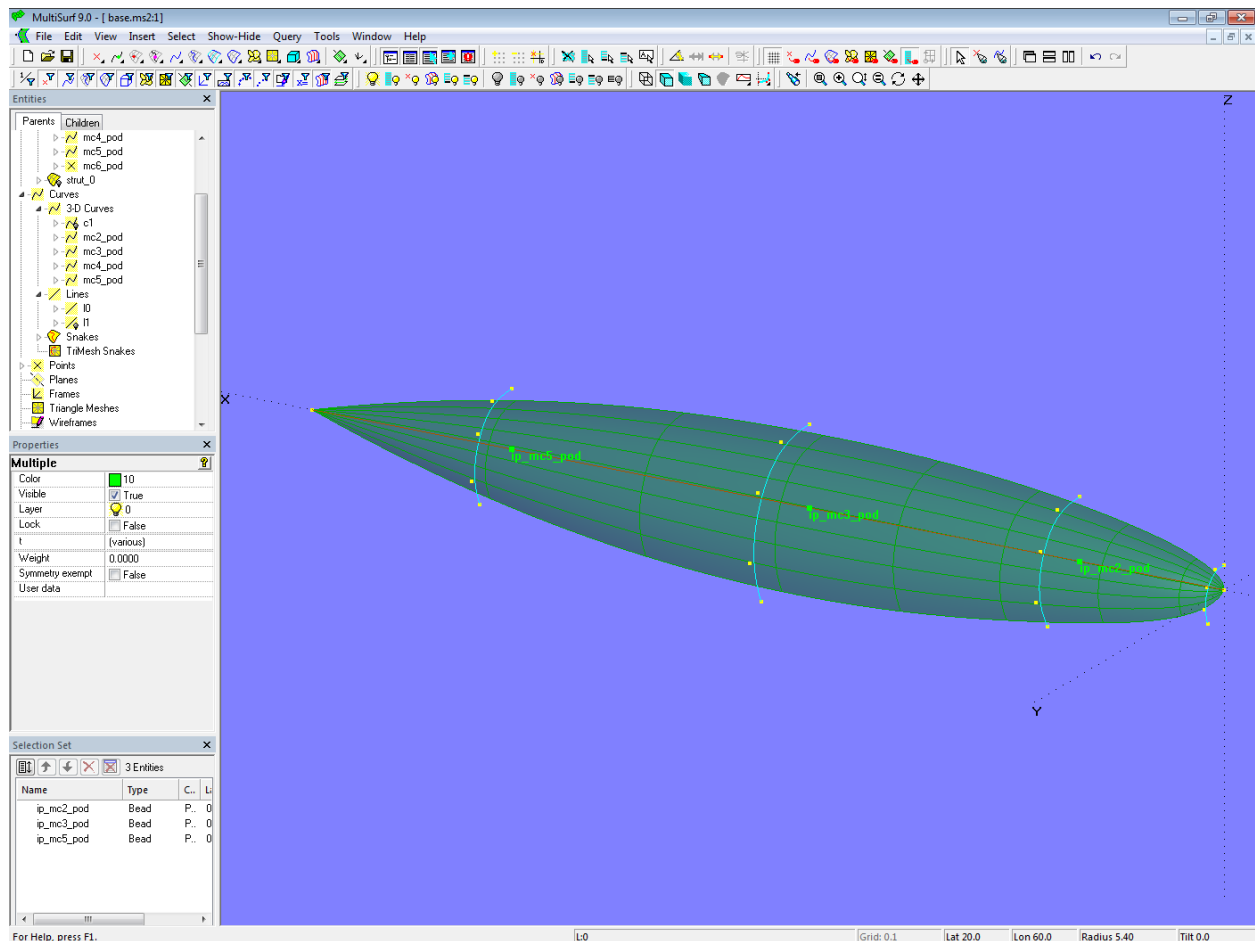
- tangentialer Einlauf in beide Randflächen
- Form veränderbar



3.2 Basismodell

Das Modell *base.ms2* ist das Basis-Modell für die weitere Erörterung. Es enthält die beiden Flächen *pod_0* und *strut_0*. Dabei ist aus Gründen der Übersichtlichkeit *pod_0* nur ein Teil des Auftriebskörpers.

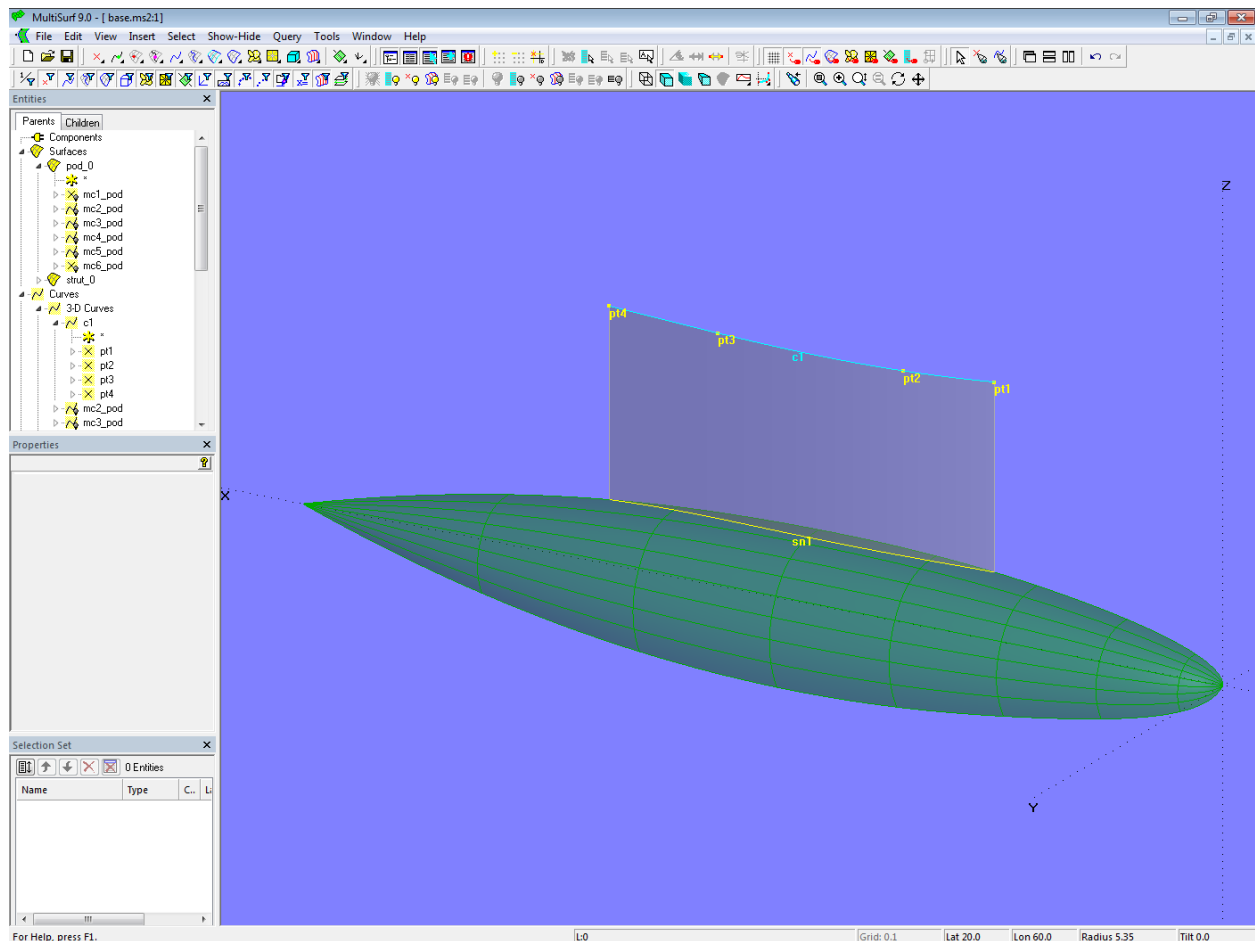
Die Fläche *pod_0* ist eine B-spline Lofted Surface mit 6 Mcs. Dabei ist Mc1 durch Point *mc1_pod* gegeben, und Mc6 durch Point *mc6_pod*; sie sind keine Kurven mit endlicher Länge, sondern zu einem Punkt degenerierte Kurven. Die inneren Mcs sind B-spline Curves mit je 5 Cps und Degree = 3.



Modell base.ms2 – B-spline Lofted Surface *pod_0*

Die Cps der inneren Mcs sind Relativpunkte zu Beads auf der Line *l0*, der Verbindungslinie zwischen Point *mc1_pod* und Point *mc6_pod*. Durch diese Beziehung kann der Verlauf der Form in Längsrichtung durch Verschieben der Beads verändert werden.

Basis für die Stützfläche ist die C-spline Curve *c1*, bestimmt mit 4 Cps; sie beschreibt ihre Wasserlinienform. Diese wird auf *pod_0* projiziert als Projected Snake *sn1*. Zwischen *c1* und *sn1* ist die Ruled Surface *strut_0* aufgespannt. Ihre Vorderkante ist nicht rund wie bei einem Kiel oder Ruder, sondern scharf.

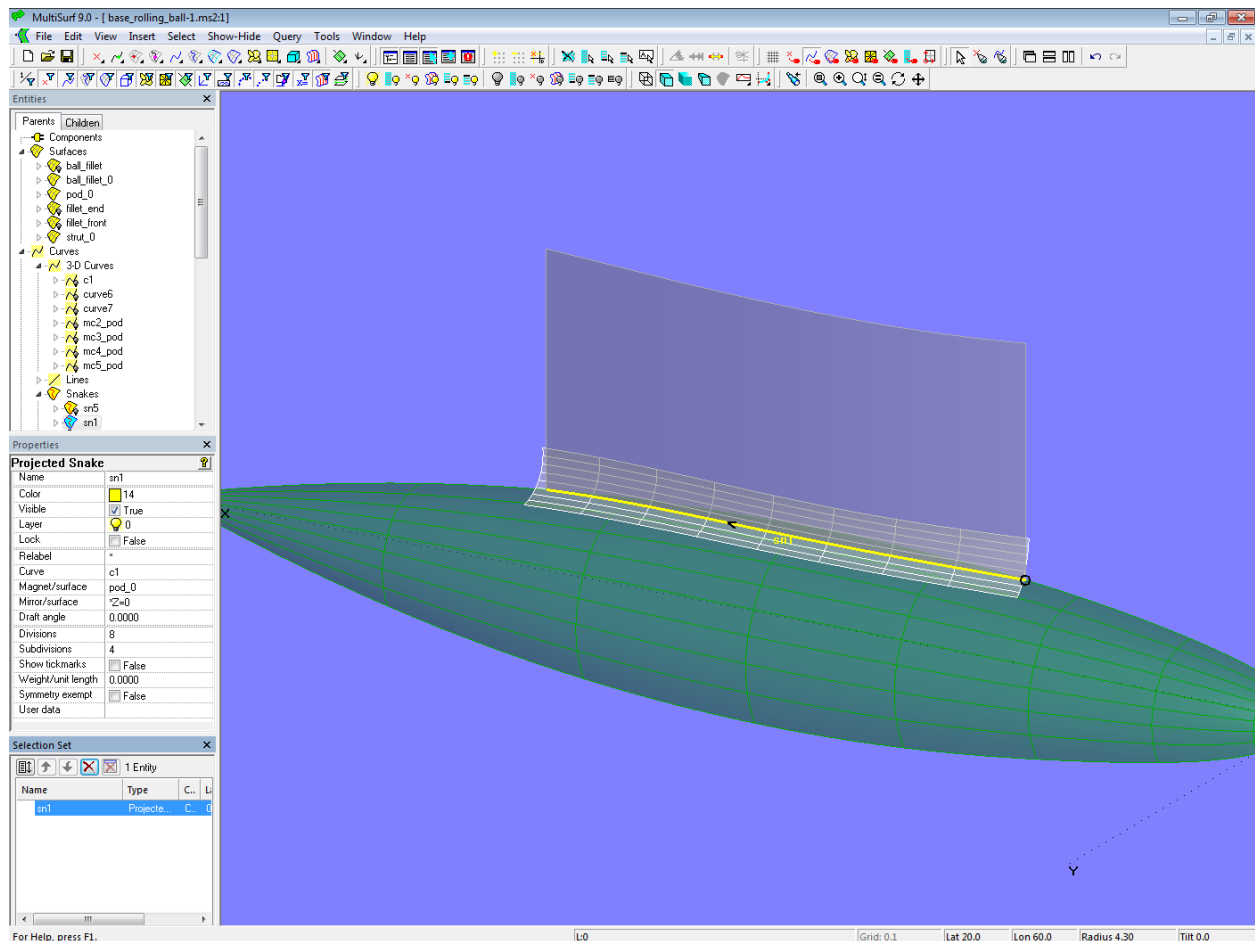


Modell base.ms2 – Ruled Surface [strut_0](#)

3.3 Ausrundungsfläche 1 – Rolling Ball Fillet

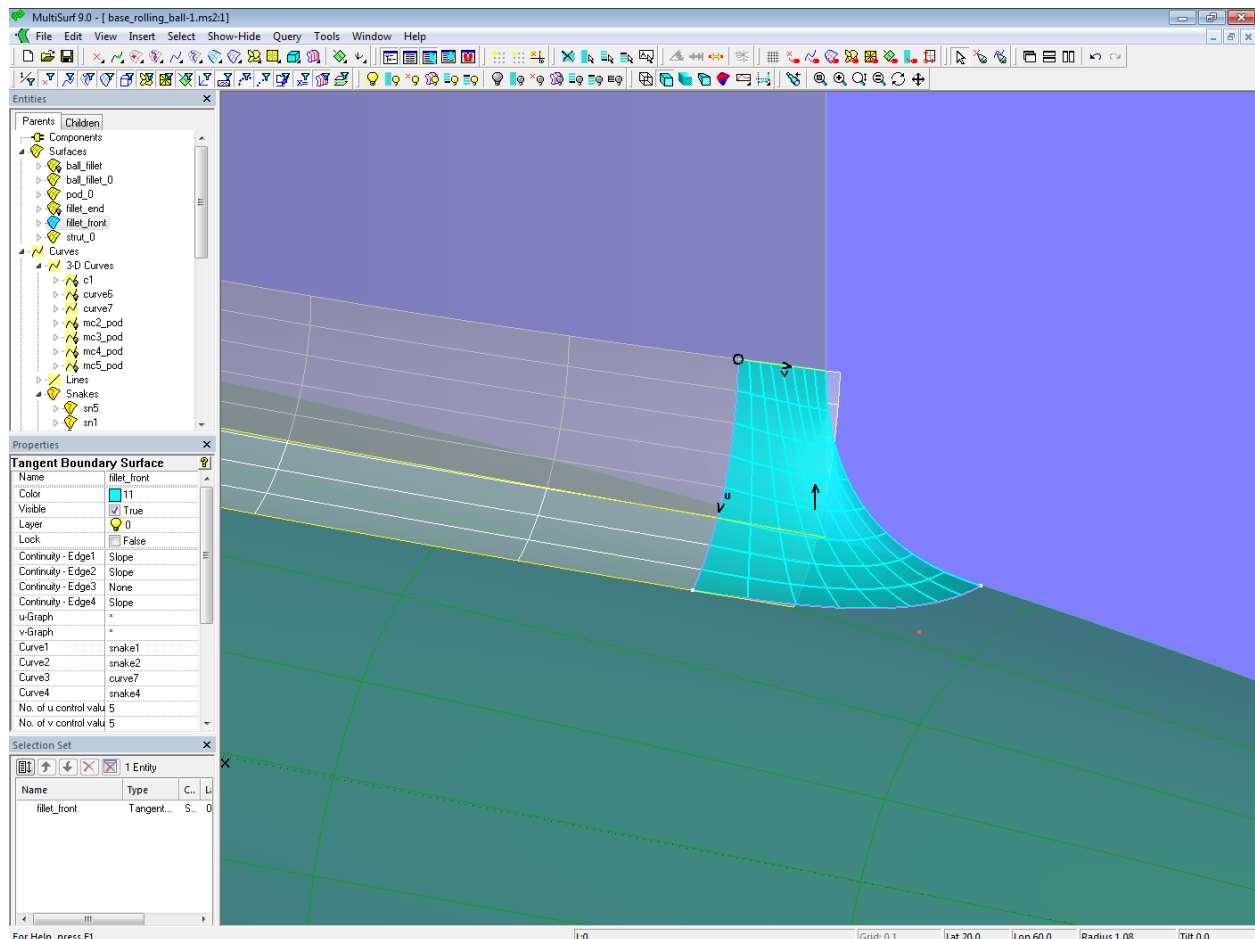
Eine Ausrundungsmethode für zwei aneinander stoßende Flächen bietet die Flächenart Rolling Ball Fillet. Sie ist der anliegende Teil der Hüllfläche einer Kugel, die zwischen beiden Flächen rollt. Im Modell *base_rolling_ball.ms2* ist dies gezeigt.

Eltern eines Rolling Ball Fillets sind die Kurve, entlang der die Kugel rollen soll, die beiden auszurunden- den Flächen und der Radius der Kugel. Entsprechend wird im Modell *base_rolling_ball.ms2* das Rolling Ball Fillet [fillet_0](#) definiert mit der Projected Snake [sn1](#) sowie den Flächen [strut_0](#) und [pod_0](#). Der Radius ist gesetzt auf 0.15 m.



Modell base_roling_ball.ms2 – Rolling Ball Fillet als Ausrundung

An der Vorderkante und an der Hinterkante ist auf Grund der Form der Stützfläche die Ausrundung **fillet_0** offen. Mit den beiden Tangent Boundary Surfaces **fillet_front** und **fillet_end** wird sie geschlossen. Deren Konstruktion soll an Hand der Fläche **fillet_front** erklärt werden.



Modell base_rolling_ball.ms2 – Tangent Boundary Surface *fillet_front*

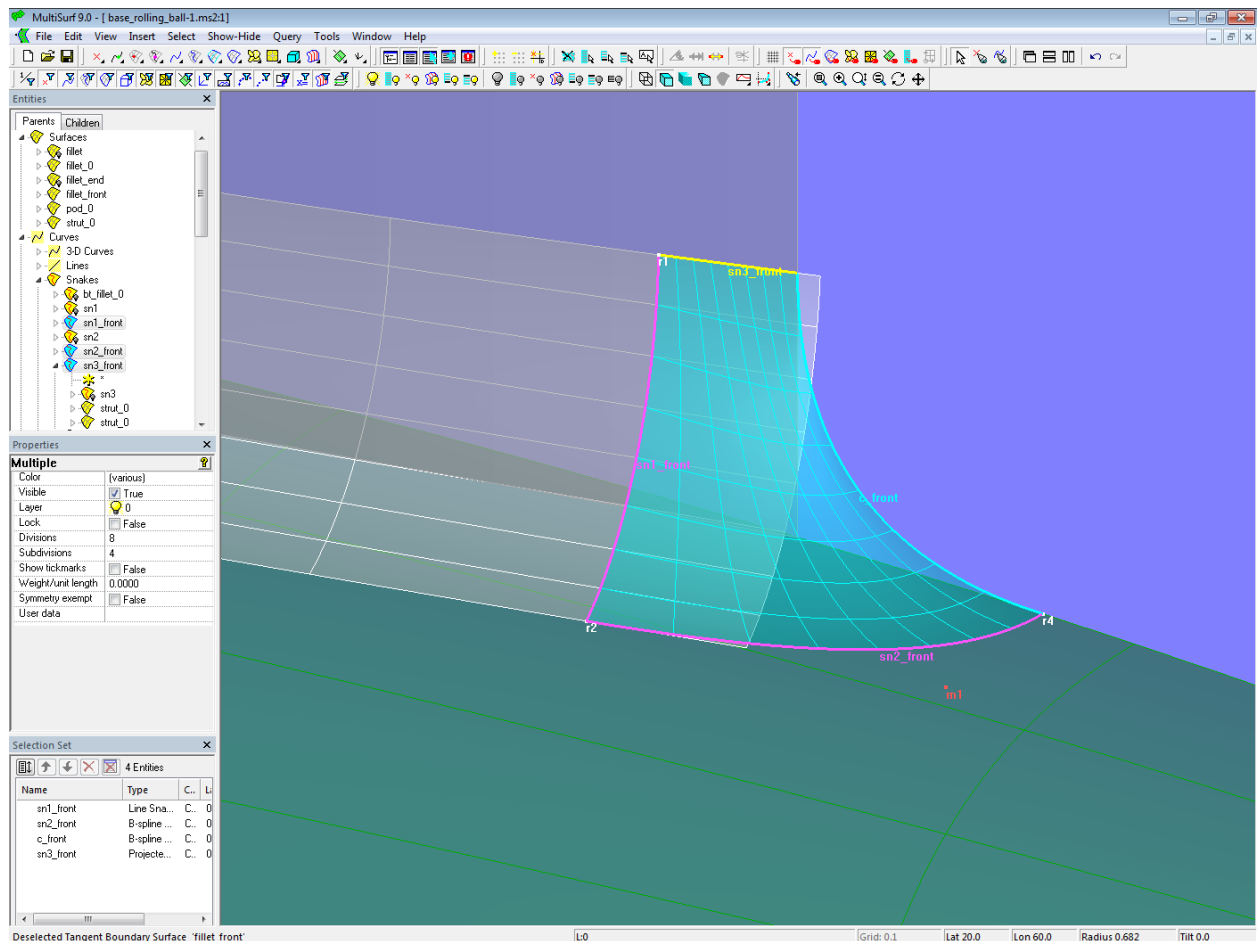
Das Endstück für die Ausrundung muß an drei Kanten tangential zur angrenzenden Fläche verlaufen, also tangential zu *pod_0*, zu *fillet_0* sowie zu *strut_0*. Das bedeutet, dass jede dieser Kanten eine Snake auf der entsprechenden Fläche ist.

Beginnen wir mit Snake *sn1_front*, eine Line Snake auf der Fläche *fillet_0* zwischen Ring *r1* auf der Oberkante von *fillet_0* (EdgeSnake *ue_fillet_0*) und Ring *r2* auf der Unterkante (EdgeSnake *bt_fillet_0*). Line Snake *sn1_front* legt also die Größe des Endstücks in Längsrichtung fest.

Snake *sn2_front* ist eine B-spline Snake auf *pod_0*, definiert mit Copy Ring *r3* auf Projected Snake *sn2*, Tangent Magnet *m1* und Ring *r4* auf der Oberkante von *pod_0* (EdgeSnake *ue_pod_0*). Durch die Verwendung des Objekts Tangent Magnet ist die Beziehung fest verankert, dass die Unterkanten von *fillet_front* (Endstück) und *fillet_0* tangential zueinander sind.

Snake *sn3_front* ist Projected Snake des Teilstücks der Oberkante von *fillet_0* von seinem vorderen Ende bis zu Ring *r1* (SubSnake *sn3*).

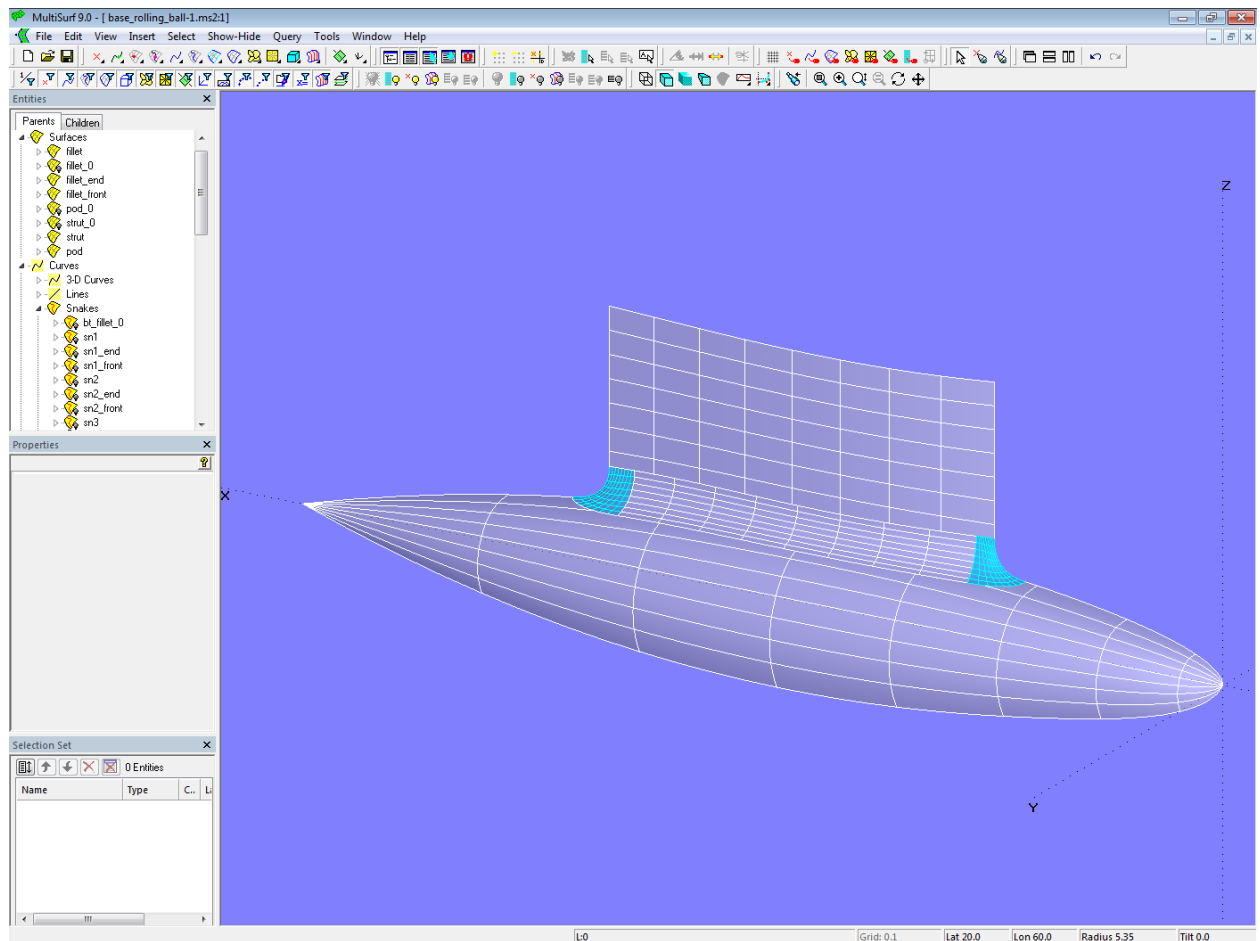
Abschließend wird als letztes Elternteil der Tangent Boundary Surface *fillet_front* die Vorderkante durch die B-spline Curve *c_front* erzeugt.



Modell base_rolling_ball.ms2 – Tangent Boundary Surface *fillet_front*

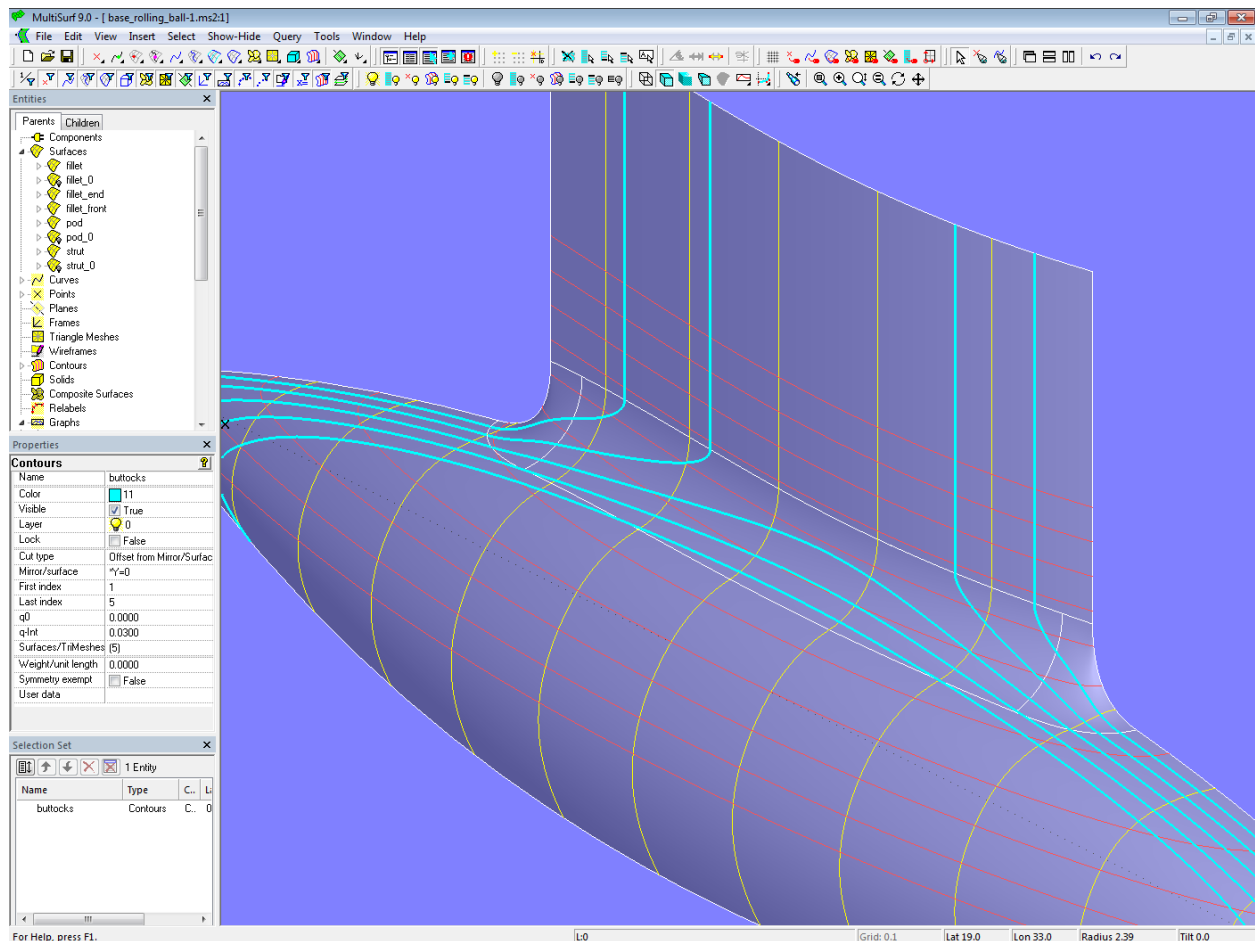
Analog ist das Endstück der Ausrundung achtern konstruiert.

Abschließend werden die von der Ausrundung nicht überdeckten Flächenteile der Stütze und des Auftriebskörpers bestimmt (Trimmed Surfaces *strut* und *pod*). Das Teilstück der Ausrundung zwischen den Enden ist als SubSurface *fillet* erzeugt.



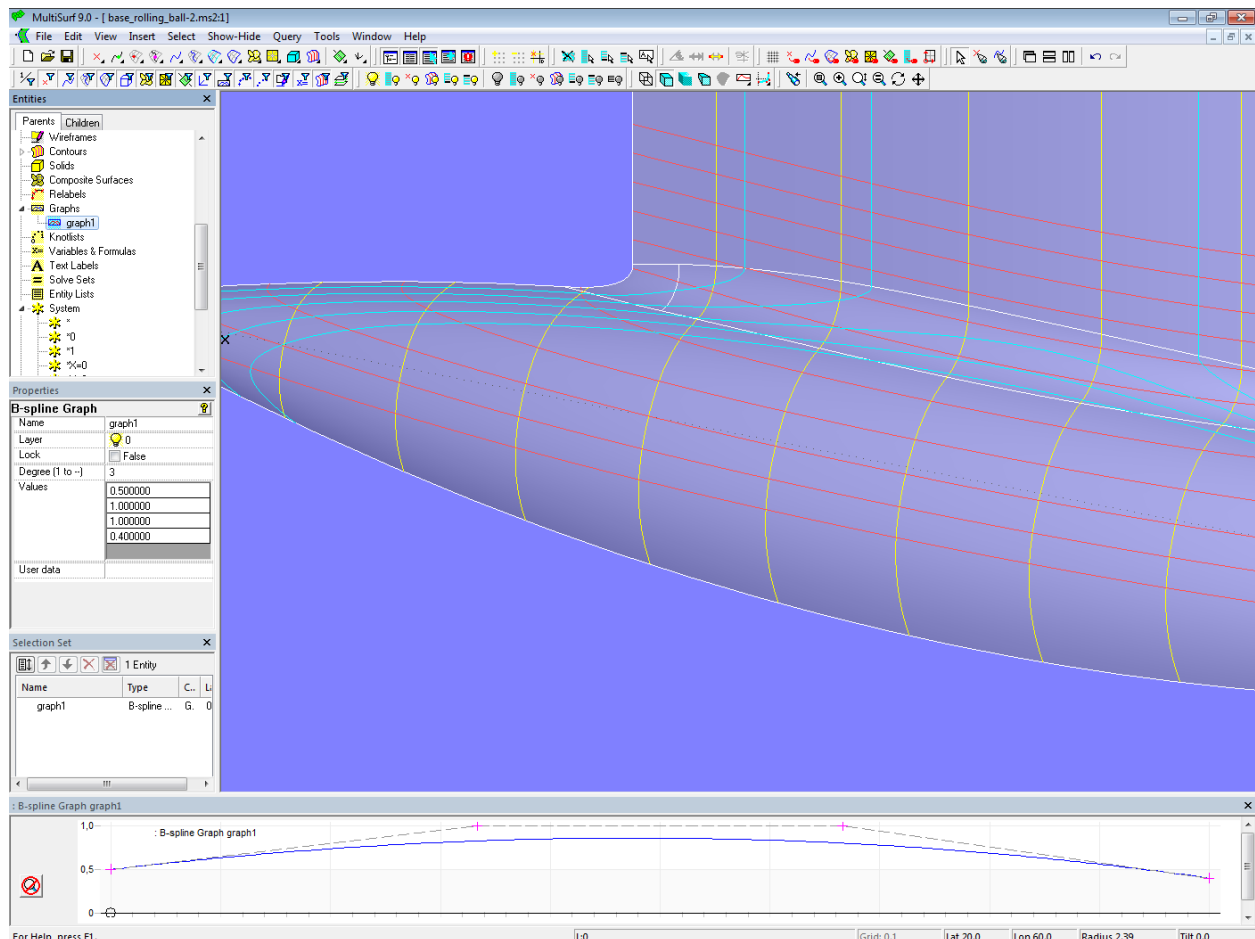
Modell base_rolling_ball.ms2 – Ausrundung zwischen Stützfläche und Auftriebskörper mit Rolling Ball Fillet (Radius konstant)

Bei näherer Betrachtung fällt jedoch auf, dass Schnitte durch die Ausrundung nicht harmonisch verlaufen.



Modell base_rolling_ball.ms2 – unharmonischer Verlauf der Schnitte (Rolling Ball Fillet mit konstantem Radius)

Dies lässt sich beheben, wenn der Radius der Ausrundung sich über der Länge ändert. Für diesen Zweck verfügt die Flächenart Rolling Ball Fillet über die Eigenschaft „Graph“. Wird ein Rolling Ball Fillet in ein Modell eingefügt, ist als Vorgabe das Systemobjekt „*“ eingetragen. Dies bedeutet, dass der Radius über der Länge der Ausrundungsfläche konstant bleiben soll. Soll sich der Radius ändern, muß für die Eigenschaft „Graph“ ein Graph-Objekt verwendet werden. Im Modell *base_rolling_ball.ms2* gibt es bereits hierfür den B-spline Graph **graph1**. Wird nun **graph1** statt der Vorgabe „*“ eingesetzt, ist der Kugelradius variabel.

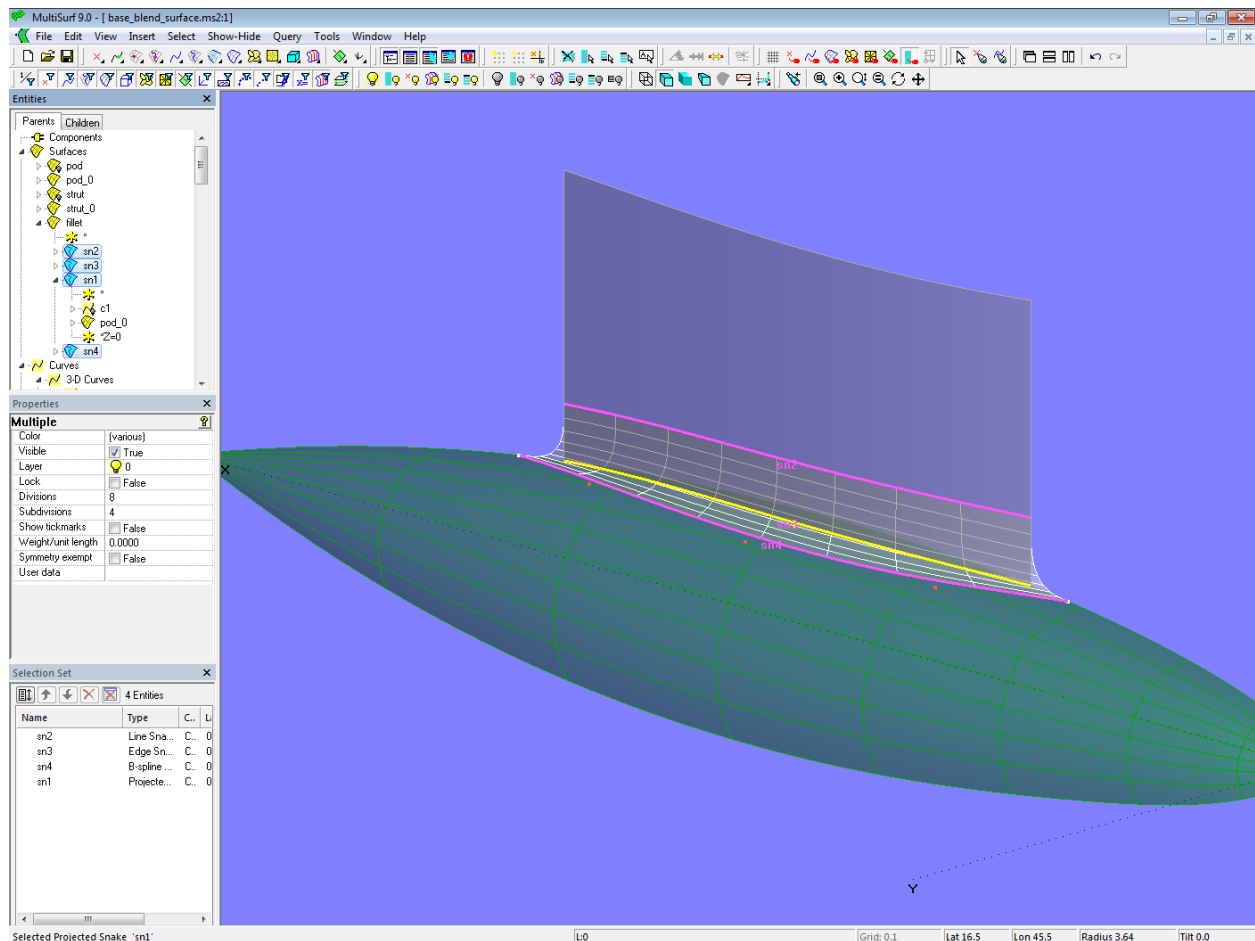


Modell *base_rolling_ball.ms2* – Rolling Ball Fillet mit B-spline Graph *graph1*; der Ausrundungsradius variiert über der Länge.

3.4 Ausrundungsfläche 2 – Blend Surface

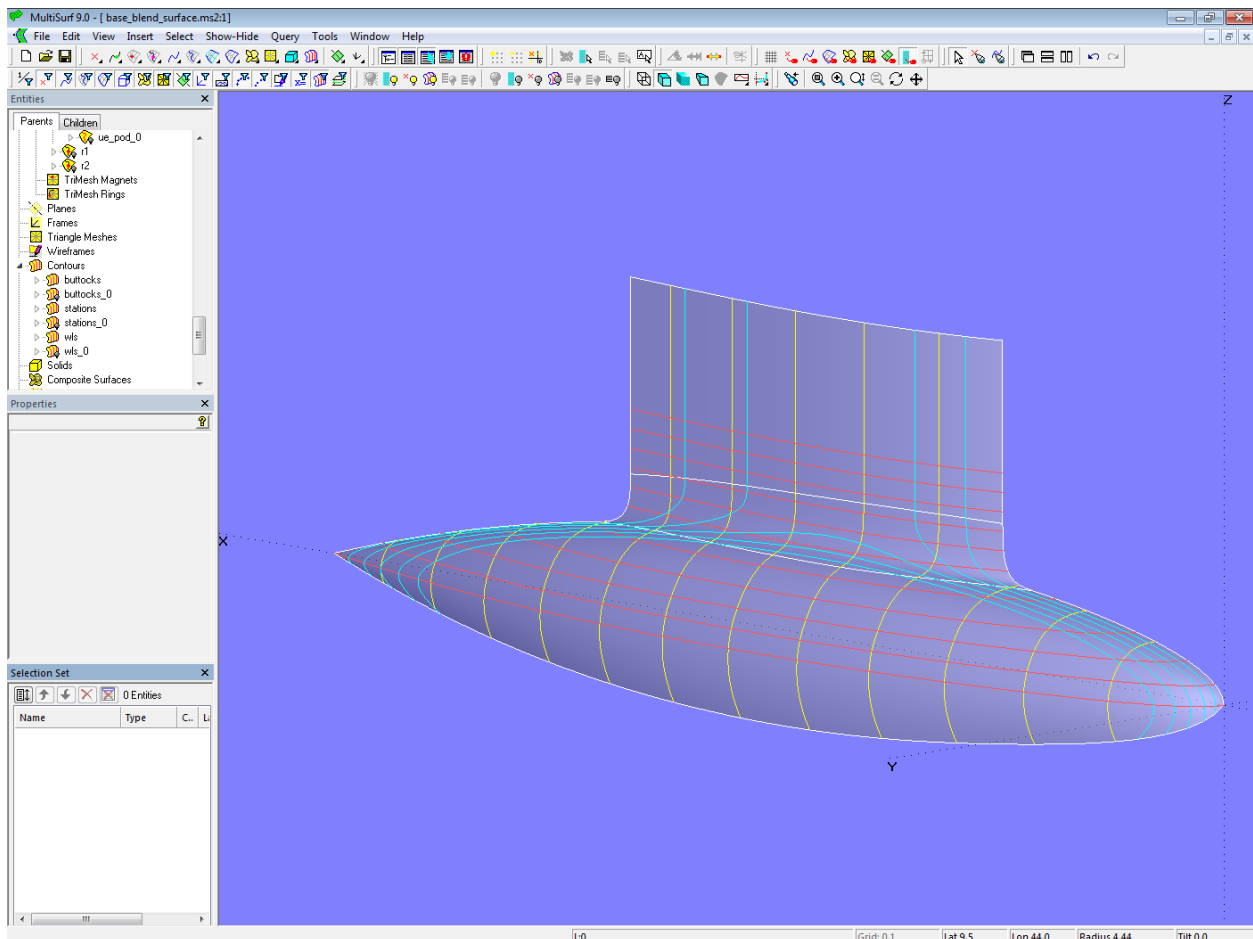
Im Modell *base_blend_surface.ms2* wird für die Ausrundung eine Fläche vom Typ Blend Surface verwendet.

Für eine Blend Surface werden 4 Supports benötigt: zwei Snakes auf Fläche 1 (*strut_0*) und zwei Snakes auf Fläche 2 (*pod_0*). Line Snake *sn2* auf *strut_0* legt den Beginn der Ausrundung fest. Die andere Snake auf Fläche 1 ist ihre Unterkante (Edge Snake *bt_strut_0*). Projected Snake *sn1* ist die eine Snake auf Fläche 2, die andere ist die B-spline Snake *sn4*, erzeugt mit 5 Kontrollmagneten. Sie definiert das Ende der Ausrundung auf *pod_0*. Mit diesen 4 Snakes ist die Blend Surface *fillet* bestimmt.



Modell base_blend_surface.ms2 – Ausrundung mit Blend Surface

Mit der Eigenschaft „Type“ der Blend Surface lässt sich der Verlauf der Ausrundung in Querrichtung beeinflussen. Für Type = 1 ist der Randanschluß tangential, für Type = 2 sowohl tangential also auch krümmungstetig; die Ausrundung verläuft enger.



Modell base_blend_surface.ms2 – Ausrundung mit Blend Surface

3.5 Anwendungsfall – Swath-Schiff

Nach diesen Vorbereitungen zum Thema Ausrundung wollen wir uns der eigentlichen Entwurfsaufgabe zuwenden, die Konstruktion eines allmählichen Übergangs zwischen Stützfläche und Auftriebskörper bei einem Swath-Schiff. Dies soll beispielhaft an Hand des Modells *swath-1.ms2* gezeigt werden.

Die englische Bezeichnung Small Waterplane Area Twin Hull (SWATH) bedeutet auf Deutsch Doppelrumpf mit geringer Wasserlinienfläche. Der über Wasser angeordnete Rumpf mit Plattform ist über schmale Stege oder Stützen mit den beiden stromlinienförmigen Auftriebskörpern unter der Wasseroberfläche verbunden.

Anmerkungen zum Modell

Modell-Einstellungen (Tools/ Options/...)

.../ Model Units: Meters / Kilograms

.../ Performance: Decimal places = 4; Divisions multiplier = 2

.../ Dragging: Nudge amount = 0.01 [m]

Koordinatensystem

Statt des globalen Koordinatensystems wird als Koordinatensystem des Modells der 3-point Frame *frame1* verwendet. Dadurch kann der gesamte Rumpf einfach an die gewünschte Breitenposition verschoben werden.

Mittelebene Rumpf

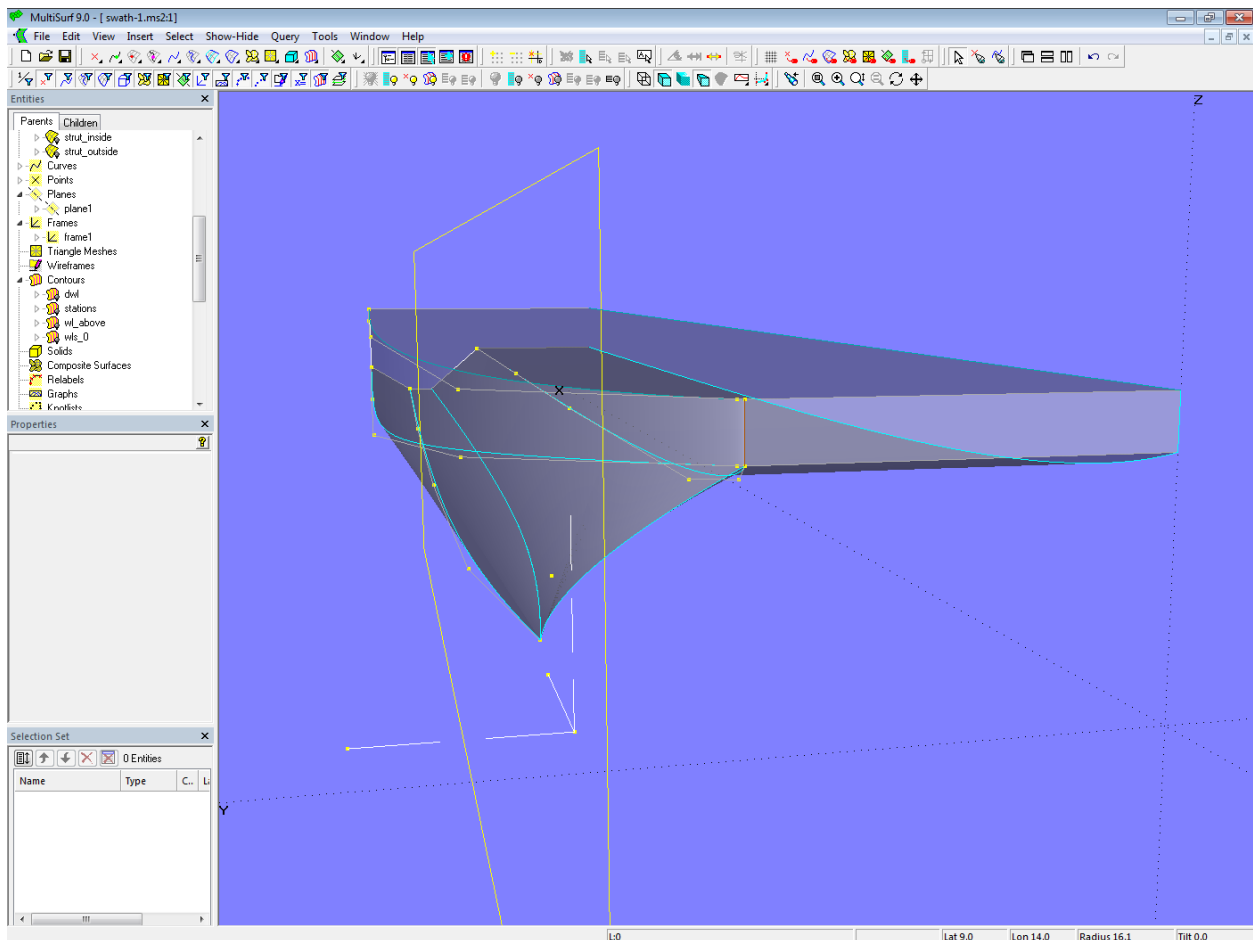
Die Mittelebene des Rumpfes ist die 2-point Plane [plane1](#).

Modell-Aufbau

Die Modellgeometrie lässt sich einteilen in Aussen- und Innenflächen Rumpf (Semi Hull), Plattform, den vollgetauchten Auftriebskörper sowie die Stützfläche zwischen Unterseite Rumpf und Auftriebskörper, die die Wasseroberfläche durchstößt.

Rumpfflächen

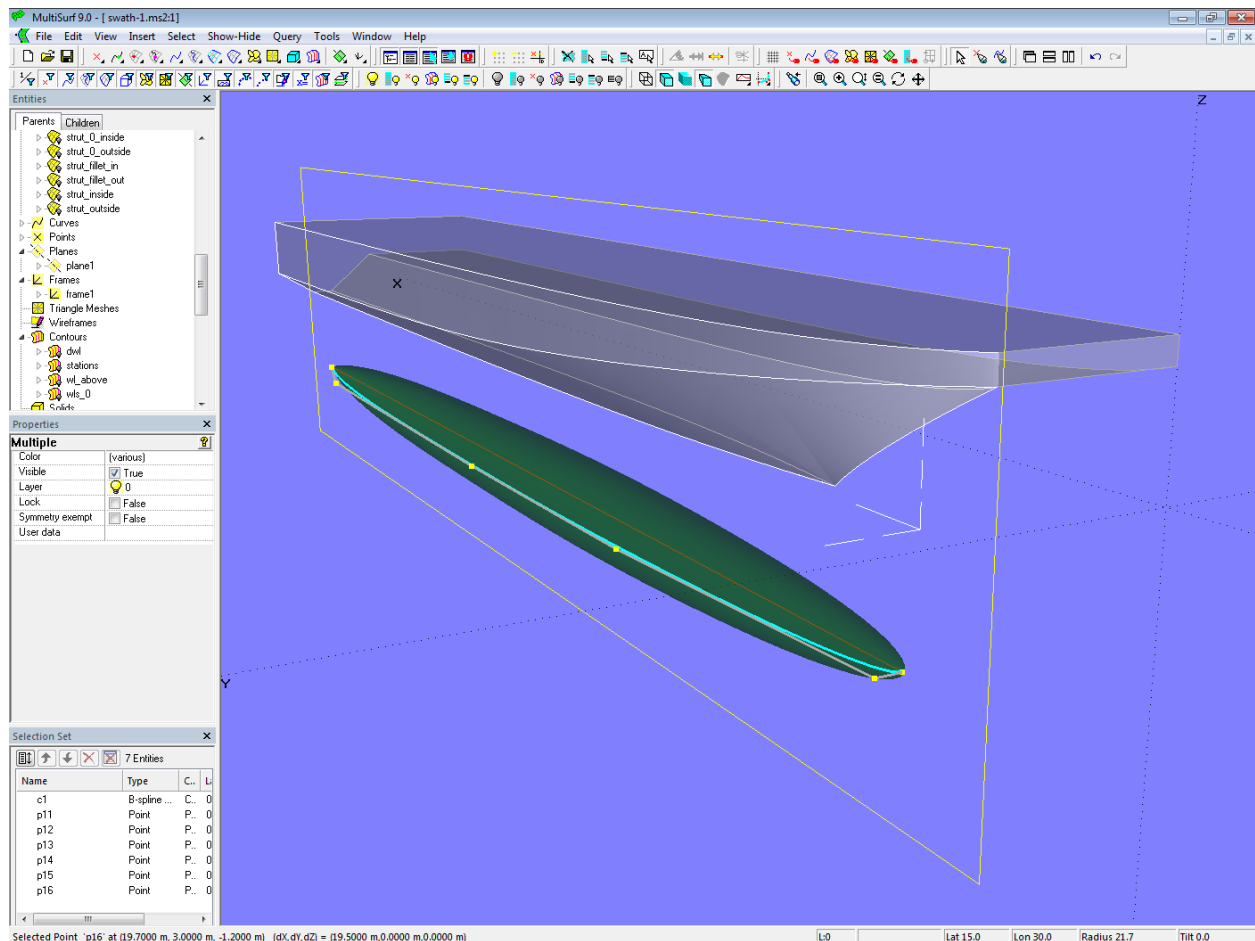
Die Aussen- und Innenflächen des Rumpfes sowie die Plattform werden durch Ruled Surfaces gebildet, die entlang gemeinsamer Längskanten mit einem Knick aneinander stoßen (Rumpf in Knickspantform). Sie werden gestützt von B-spline-Masterkurven mit 5 beziehungsweise 6 Kontrollpunkten.



Modell swath-1.ms2 – Masterkurven der Flächen für Rumpf und Plattform

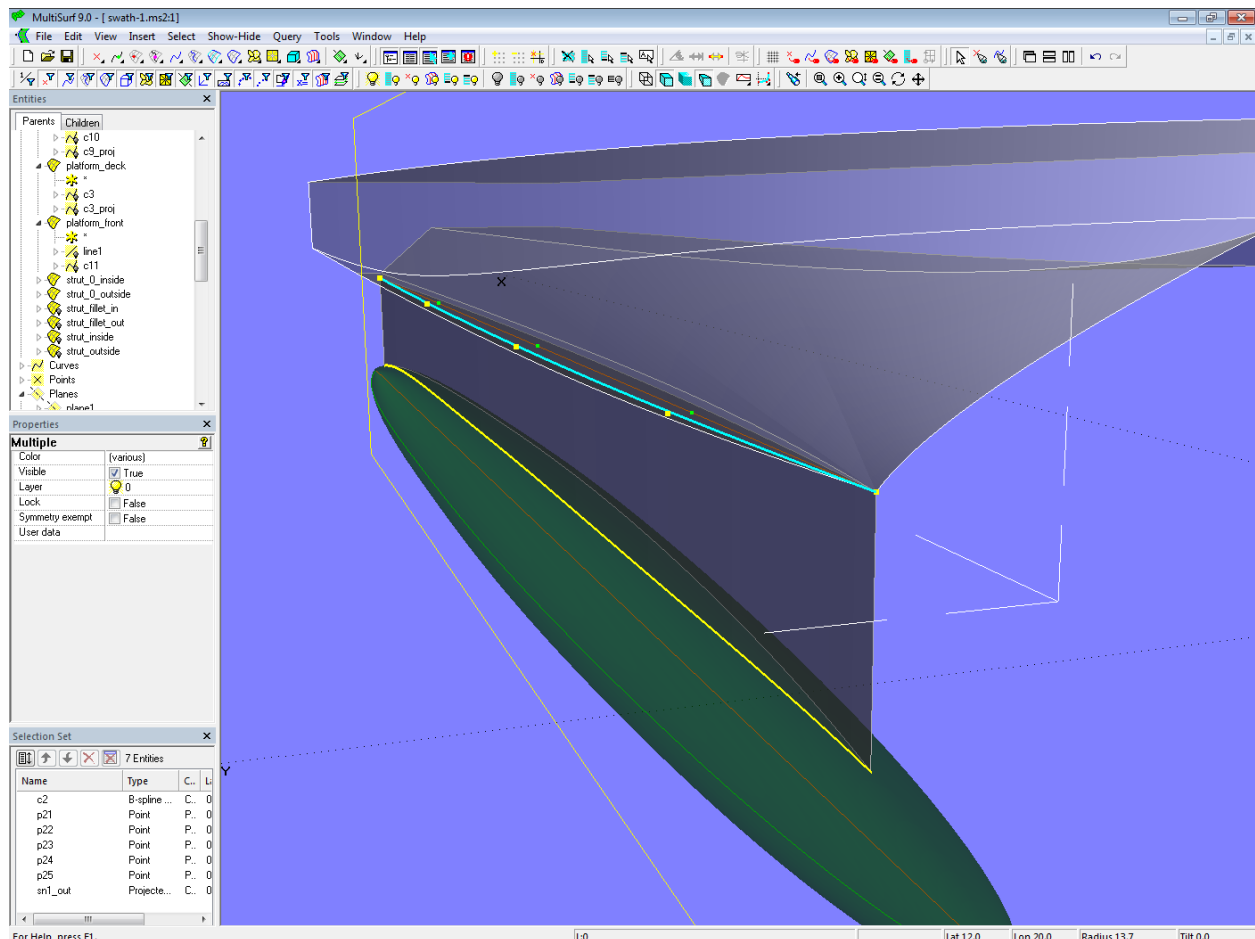
Auftriebskörper und Stützfläche

Im Gegensatz zu den einleitenden Beispielen oben wird der Auftriebskörper durch eine Revolution Surface gebildet ([hull_pod_0](#)). Ihr Meridian ist die B-spline Curve [c1](#); Drehwinkel = 360°).



Modell swath-1.ms2 – der vollgetauchte Auftriebskörper ist eine Revolution Surface.

Die Aussenfläche der Stütze zwischen Auftriebskörper und Rumpf ist ebenfalls eine Ruled Surface ([strut_0_outside](#)), aufgespannt zwischen B-spline Curve [c2](#) und deren Projektion auf die Revolution Surface [hull_pod_0](#) (Projected Snake [sn1_out](#)).



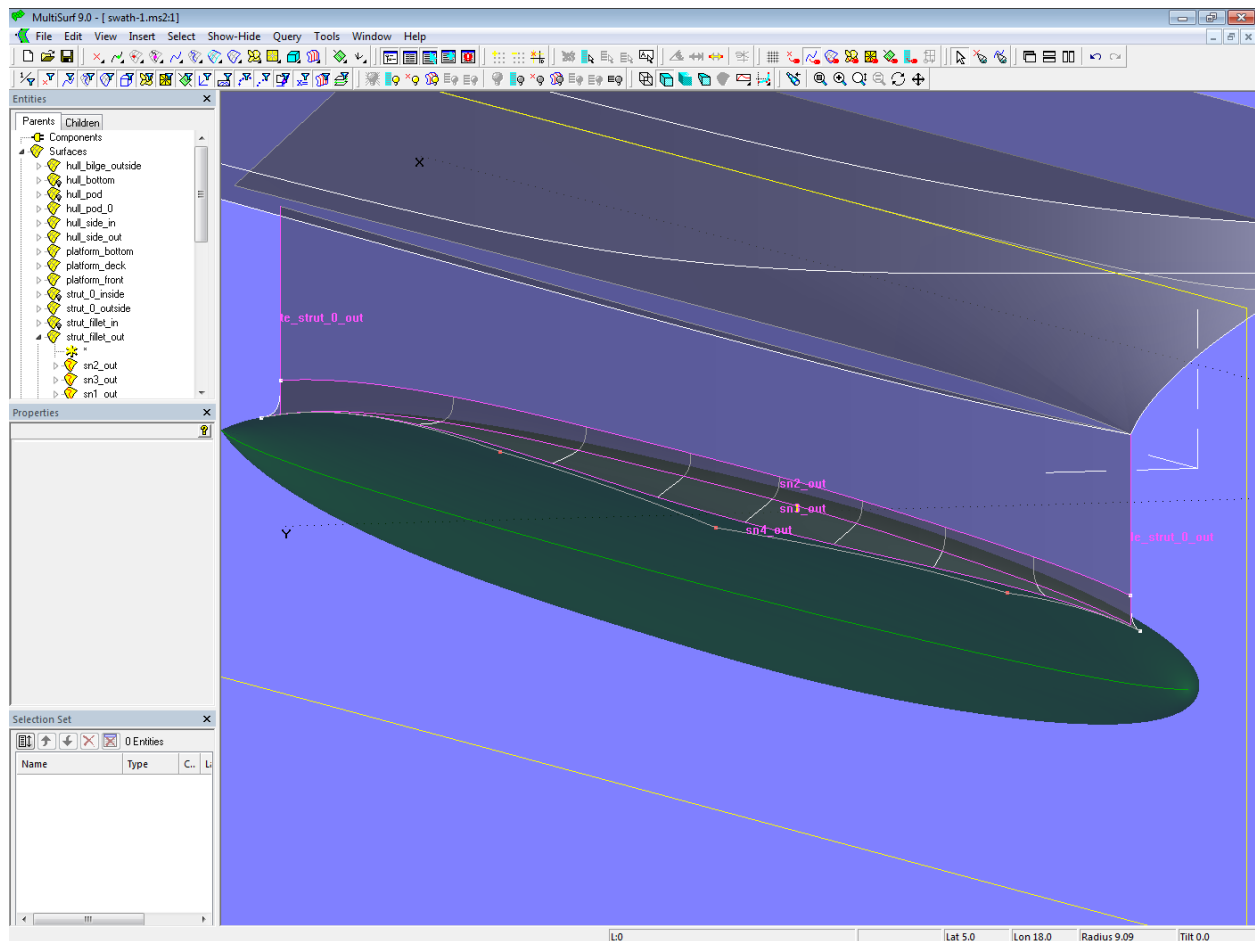
Modell swath-1.ms2 – Stützfläche zwischen Auftriebskörper und Rumpf als Ruled Surface

Die Innenfläche der Stütze ([strut_0_inside](#)) ist eine Mirrored Surface. Durch diese Beziehung werden Änderungen an der Form der Aussenseite automatisch auf die Innenseite übertragen.

Übergang Auftriebskörper–Stützfläche

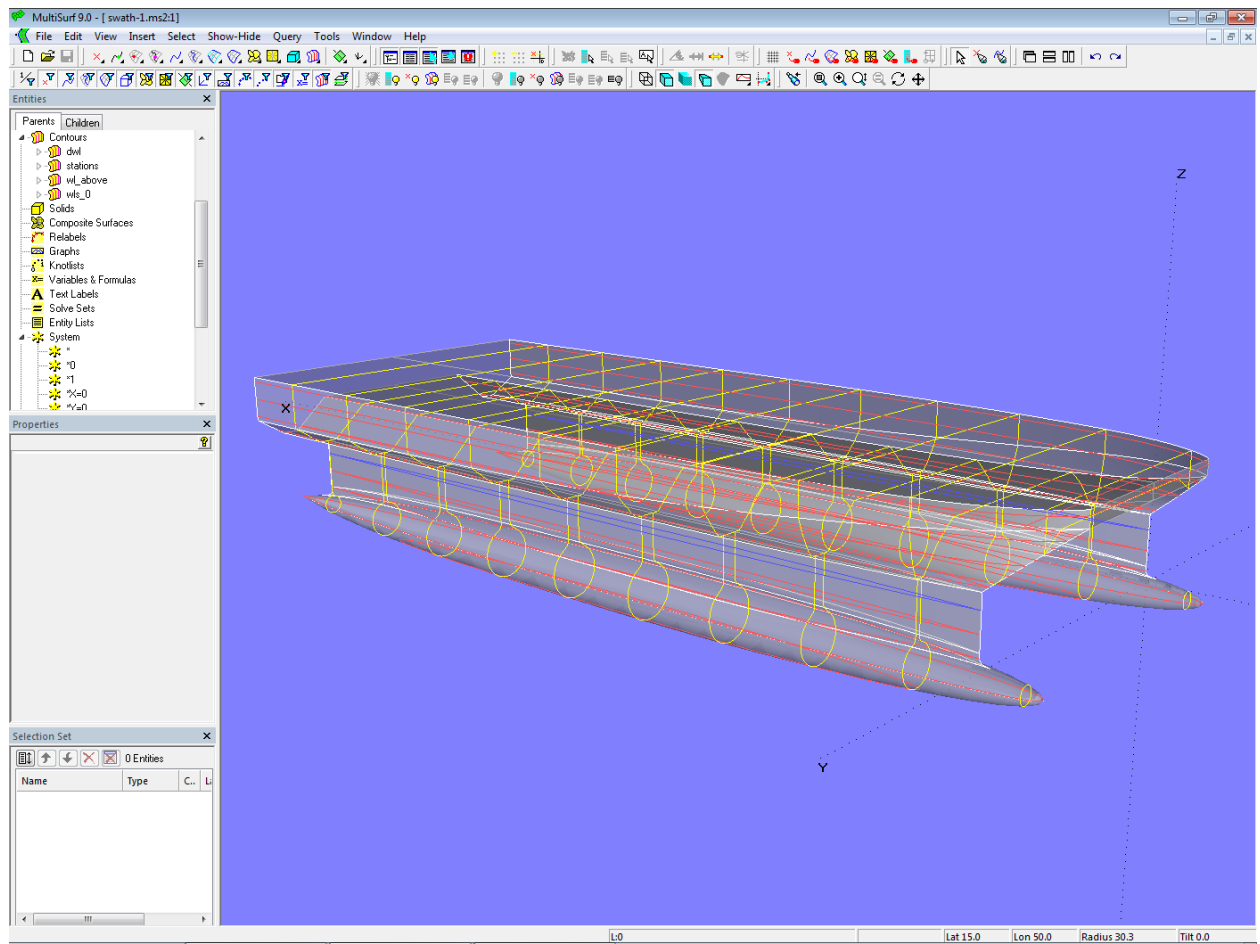
Als Fläche für den Übergang zwischen Auftriebskörper und Stütze wird eine Blend Surface gewählt. Für ihre Definition sind 4 Snakes erforderlich. Snake 1 auf der Stützfläche ist Line Snake [sn2_out](#) zwischen Ring [r1](#) (Vorderkante Stütze) und Ring [r2](#) (Hinterkante Stütze). Sie bestimmt den Beginn der Ausrundung. Snake 2 auf der Stützfläche ist ihre Unterkante (Edge Snake [sn3_out](#)). Snake 3 liegt auf dem Auftriebskörper als Projected Snake [sn1_out](#). Snake 4 beschreibt das Ende der Ausrundung auf dem Auftriebskörper, dies ist die B-spline Snake [sn4_out](#), definiert mit 5 Cps.

Mit diesen 4 Snakes wird dann die Blend Surface [strut_fillet_out](#) erzeugt. Für die Ausrundung auf der Innenseite der Stützfläche wird sie an der Mittelebene [plane1](#) gespiegelt (Mirrored Surface [strut_fillet_in](#)).

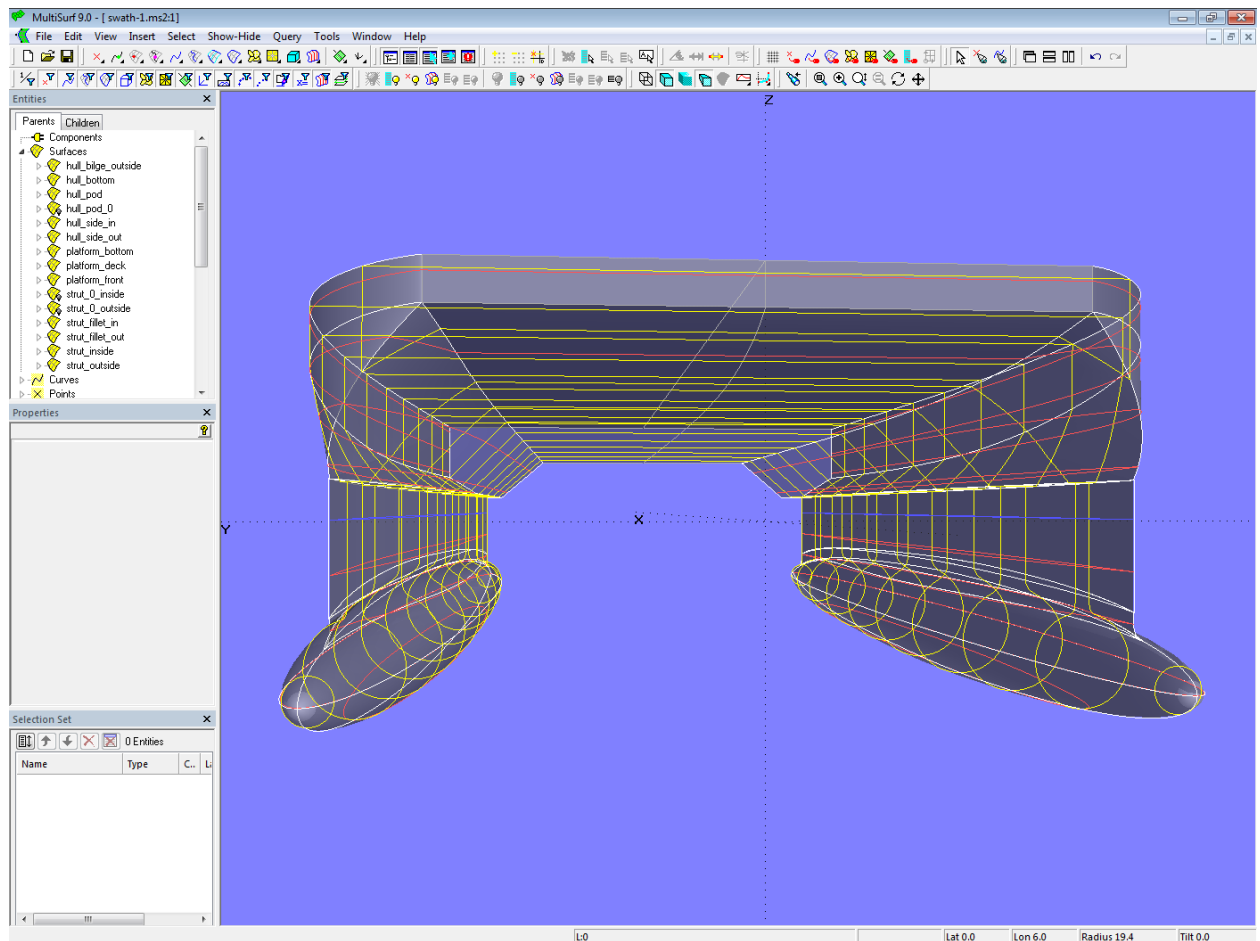


Modell swath-1.ms2 – Ausrundung zwischen Stützfläche und Auftriebskörper als Blend Surface

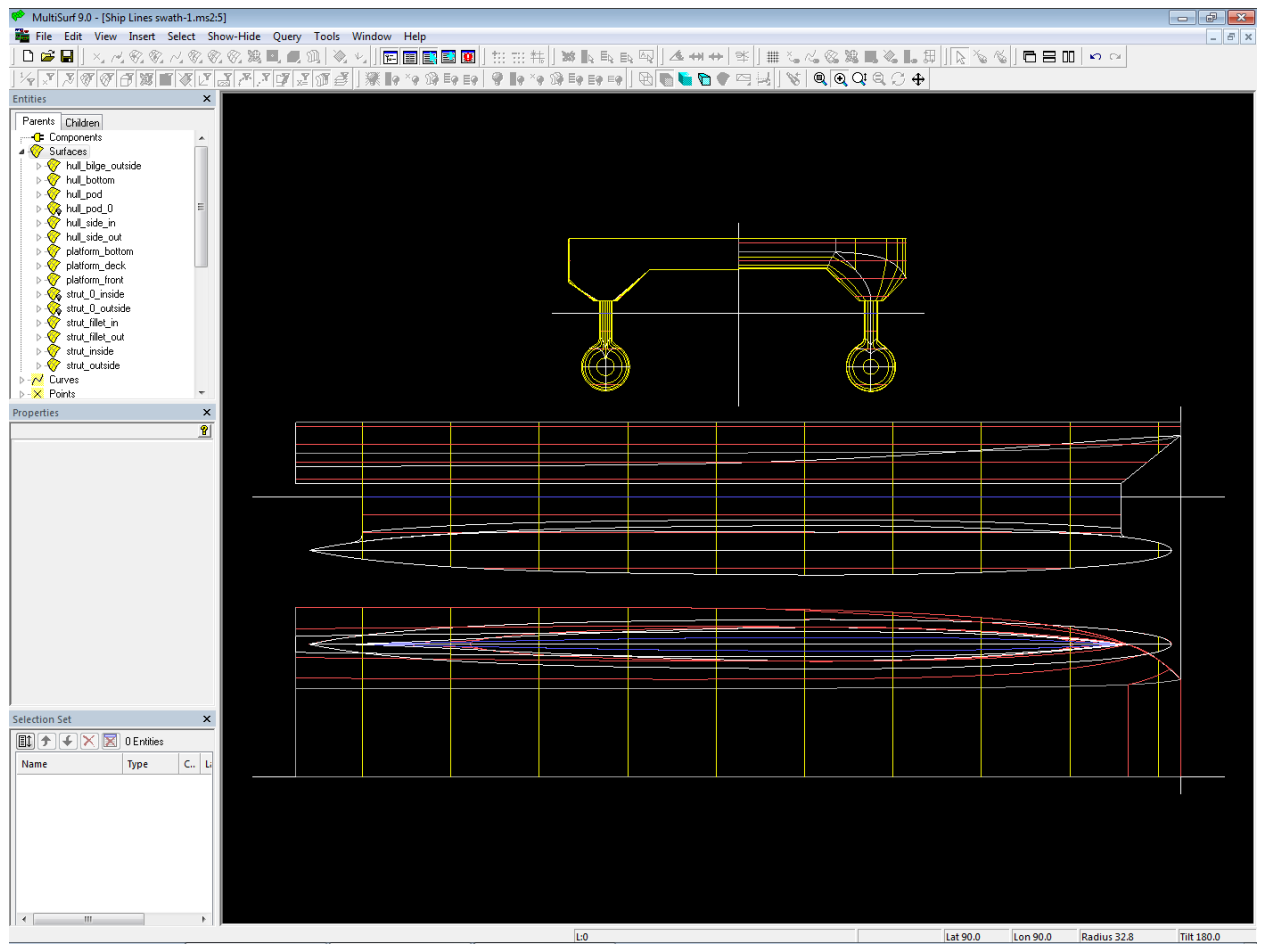
Abschließend werden die von den Ausrundungen nicht überdeckten Flächenteile der Stütze (Trimmed Surfaces **strut_outside** und **strut_inside**) und des Auftriebskörpers (**hull_pod**) bestimmt.



Modell swath-1.ms2 – Shaded view



Modell swath-1.ms2 – Shaded view



Modell swath-1.ms2 – Ship Lines view

=====