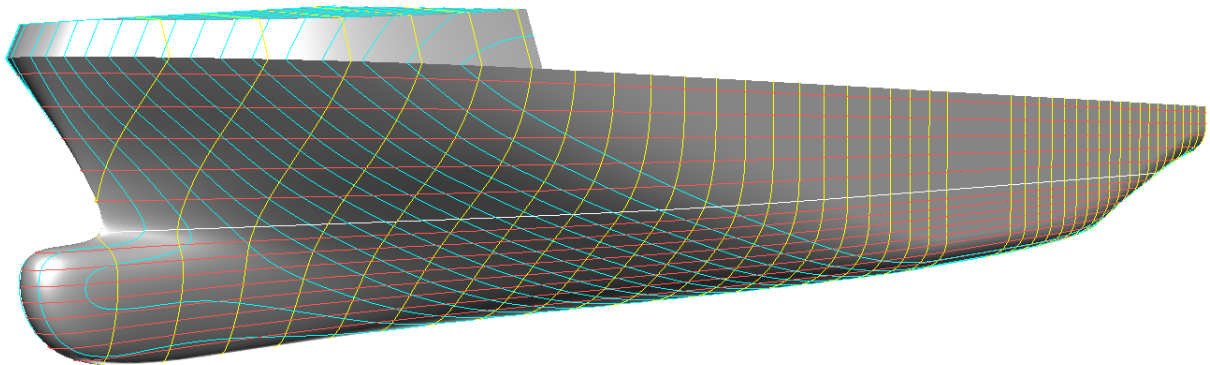


Modellierung von Rumpfformen für Schiffe

von Reinhard Siegel

Einleitung

Obwohl Containerfrachter, Autotransporter, Kreuzfahrtschiff und Massengutfrachter aufgrund ihres Verwendungszwecks unterschiedlich aussehen, weisen ihre Rumpfformen gemeinsame Merkmale auf. Teile der Seite und des Bodens sind nicht gekrümmt, sondern eben. Viele Schiffe haben ein paralleles Mittelstück, ein Querschnitt gleicht dem anderen. Charakteristisch für Schiffe ist auch der Wulstbug.



Dieser Artikel befasst sich mit Methoden, wie man derartige Rumpfformen in MultiSurf modellieren kann. Es geht nicht darum, einen Rumpf mit spezifischer Abmessung und Form zu entwerfen, sondern die Vor- und Nachteile verschiedener Vorgehensweisen werden erklärt.

Verwendete Abkürzungen:

Cp: Kontrollpunkt, Stützpunkt (control point, support point)

Mc: Masterkurve, Stützkurve (master curve, support curve)

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

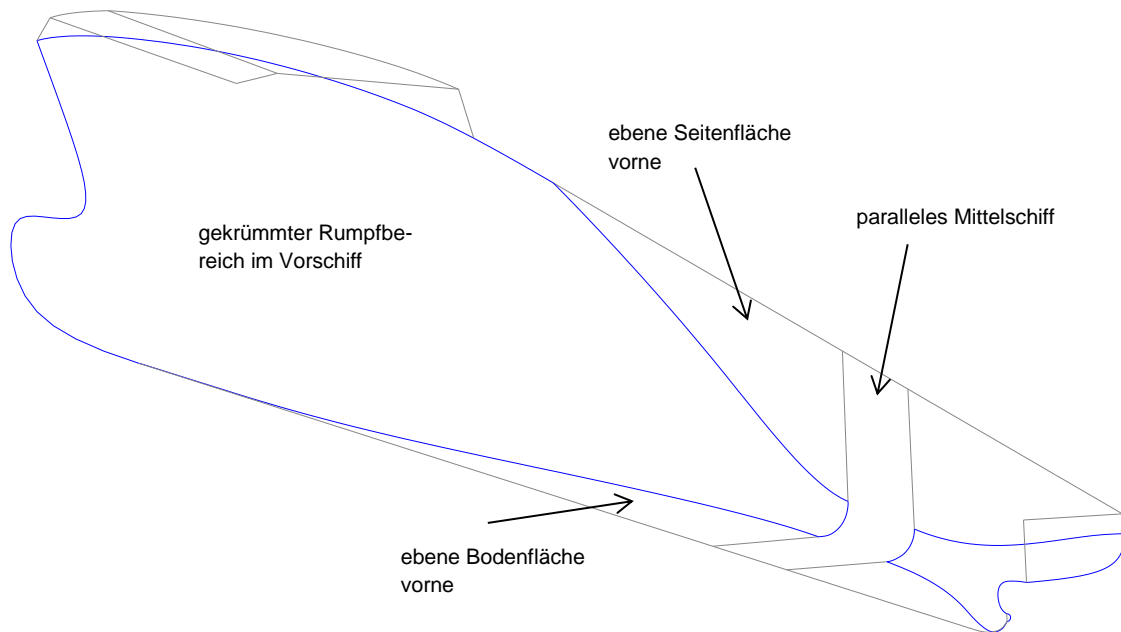
mc1, mc2, ...: bezeichnet die 1., 2. ... Kurve in der Liste der Stützkurven einer Fläche. Es ist kein Objektname.

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.

Formmerkmale

Typisch für einen Schiffsrumpf sind flache Seite, flacher Boden und paralleles Mittelschiff. Der Hauptspantquerschnitt zeigt eine senkrechte gerade Seitenlinie, einen Viertelkreisbogen für die Kimmrundung und eine gerade horizontale oder leicht ansteigende Bodenlinie. In Richtung Bug und Heck

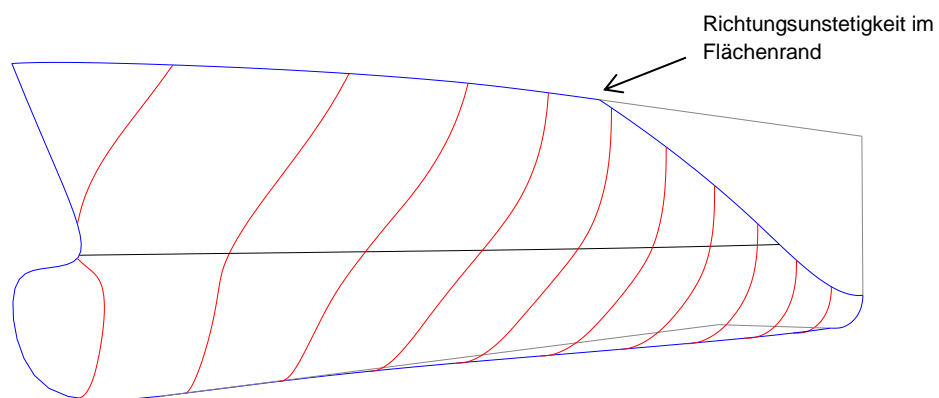
nehmen Höhe der Seitenfläche und Breite der Bodenfläche allmählich ab. Der Wulstbug hat eine Art Gegenstück vor dem Propeller, um hier die Strömungsverhältnisse günstig zu beeinflussen.



Gekrümmte und ebene Bereiche sowie ein paralleles Mittelstück sind Formmerkmale von Schiffsrümpfen.

Somit lässt sich die Rumpffläche in ebene und gekrümmte Bereiche aufteilen. Flacher Boden und gebogener Rumpf schließen glatt aneinander an, ebenso Seitenfläche und Rumpf im Unterwasserbereich. Über Wasser bilden Rumpf und Seite manchmal einen Knick, um mehr Raum für Ladung zu schaffen. Die gekrümmten Flächenbereiche von Vor- und Hinterschiff schließen tangential an das Mittelschiff an.

1 Vorschiff



Vorschiff

Betrachten wir zuerst den vorderen Teil eines typischen Schiffsrumpfes. Wulstbug und tangentialer Einlauf in Seite, Boden und paralleles Mittelschiff sind die notwendigen Bedingungen, die an die Form der gekrümmten Rumpffläche zu stellen sind. Vier Flächenarten kommen für die Modellierung in Frage:

- B-spline Lofted Surface
- C-spline Lofted Surface
- X-spline Lofted Surface
- B-spline Surface / NURBS Surface

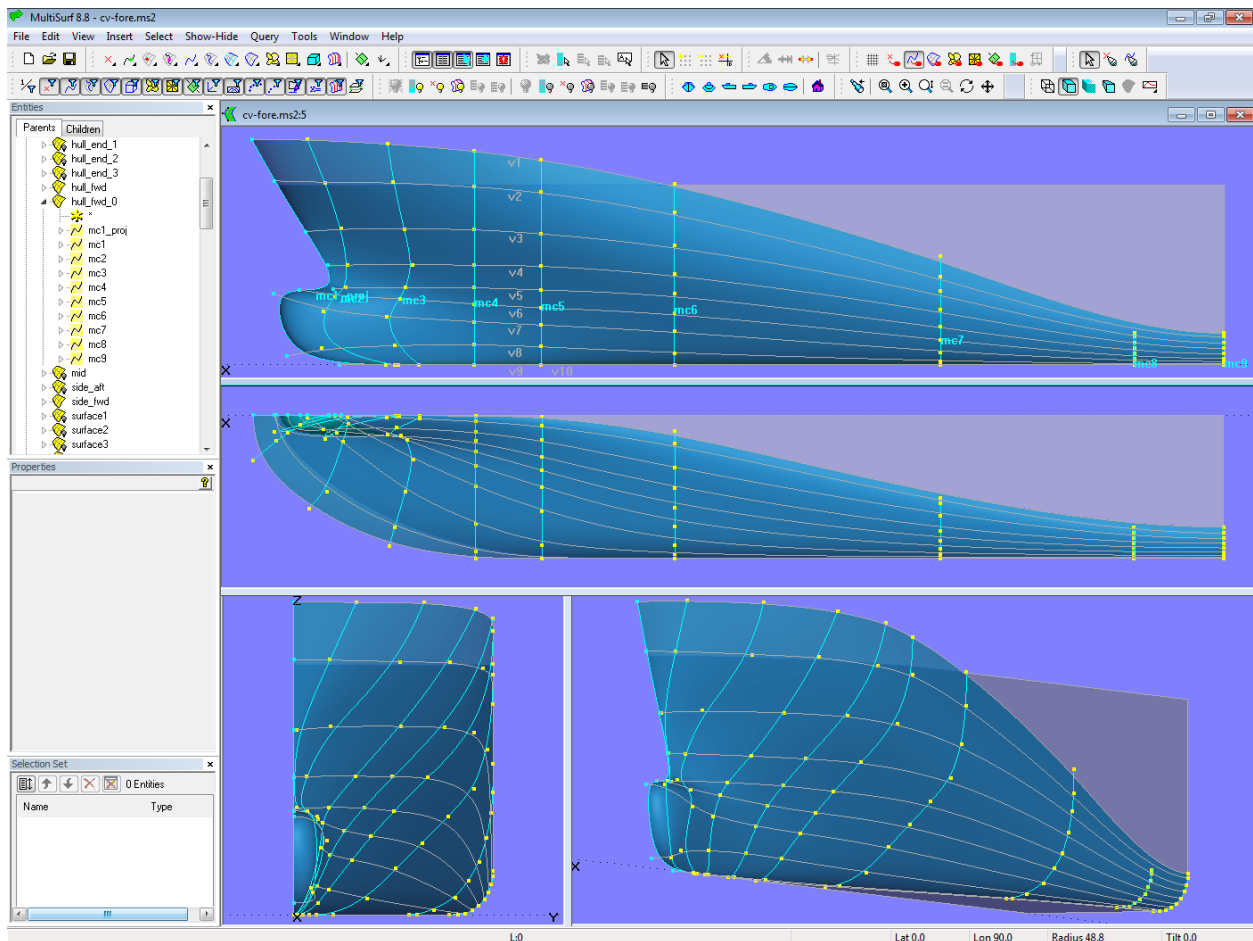
Jede der Lofted Surfaces wird durch die gleiche Prozedur erzeugt: MultiSurf bestimmt für den gleichen Parameterwert t auf jeder Kontrollkurve (Masterkurve, Stützkurve) zunächst den zugehörigen Kurvenpunkt, dann wird die resultierende Punktereihe als Kontrollpunkte für die Lofting-Kurve verwendet. Mit anderen Worten: die Masterkurven werden durch die Lofting-Kurven "beplankt".

B-spline Lofted Oberfläche mit B-spline Masterkurven

Wird eine B-spline Lofted Surface mit B-spline-Masterkurven erstellt, kann die Tangentialeigenschaft der B-spline-Kurve in doppelter Hinsicht verwendet werden. Ein B-spline beginnt immer tangential zum ersten Segment und endet immer tangential zum letzten Segment der Polylinie durch seine Kontrollpunkte (Cps). Weiterhin ist eine B-spline-Kurve "weich", mit wenigen Cps leicht frei zu formen, wobei die Kurve stets nah der Polylinie durch die Cps verläuft.

Wenn die Mcs vertikal beginnen und waagrecht enden, dann ist der tangentiale Anschluß an die senkrechte Seiten- und horizontale Bodenfläche fest verdrahtet. Und wenn die erste Mc auf der Mittschiffsebene liegt und eine Normalprojektion der zweiten Mc ist, ist der Bug entlang dem Vorsteven gerundet. Und wenn schließlich die vorletzte Mc ein Duplikat des letzten Mc ist, dann ist der strakende Einlauf in das parallele Mittelschiff gewährleistet.

Diesen Ansatz zeigt das Modell *cv-fore-bloft.ms2*.



Modell cv-fore-bloft.ms2 - Vorschiff-Basisfläche; Anordnung der Masterkurven für die B-spline Lofted Surface; Vertexkurven dienen als Strakhilfe.

Die Basisfläche ist durch 10 B-spline-Mcs definiert. Mit Ausnahme von **mc2** und **mc3** laufen alle Mcs in Querschiffsrichtung. Dies bietet den Vorteil, dass Form der Mc und Spantform in ihrer Umgebung sehr ähnlich sind.

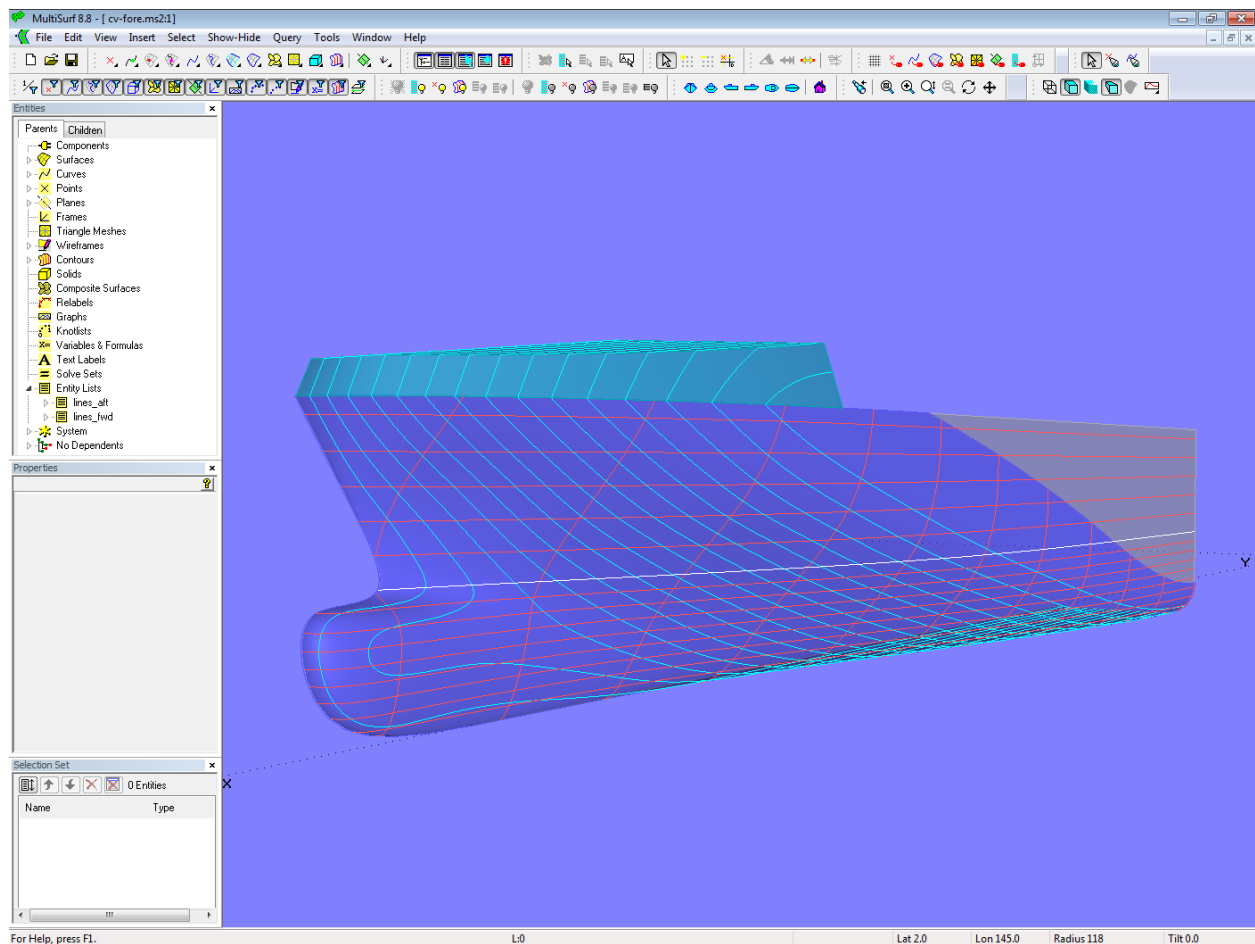
Würde **mc3** ebenfalls in Querschiffsrichtung verlaufen, wäre der nicht unterstützte Bereich zu **mc2** ziemlich groß. Um Einfluss auf die Form auszuüben, vor allem in Bereichen, wo diese sich rasch ändert (hier: Bugwulstbereich), sollten die Mcs in harmonischer Weise angeordnet werden - nicht zu nahe an der vorangehenden und nicht zu weit entfernt von der folgenden Mc.

Die Cps von **mc1** definieren durch ihre X- und Z-Koordinate die Stevenform in der Seitenansicht. Gleichzeitig kontrollieren sie durch ihre Y-Koordinate die Größe der Bugrundung. Durch die Projektion von **mc1** auf die Mittschiffsebene als Projected Curve **mc1_proj** ist garantiert, dass die Lofting Curves (B-spline Curve) alle normal zu Mitte Schiff beginnen und die Stevenrundung erzeugen.

Bei allen Mcs hat der vorletzte und der letzte Kontrollpunkt (d. h. cp9 und cp10) eine Koordinate $Z = 0$, sie laufen also ohne Knick in die Bodenfläche ein. Von **mc5** an ist die Y-Koordinate von cp1 und cp2 bei allen weiteren Mcs gleich der halbe Breite des Rumpfes, so dass diese Mcs vertikal beginnen.

Der tangentielle Einlauf der B-spline Lofted Surface in das Mittelschiff entsteht dadurch, dass **mc8** und **mc9** mit Ausnahme der X-Position identisch sind; **mc8** ist eine Copy Curve von **mc9**.

Auf diese Weise müssen insgesamt 8 Mcs von 10 interaktiv modelliert werden, jede ist ihrerseits durch 10 Cps definiert. Das sind nicht gerade wenig Punkte, ist aber der Form des Bugwulstes geschuldet. Die komplizierteste Kurve bestimmt die erforderliche Anzahl der Cps.



Modell *cv-fore-bloft.ms2*

Die hier verwendete Anordnung der Mcs erlaubt die direkte Definition des Seiteneinlaufs (durch Positionierung der Punkte cp1). Gleichzeitig verläuft die Mehrzahl der Mcs in Querrichtung, was den Zusammenhang zwischen Form der Mcs und Spantform begünstigt. Im Gegenzug muss dafür die Fläche zum Bug hin über Seite Deck ansteigen – eine Unstetigkeit in der Richtung der „Beplankung“ ist nicht möglich. Folglich muss diese Basisfläche am Deck abgeschnitten werden, erst dadurch entsteht die Unstetigkeit im Flächenrand.

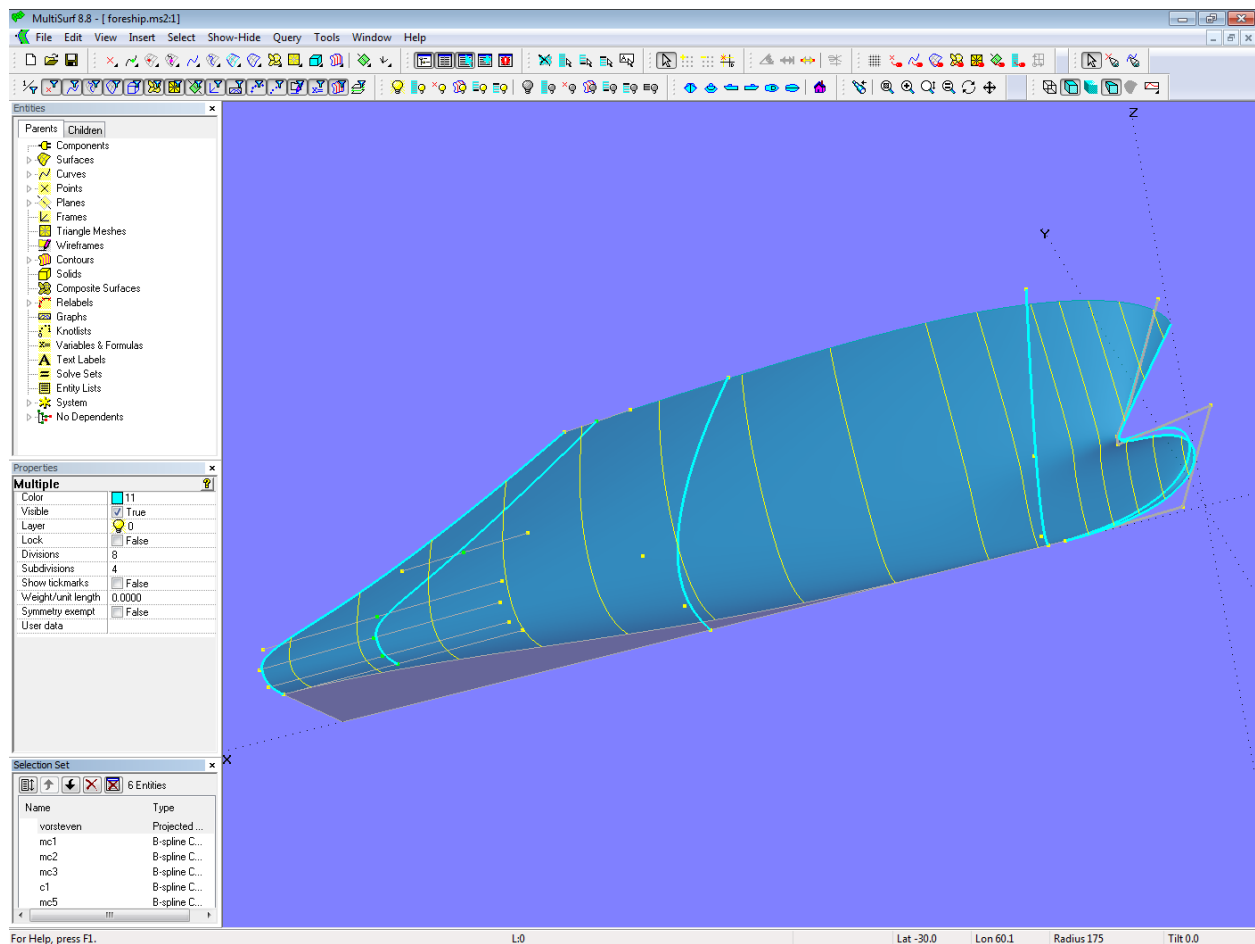
Diese Ausdehnung der Basisfläche kann auch von Nutzen sein, wenn Teile der Rumpfoberfläche oberhalb des Hauptdecks erforderlich sind (Backdeck).

B-spline Lofted Surface – alternative Mc-Anordnung

Eine andere Anordnung der B-spline-Mcs wird im Modell *cv-fore-bloft-2.ms2* verwendet. Hier wird die gekrümmte Rumpffläche nicht über die Kurve des Seiteneinlaufs ausgedehnt. Die hintere Mc beschreibt gleichzeitig den Seiteneinlauf und die Kimmrundung.

Wiederum gleicht die vorletzte Mc der letzten Mc, nur die X-Koordinaten ihrer Cps sind verschieden. Im Beispiel sind die Cps Beads auf parallel zur X-Achse verlaufenden Hilfslinien. Man könnte auch die Eigenschaft „Dragging“ der Punkt-Objekte verwenden, um die relative Position korrespondierender Cps beizubehalten, aber diese Hilfslinien und Beads visualisieren anschaulicher die Grundidee.

Auch hier ist die erste Mc eine Projected Curve der zweiten Mc, diese bestimmt den Vorstevenverlauf in der Seitenansicht und die Größe der Bugrundung.



Modell cv-fore-bloft-2.ms2 - Anordnung der Masterkurven

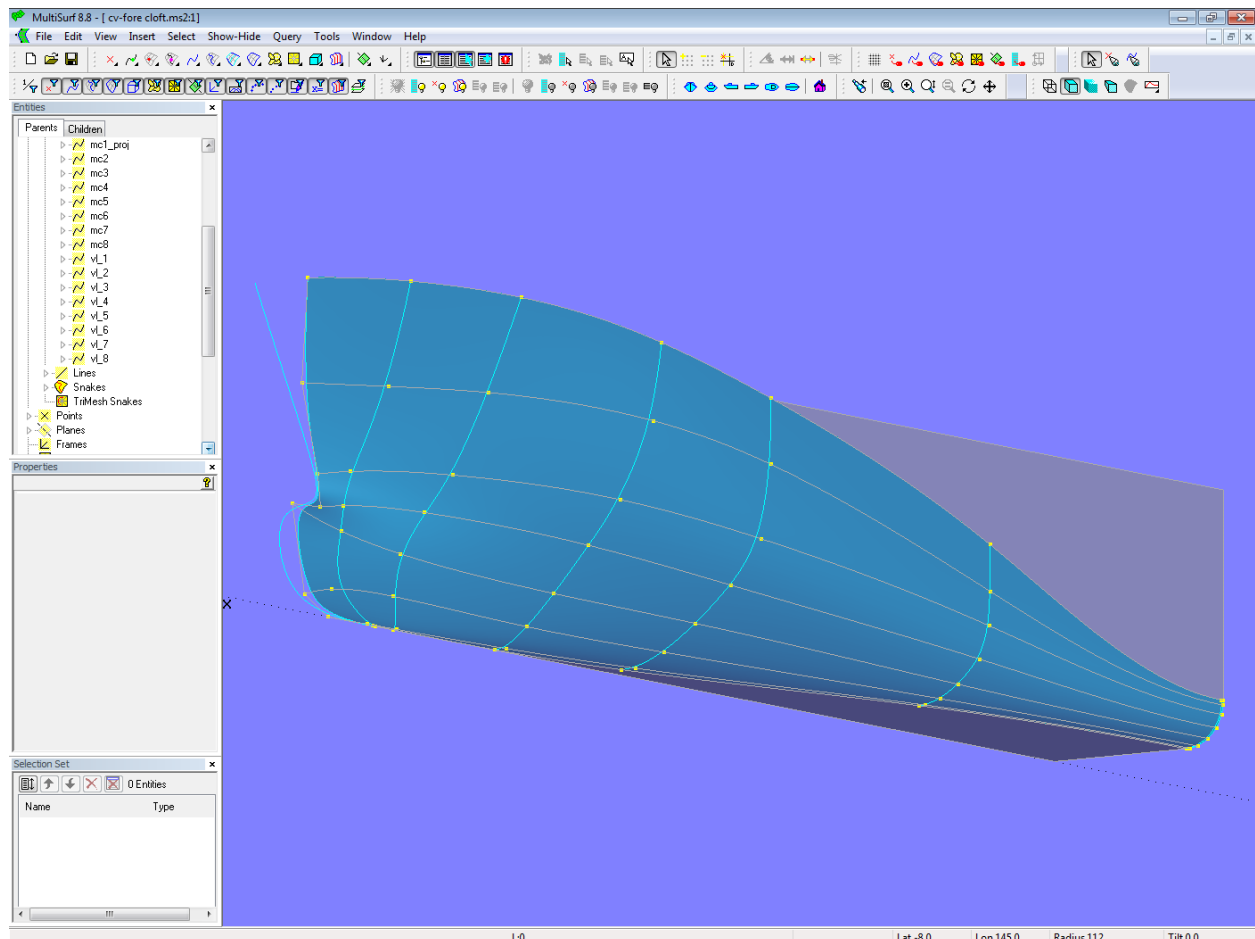
Da sich Mcs nicht überschneiden dürfen, müssen durch den geneigten Verlauf des Seiteneinlaufs die Mcs, die vor den beiden hinteren liegen, auch schräg verlaufen, damit kein zu großer ungestützter Flächenbereich entsteht.

Diese Methode ist zweckmäßig, wenn es bei der Formgebung keine zu großen Einschränkungen gibt (free forming). Sie ist weniger geeignet beim Anpassen einer Fläche an eine vordefinierte Geometrie (surface fitting).

C-spline Lofted Surface mit B-spline-Mcs

Bei einer B-spline Lofted Surface ist die erste Mc der vordere Rand, die letzte Mc der hintere Rand der Fläche. Alle anderen Mcs liegen in der Regel außerhalb der Fläche (Approximation). Es besteht also nur ein indirekter Zusammenhang zwischen Masterkurvenform und Spantform. Dagegen verläuft bei einer C-spline Lofted Surface die Fläche immer durch alle Mcs (Interpolation). Wenn eine Mc z. B. in Spantrichtung verläuft, dann hat die Fläche an dieser Stelle auch exakt diese Form. So gesehen ist eine C-spline Lofted Surface sehr zweckmäßig, wenn eine ganz bestimmte Spantform gewünscht wird, z. B. wenn eine Rumpfform im Rechner nachentworfen werden soll (surface fitting).

Ein Beispiel zeigt Modell cv-fore-cloft.ms2.



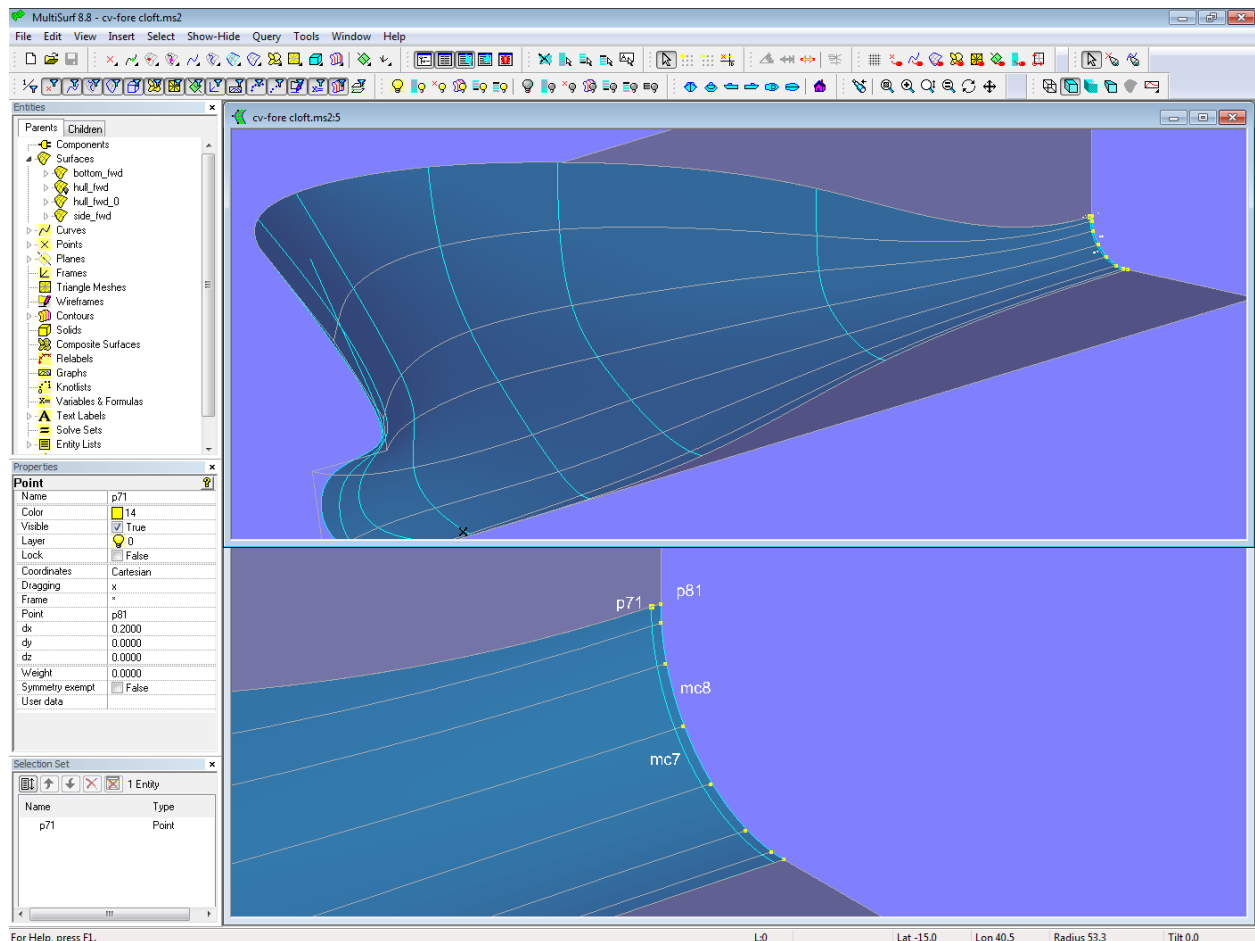
Modell cv-fore-cloft.ms2 - Anordnung der Masterkurven und der Strakhilfskurven

Die Basisfläche wird durch 8 B-spline-Masterkurven gestützt, alle mit jeweils 8 Cps. Durch korrespondierende Cps verlaufen C-spline Curves als Strakhilfen (Vertexkurven). Alle Mcs laufen tangential in den Boden ein aufgrund der $Z = 0$ - Koordinate des vorletzten und letzten Cp. Ab **mc5** beginnen alle Mcs vertikal, da die Y-Koordinate des 1. und 2. Cp gleich der halben Breite des Rumpfes ist.

Soll im Verlauf der Kurve Seite Deck kein Knick zwischen gekrümmter Rumpffläche und ebener Seitenfläche auftreten, ist es wichtig, dass die Vertexkurven 1 und 2 nicht über die Seitenfläche des Schiffes hinausschwingen. Deswegen muß an **mc3** und **mc4** die Position von cp1 und cp2 in Y-Richtung sorgfältig gewählt werden.

Eine C-spline Lofted Surface ist eine steife Fläche, daher ist die Basisfläche am Bug offen. Sie muss durch eine Bugrundung geschlossen werden. Siehe hierzu den Artikel *“On the rounding of bows, sterns...”*.

Um den tangentialen Einlauf der C-spline Lofted Surface in das parallele Mittelschiff zu bewerkstelligen, werden die „beplankenden“ Kurven (d. h. C-spline Curves) an ihrem Ende durch Positionierung von **mc7** sehr nahe an **mc8** festgeklammert. **Mc7** ist eine Copy Curve von **mc8** im Abstand von nur 0,2 m.



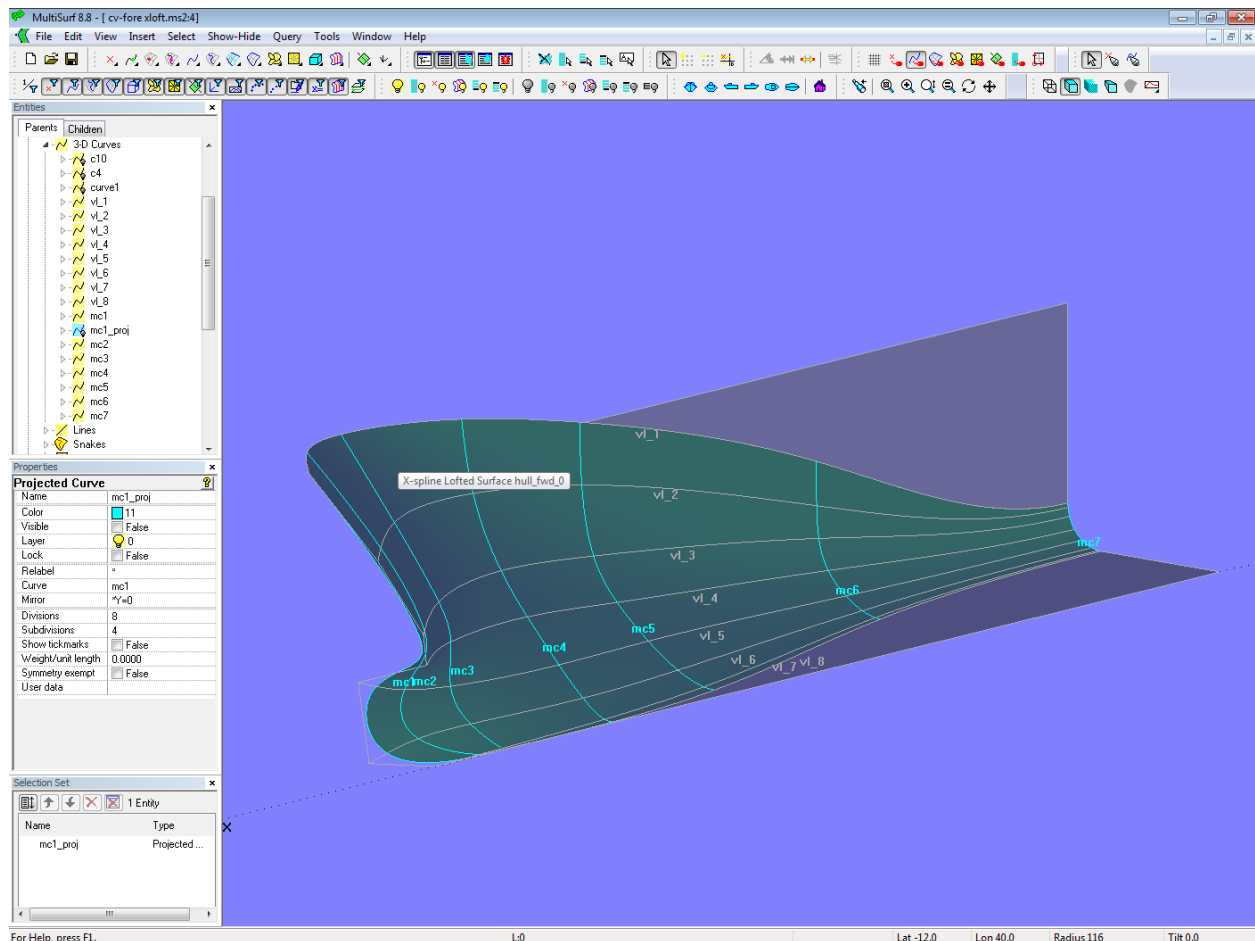
Modell *cv-fore-cloft.ms2* - C-spline Lofted Surface; um den tangentialen Einlauf in das Mittelschiff zu erzwingen, spannen 2 Mcs in engem Abstand die Fläche ein.

Im Gegensatz zur B-spline Curve wird die t-Parameterverteilung einer C-spline Curve nicht durch die Position ihrer Cps beeinflusst. Zwei dicht nebeneinander liegende Kontrollpunkte (Kurve) oder Masterkurven (Fläche) wirken sich darum nicht negativ aus. Die natürliche Parametrisierung ist annähernd gleichförmig bezüglich der Bogenlänge der C-spline Curve.

X-spline Lofted Surface

Wie bei der C-spline Lofted Surface interpoliert die X-spline Lofted Surface ihre Mcs, bietet aber zusätzlich eine explizite Kontrolle über die Steigung oder die Krümmung an ihrer Vorderkante (erste Mc) und Hinterkante (letzte Mc).

Modell *cv-fore-xloft.ms2* zeigt ein Beispiel für diese Flächenart. Es ist im Prinzip das gleiche Modell wie zuvor, aber ohne die nahe vor der letzten Mc (**mc8**) angeordnete Kontrollkurve (**mc7**).



Modell cv-fore-xloft.ms2 - X-spline Lofted Surface mit tangentialen Einlauf in das Mittelschiff

Mit der X-spline Lofted Surface läßt sich der tangentiale Einlauf der gekrümmten Rumpffläche in das parallele Mittelschiff auf einfache Weise fest verdrahten.

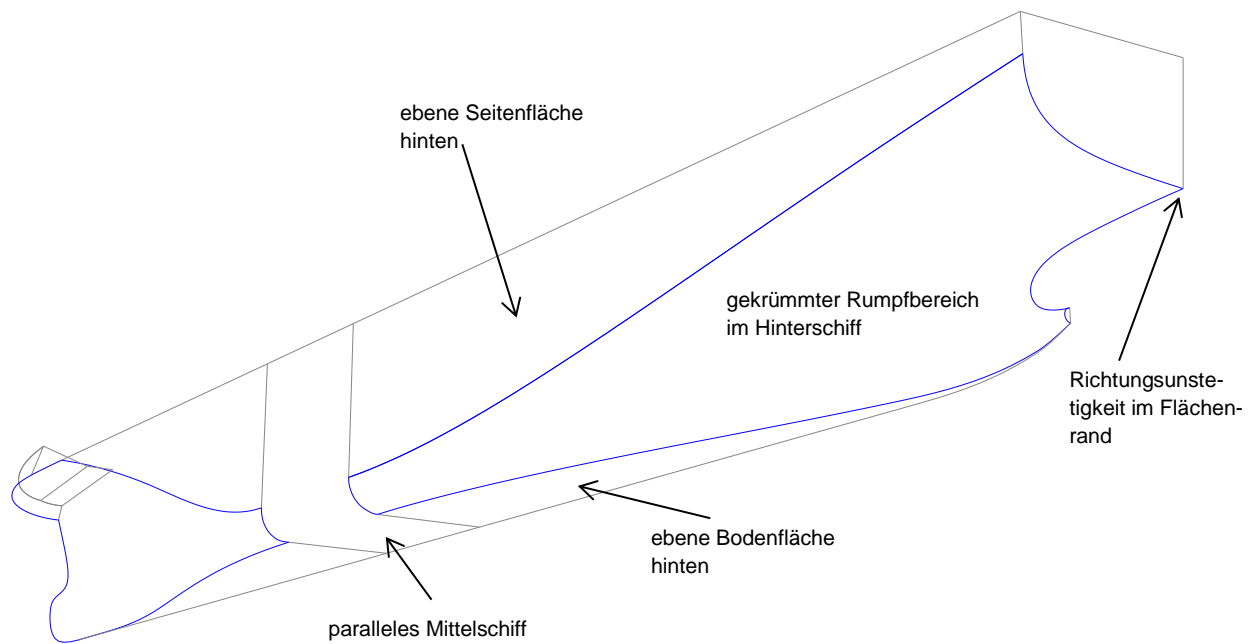
B-spline Surface, NURBS Surface

Bei einer B-spline Lofted Surface mit B-spline-Masterkurven gleichen Grades und der gleichen Anzahl von Cps - wie im Beispiel *cv-fore-bloft.ms2*, das oben behandelt wurde - kann die identische Geometrie nur mit den Kontrollpunkten durch eine B-spline Surface erstellt werden. Die Erzeugung der Masterkurven könnte man sich so sparen, aber die visuelle Hilfe der Mcs der Flächenart B-spline Lofted Surface würde fehlen.

Eine NURBS-Surface mit dem Gewicht aller Cps gleich 1 ist identisch mit einer B-spline Surface, sofern sie in den entsprechenden Graden in u- und v-Richtung übereinstimmen. Die zusätzliche Möglichkeit, Gewichte zu definieren, erhöht die Anzahl der Optionen. Soll man eine Kurve mit 6 Cps und Gewicht = 1 erzeugen, oder besser mit nur 3 Cps, aber verschiedenen Gewichtswerten? Um eine strakende Fläche zu erreichen, müssen nicht nur die Cps regelmäßig im Raum positioniert werden, es müssen auch die Punktgewichte gut proportioniert sein. Was Gelegenheit für viel Probiererei bietet.

2 Hinterschiff

Wie beim Vorschiff muß die gekrümmte Fläche des Hinterschiffs tangential an ihre Nachbarflächen – Seite, Boden, Mittelschiff – anschließen. Die oben erläuterten Methoden können hier entsprechend verwendet werden.

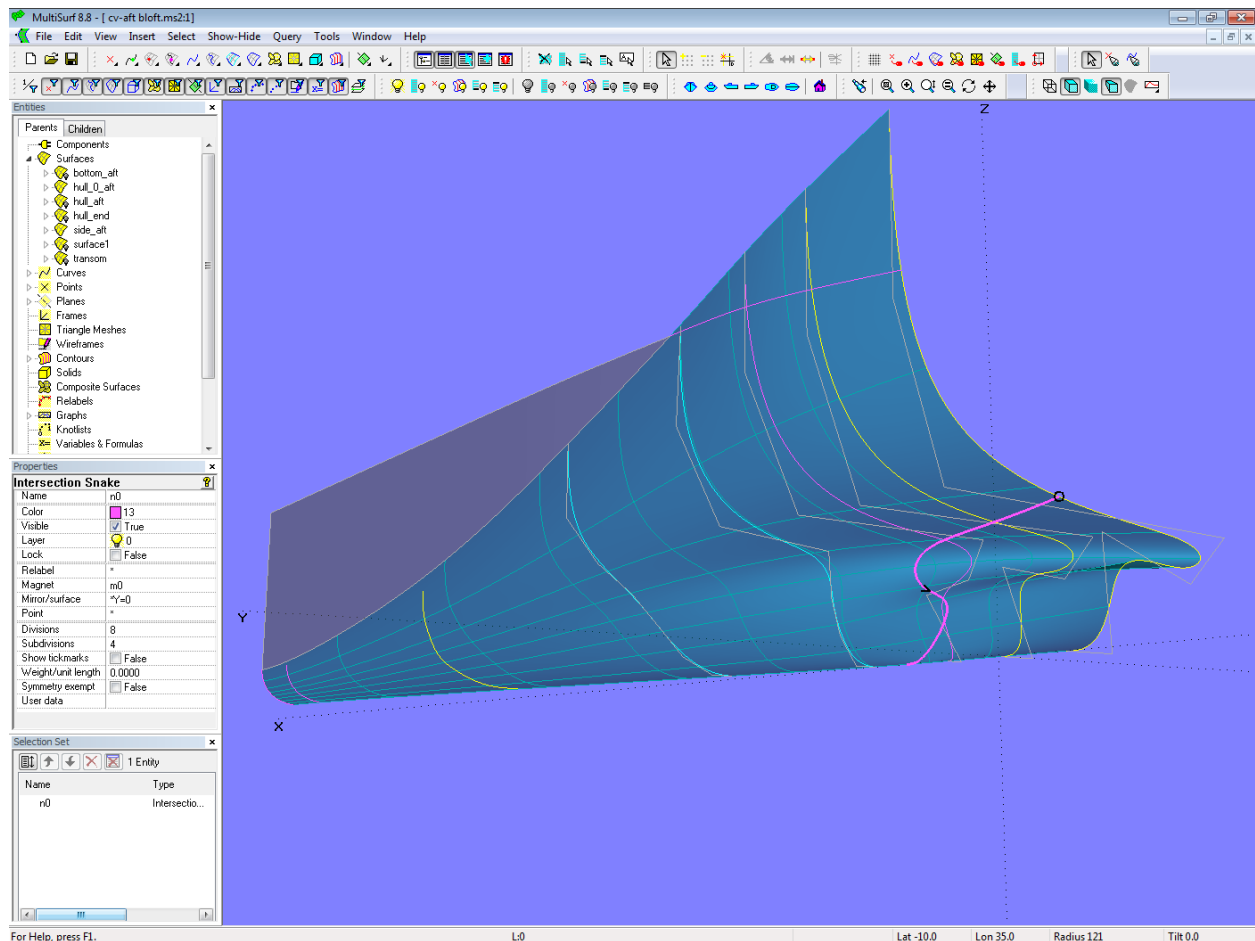


Hinterschiff - gekrümmte und ebene Flächenbereiche

Allerdings gibt es eine weitere Richtungsunstetigkeit in der Hinterkante der Rumpffläche, dort, wo sich Spiegel und Hecküberhang treffen.

B-spline Lofted Surface

Modell *cv-aft-bloft.ms2* zeigt ein Beispiel für eine B-spline Lofted Surface mit B-spline-Mcs.

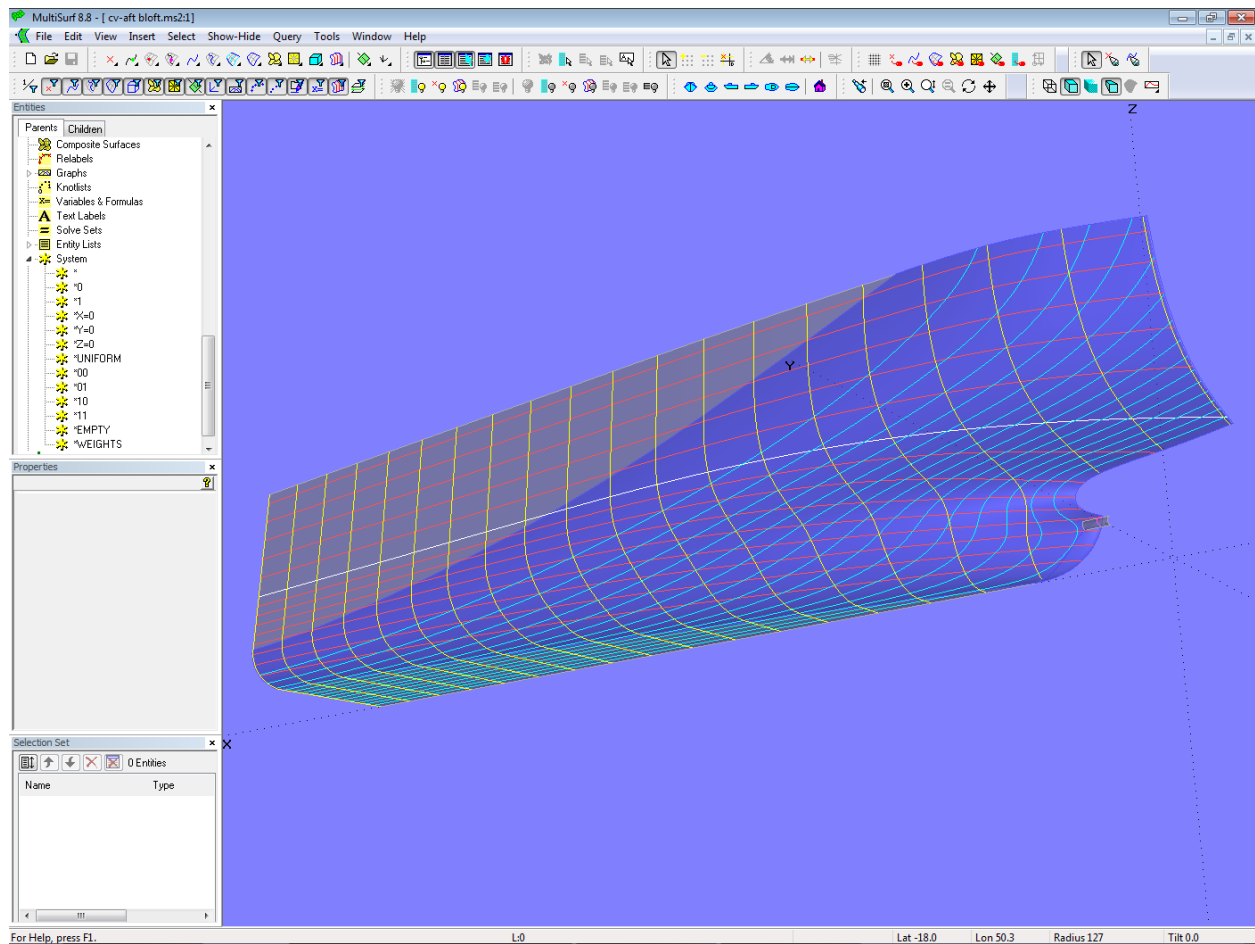


Modell cv-aft-bloft.ms2 - Anordnung der Masterkurven

Die Heckfläche wird von 8 Mcs gestützt, jede durch 8 Cps definiert. Der vertikale Start und das horizontale Ende des Mcs wird durch eine entsprechende Position von cp1, cp2 und cp8, cp9 erreicht. **Mc7** ist eine Kopie von **mc8**, darum läuft die Fläche ohne Knick in das Mittelschiff ein.

Ein Teil der Masterkurven **mc1**, **mc2** und **mc3** verläuft auf der negativen Seite der Mittelschiffsebene. Somit ist der Hecküberhang indirekt als Schnitt der Rumpffläche mit der Mittelschiffsebene definiert. Alle Mcs enden auf der Höhe des Bodens ($Z = 0$).

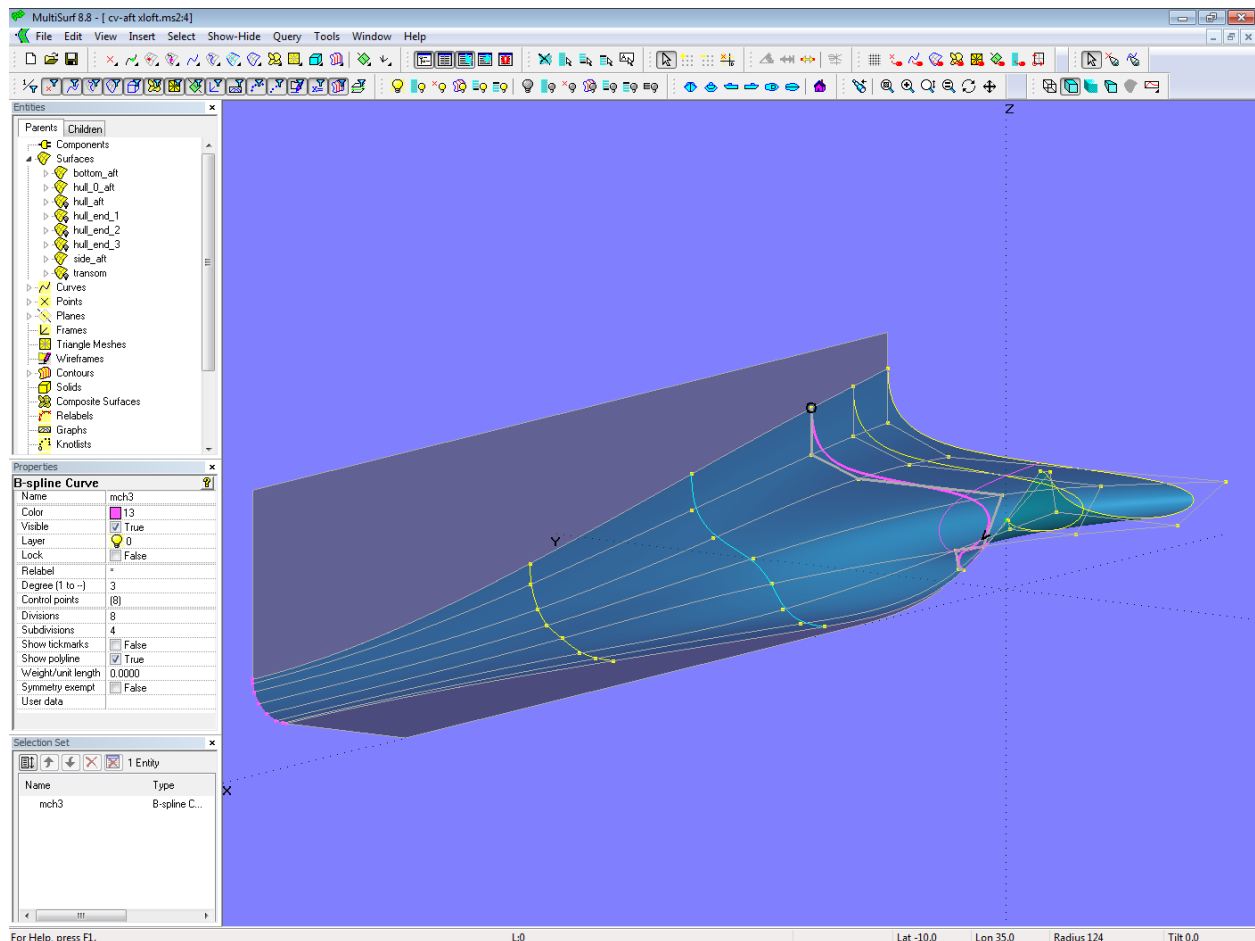
Da die Seitenfläche vor dem Heck endet, muss die Rumpffläche über Seite Deck hinaus ansteigen.



Modell cv-aft-bloft.ms2 - B-spline Lofted Surface

X-spline Lofted Surface

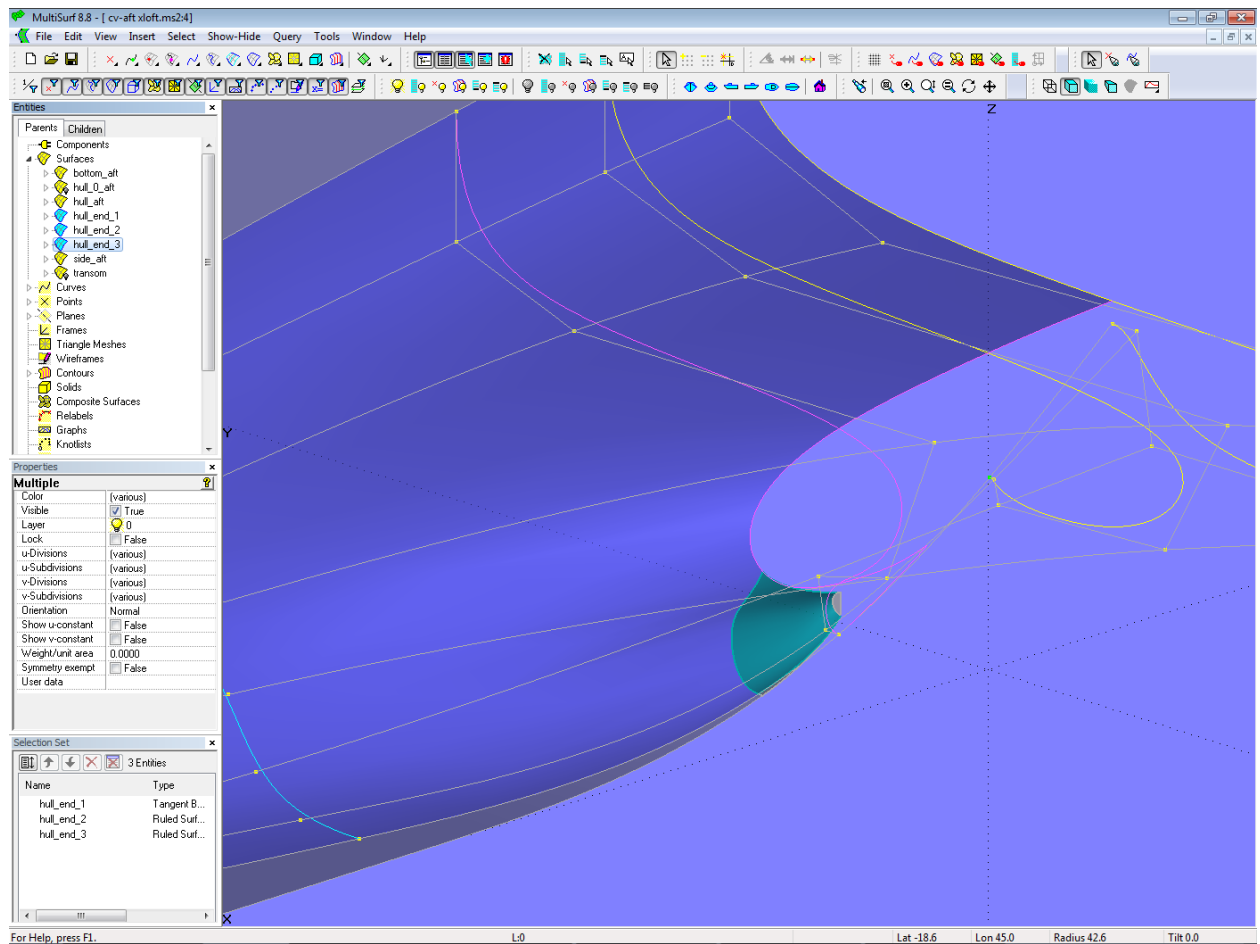
Das Modell *cv-aft-xloft.ms2* zeigt ein Hinterschiff, das durch eine X-spline Lofted Surface mit B-spline-Masterkurven definiert ist.



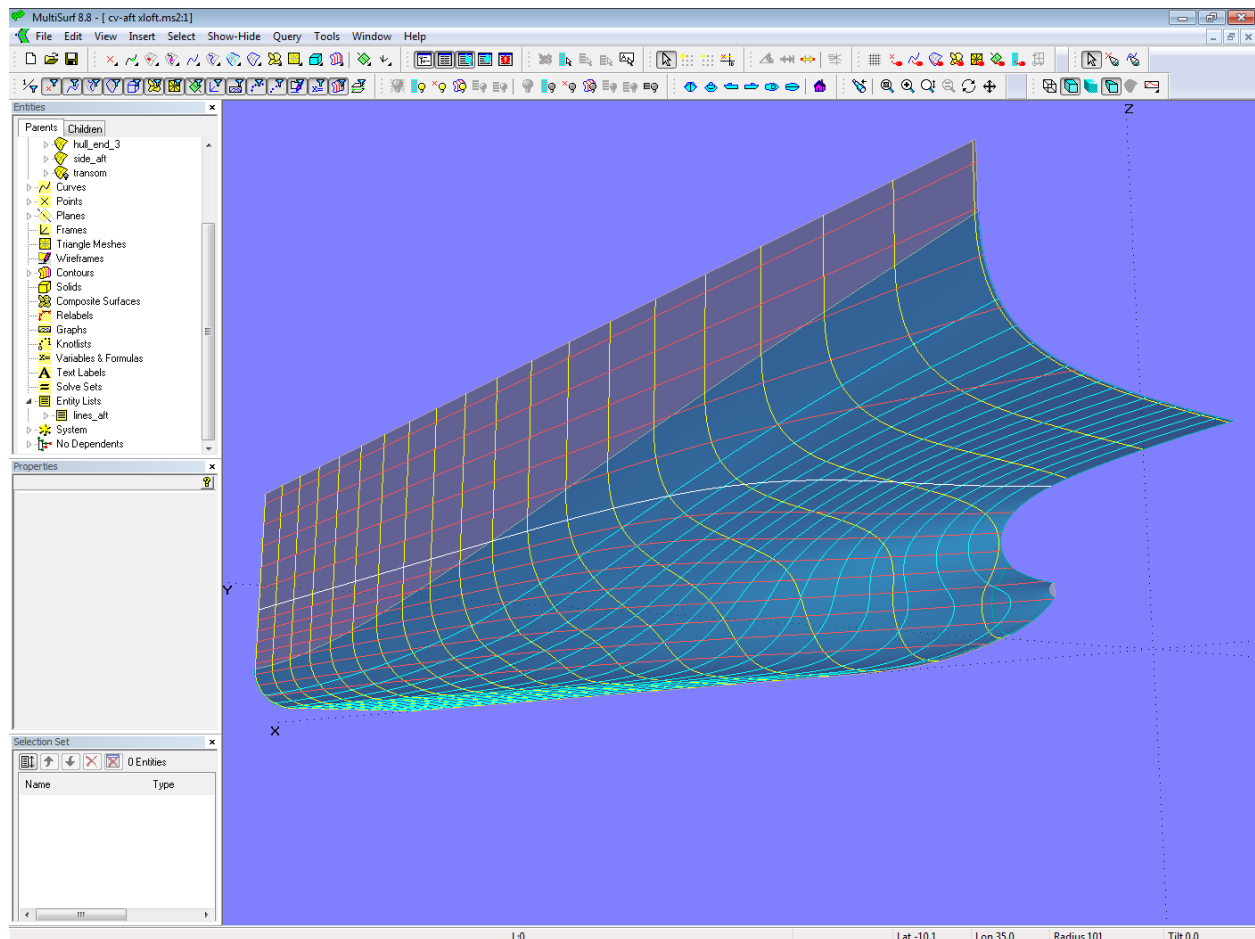
Modell cv-aft-xloft.ms2 - Anordnung der Masterkurven

Man beachte, dass die Unterkante der Rumpffläche in Richtung Heck nach oben ansteigt. Die Masterkurven enden in einer bestimmten Höhe, um die Bodenkontur im Bereich des Propellers zu bilden.

Der strakende Übergang der Rumpffläche in den Halbkreis der Propellerwelle wird durch eine Tangent Boundary Surface erreicht.



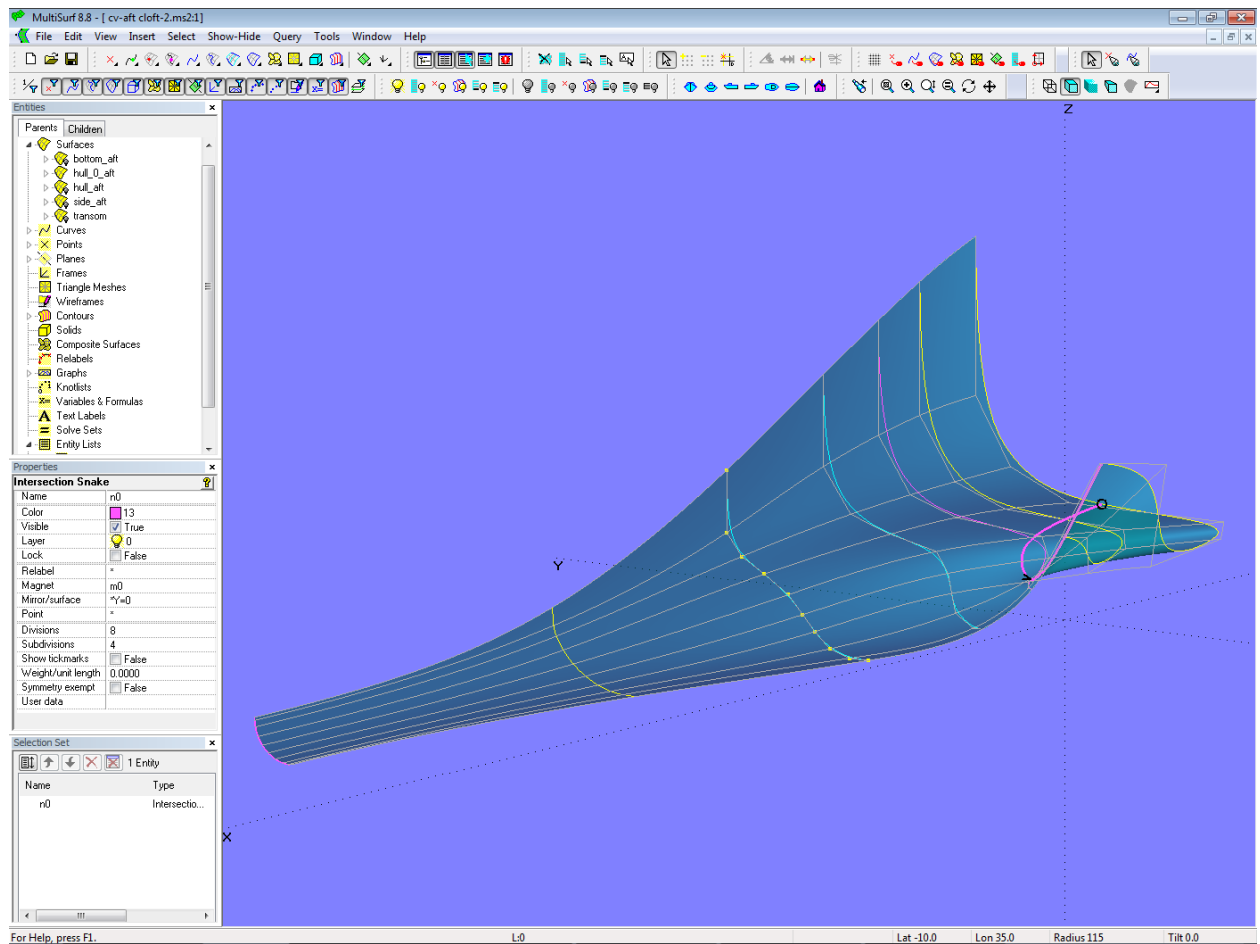
Modell cv-aft-xloft.ms2 - den Bereich vor dem Propeller bildet eine Tangent Boundary Surface.



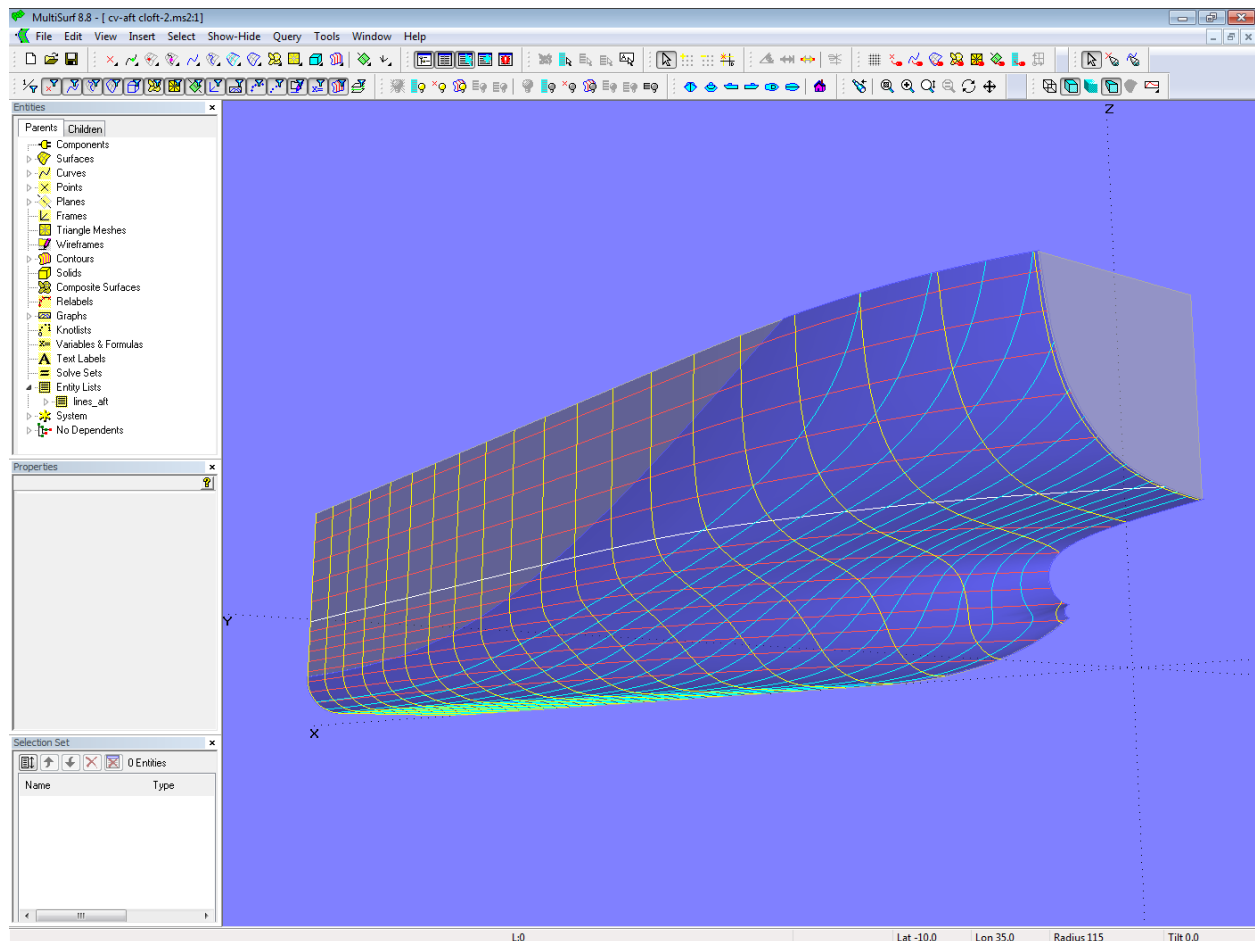
Modell cv-aft-xloft.ms2 - X-spline Lofted Surface

C-spline Lofted Surface

Da für die „lofting curves“ der C-spline Lofted Surface keine Endbedingungen anzugeben sind, muß der tangentialer Einlauf der Heckfläche in das Mittelschiff durch Einspannen der Fläche - 2 identische Mcs in engem Abstand - bewerkstelligt werden. Das Modell *cv-aft-cloft.ms2* ist ein Beispiel für diese Methode.



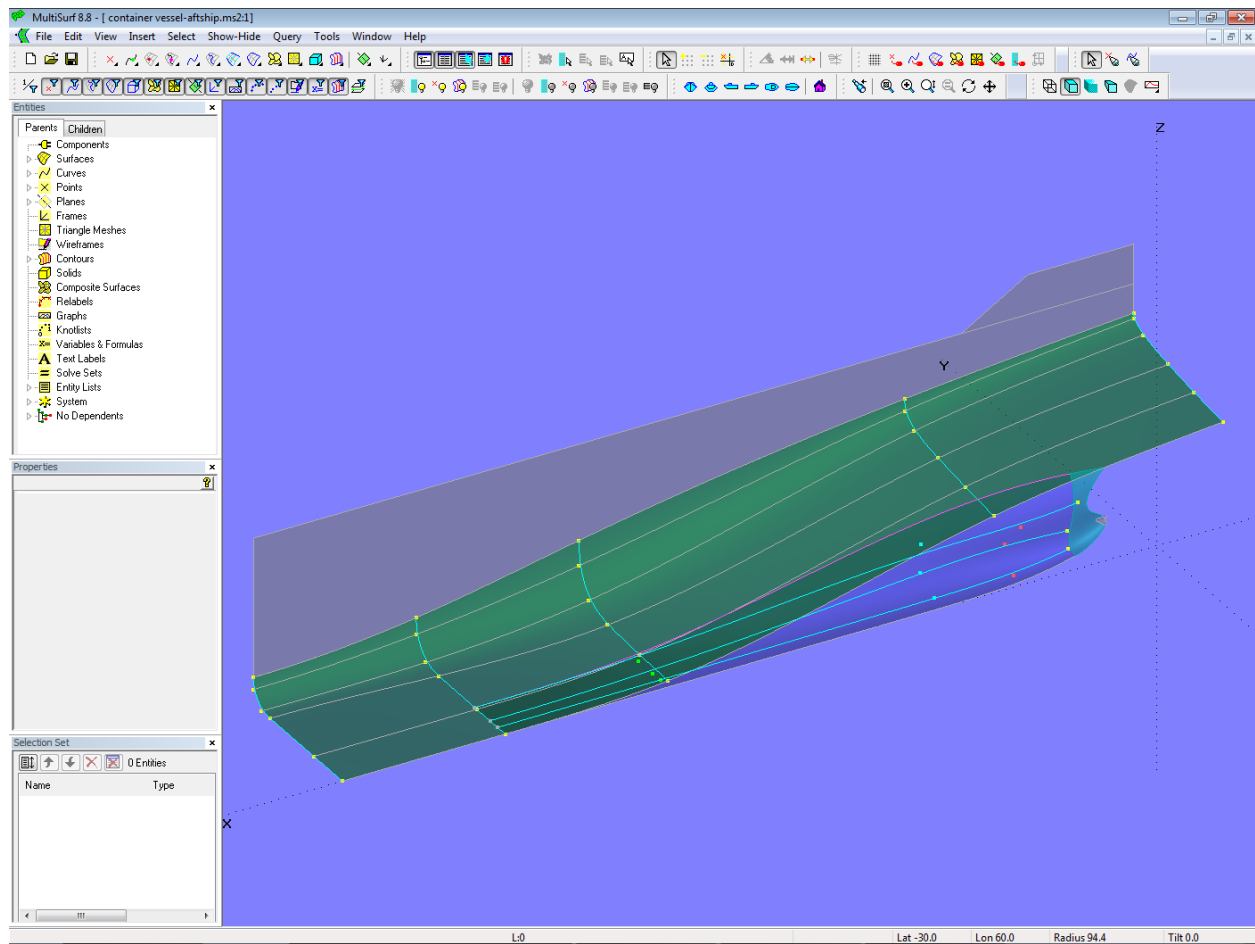
Modell cv-aft-cloft.ms2 - Anordnung der Masterkurven; die dicht nebeneinander liegenden mc7 und mc8 spannen die vordere Flächenkante ein.



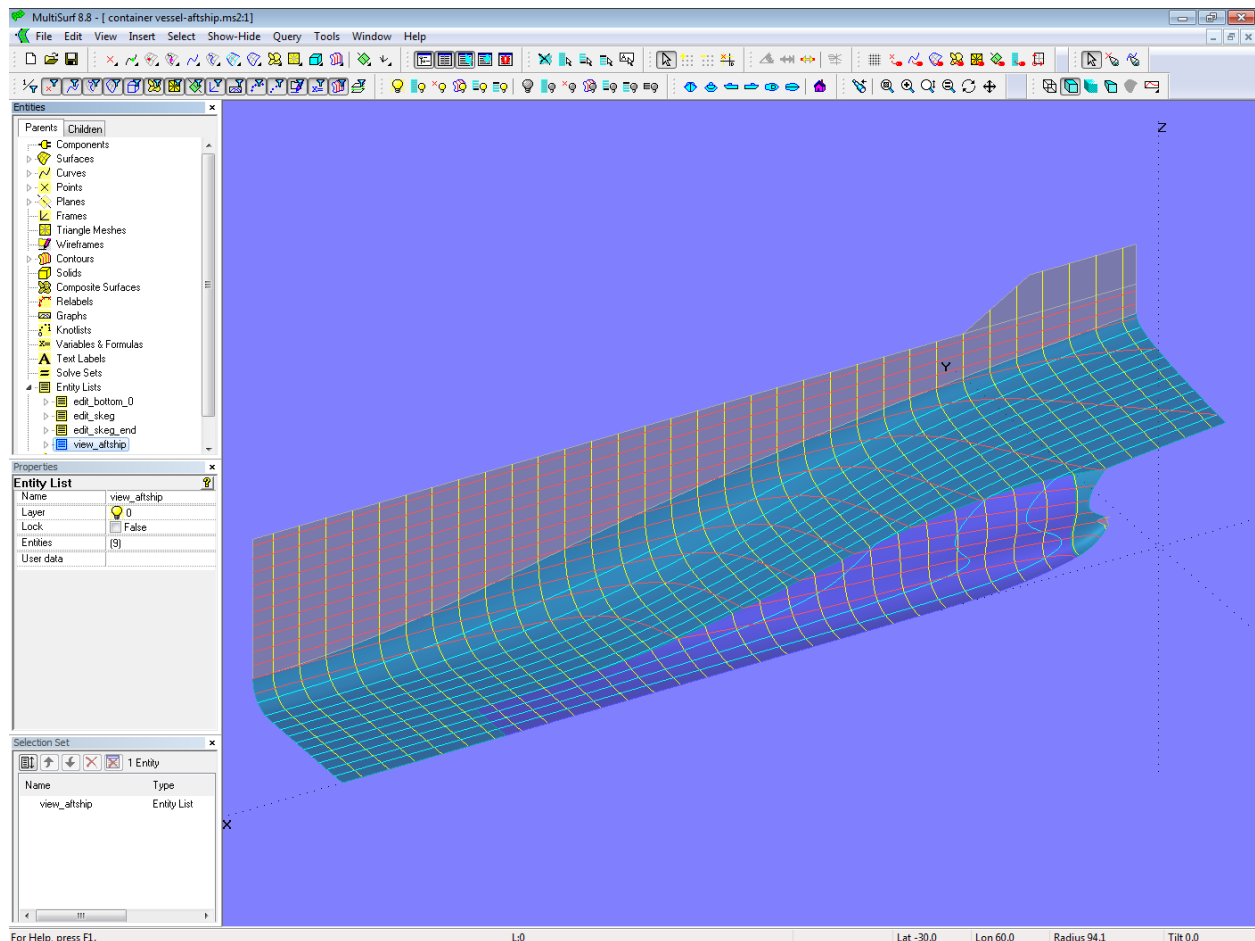
Modell cv-aft-cloft.ms2 - C-spline Lofted Surface

3 Verschiedene Themen

Bei manchen Frachtschiffen besteht der Rumpf des Hinterschiffs nicht nur aus einer einzigen gekrümmten Fläche. Modell *container_vessel-aftship.ms2* gibt hierfür ein Beispiel. Der Haupttrumpf ist eine X-spline Lofted Surface mit B-spline-Masterkurven, die in Spantrichtung verlaufen. Der Skeg ist eine B-spline Lofted Surface mit B-spline-Mcs, die in Längsrichtung angeordnet sind, während das Skegende durch eine Tangent Boundary Surface gebildet wird.

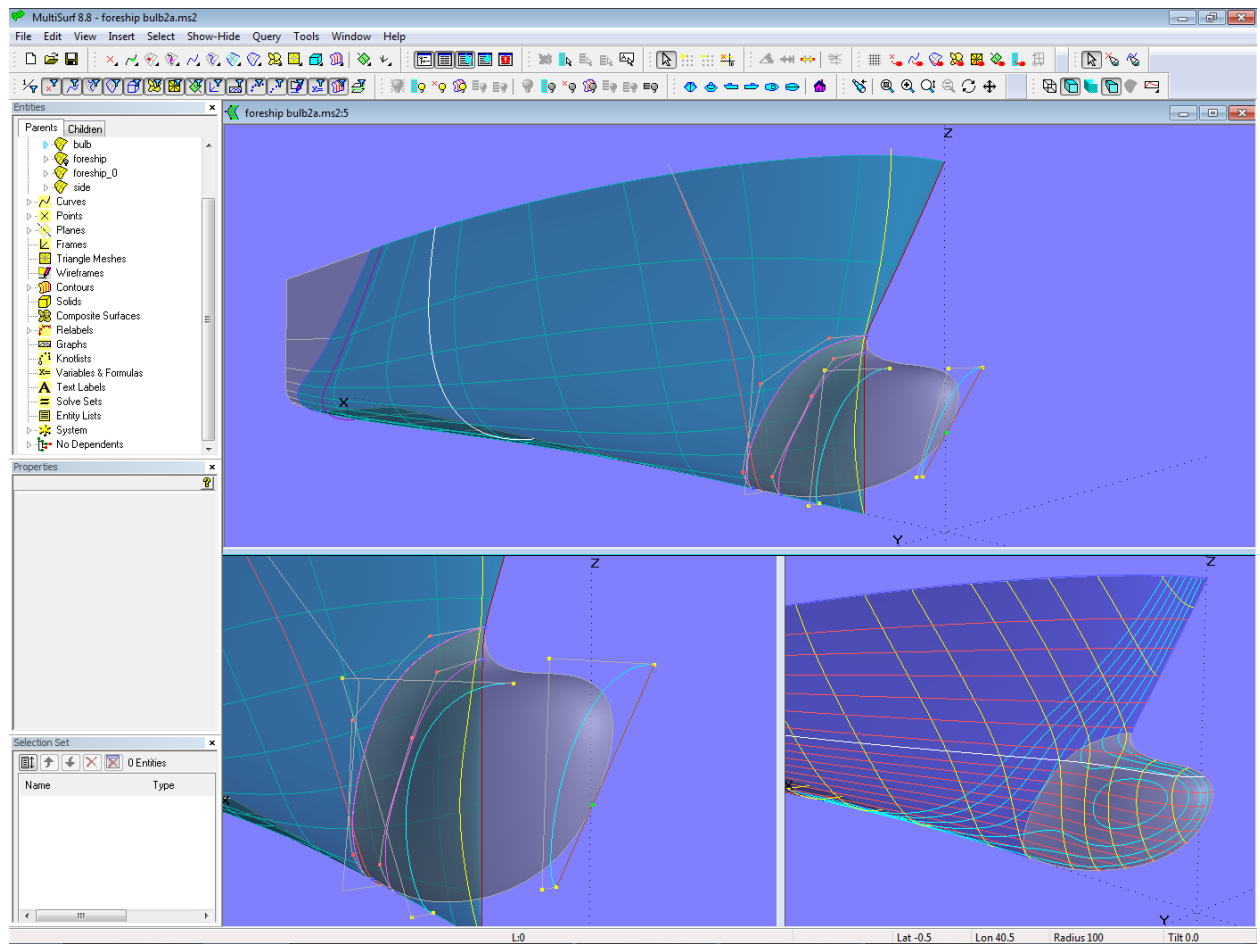


Modell container_vessel-aftship.ms2 – der Haupttrumpf ist eine X-spline Lofted Surface mit querlaufenden B-spline-Mcs; den Skeg bildet eine B-spline Lofted Surface mit B-spline-Mcs, die in Längsrichtung orientiert sind; das Ende des Skegs ist eine Tangent Boundary Surface.



Modell container_vessel-aftship.ms2 - separate Flächen für Rumpf und Skeg

Modell *foreship-bulb.ms2* zeigt, wie sich ein separat definierter Wulstbug tangential an die Basisfläche des Vorschiffs anschließen läßt. Der Wulstbug ist ein B-spline Lofted Surface; seine vorletzte und letzte Masterkurve sind Kurven, die auf der Vorschiffsfläche liegen (Snakes).



Modell foreship-bulb.ms2 - Anschluß eines separat definierten Wulstbuchs an die Vorschiffsfläche

=====