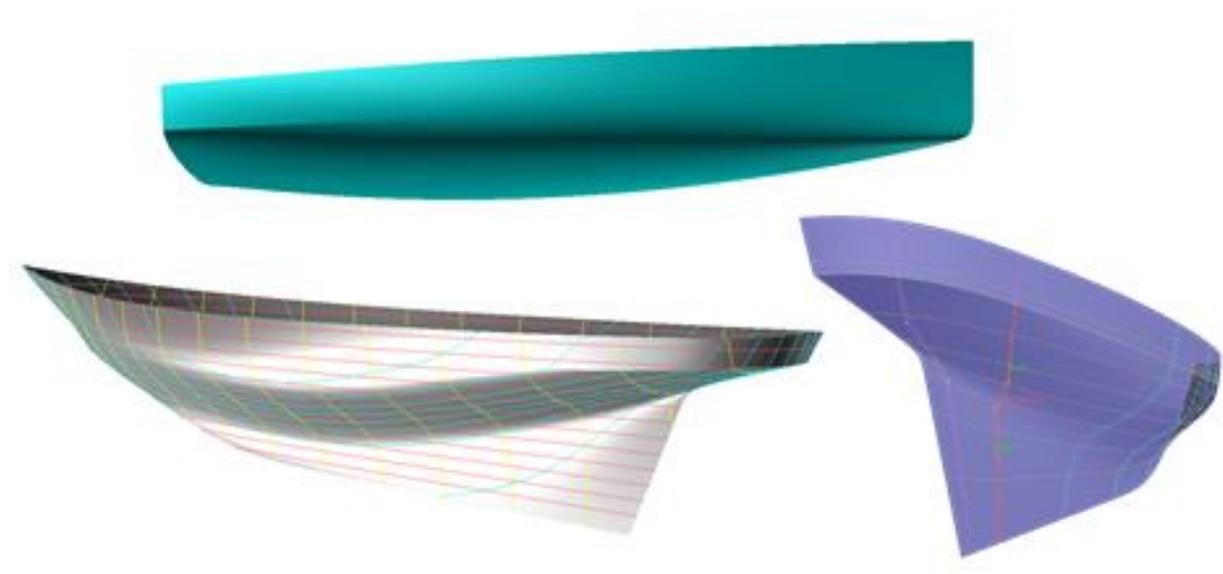


Über Rumpfformen mit auslaufendem Knick

Zwei Lösungsansätze

von Reinhard Siegel

März 2024



Inhalt

Einleitung

1 Rumpf mit Teilknick – der Zwei-Flächen-Ansatz

1.1 Masterkurven tangential verbunden

1.2 Masterkurven aufteilen in SubCurves

2 Rumpf mit Teilknick – der Eine-Fläche-Ansatz

3 Beispiele

3.1 Segelschiffsrumpf – rundes Heck mit auslaufendem Knick

3.2 Motorbootrumpf – auslaufender Knick im Vorschiff

4 Zusammenfassung

5 Anhang – die Vertexkurven-Methode

Einleitung

Die Form von Schiffs- und Bootsrümpfen ist vielfältig. Dabei verändern Spanten, also Querschnitte durch die Rumpffläche, harmonisch ihre Form von Bug bis Heck. Ihrerseits können Spanten selbst durchaus einen un stetigen Verlauf in ihrer Form aufweisen. Sollen beispielsweise bei einem Motorbootsrumpf die Spanten im Vorschiffsbereich stark ausfallen, kann mit einem Knick im Spantverlauf verhindert werden, dass das Deck übermäßig breit wird. Gleiches gilt für Segelbootsrümpfe, hier im Heckbereich. Verbindet man diese Knickpunkte der Spanten, so entsteht eine in Längsrichtung des Rumpfes verlaufende Knickkurve. Je nach Bootstyp kann die Knickkurve relativ nah am oberen Rand des Rumpfes verlaufen oder im Spantgurtmaß deutlich tiefer liegen.

Eine Knickkurve kann sich von Bug bis Heck über die gesamte Rumpflänge erstrecken. Dann ändert sich in Längsrichtung allmählich die unterschiedliche Richtung in der Spantkurve in der Umgebung ihres Knickpunktes, verschwindet aber nicht ganz.

Eine Knickkurve kann aber auch nur in einem bestimmten Rumpfbereich auftreten. Dann verschwindet allmählich die Unstetigkeitsstelle in der Spantkurve und die Spanten verlaufen glatt.

Einen Rumpf mit durchgehendem Knick zu modellieren ist einfacher als einen Rumpf mit Teilknick. In Tutorium 2, *Rundspantrumpf mit durchlaufendem Knick*, wird erstere Konstruktionsausgabe behandelt. In Tutorium 3, *Rundspantrumpf mit auslaufendem Knick*, wird ein Verfahren vorgestellt, wie ein Rumpf mit einem Teilknick im Heck erzeugt werden kann (in Tutorium 22, *Drei Konstruktionsaufgaben*, wird die gezeigte Methode für einem Katamaranrumpf angewendet).

Im vorliegenden Tutorium werden weitere Verfahren erörtert, wie man unterschiedliche Rumpfformen mit einem Teilknick modellieren kann.

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-Bezeichnungen für Punkt-, Kurven- und Flächenarten verwendet. Das ergibt zwar „denglische“ Sätze, soll aber dem Verständnis und der Nachvollziehbarkeit dienen.

1 Rumpf mit Teilknick – der Zwei-Flächen-Ansatz

Beim Zwei-Flächen-Ansatz wird die Knickkurve verlängert, so dass sie sich über die gesamte Rumpflänge erstreckt. Sie verläuft also auch in einem Bereich, in dem die Spanten keinen Knickpunkt haben, sondern glatt verlaufen.

Entlang der Knickkurve wird der Rumpf in eine obere Fläche und eine untere Fläche aufgeteilt. Um diese beiden Flächen zu erzeugen, gibt zwei Möglichkeiten:

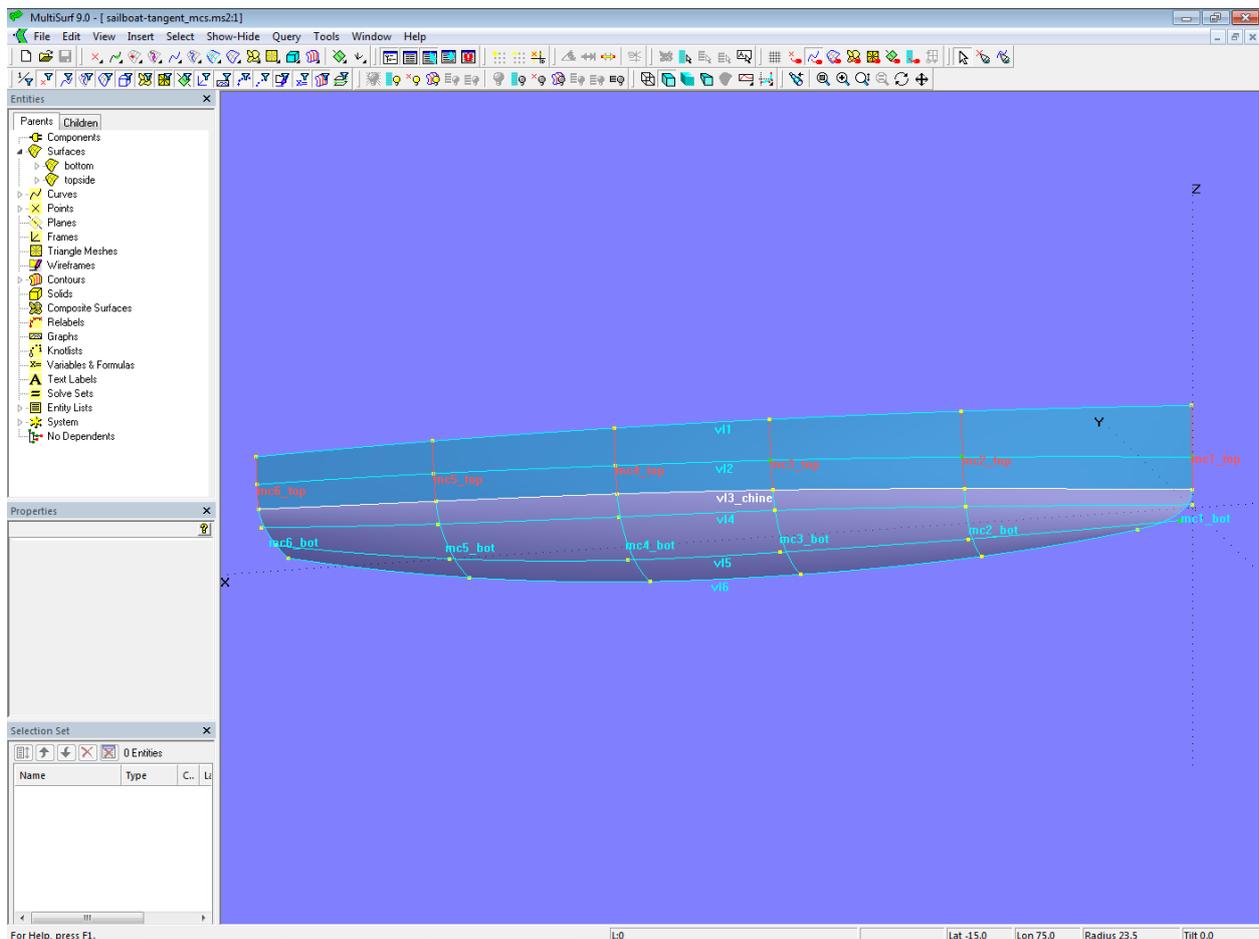
- Masterkurven tangential verbinden
- Masterkurven aufteilen in SubCurves

1.1 Masterkurven tangential verbinden

Da diese Methode bereits in Tutorium 3 beschrieben wird, soll das wesentliche Vorgehen am Beispiel des Modells *sailboat-tangent_mcs.ms2* kurz zusammengefaßt werden. Beide Flächen sind C-spline Lofted Surfaces (**topside**, **bottom**), die von der gleichen Anzahl Masterkurven (Mcs) gestützt werden. Alle Mcs sind B-spline Curves mit gleichem Grad („Degree“). Die Mcs für eine Fläche haben die gleiche Anzahl Kontrollpunkte (Cps). Der letzte Cp einer Seiten-Masterkurve ist gleichzeitig der erste Cp der korrespondierenden Boden-Mc. Die Mcs für Seite und Boden sind also separate B-spline-Kurven, berühren sich aber.

Im hinteren Bereich des Rumpfes, wo die Spanten einen Knickpunkt aufweisen sollen, stoßen die Mc-Paare von Seite und Boden mit unterschiedlicher Tangentenrichtung aneinander. Im vorderen Rumpfbereich, wo die Spanten glatt verlaufen sollen, berühren sich die Mcs tangential.

Anders als in Tutorial 3 wird in Modell *sailboat-tangent_mcs.ms2* für die tangentielle Verbindung das Objekt *Tangent Point* verwendet. Dazu ist auf jeder der vorderen Mcs für die Fläche **bottom** ein Bead am Kurvenanfang ($t = 0$) angeordnet, von dem ein Tangent Point abhängt. Mit Cp1 und diesen beiden Punkten sind jeweils die Mcs von **topside** definiert. Durch den Tangent Point ist der tangentielle Anschluß der Mcs der oberen und unteren Fläche festverdrahtet.



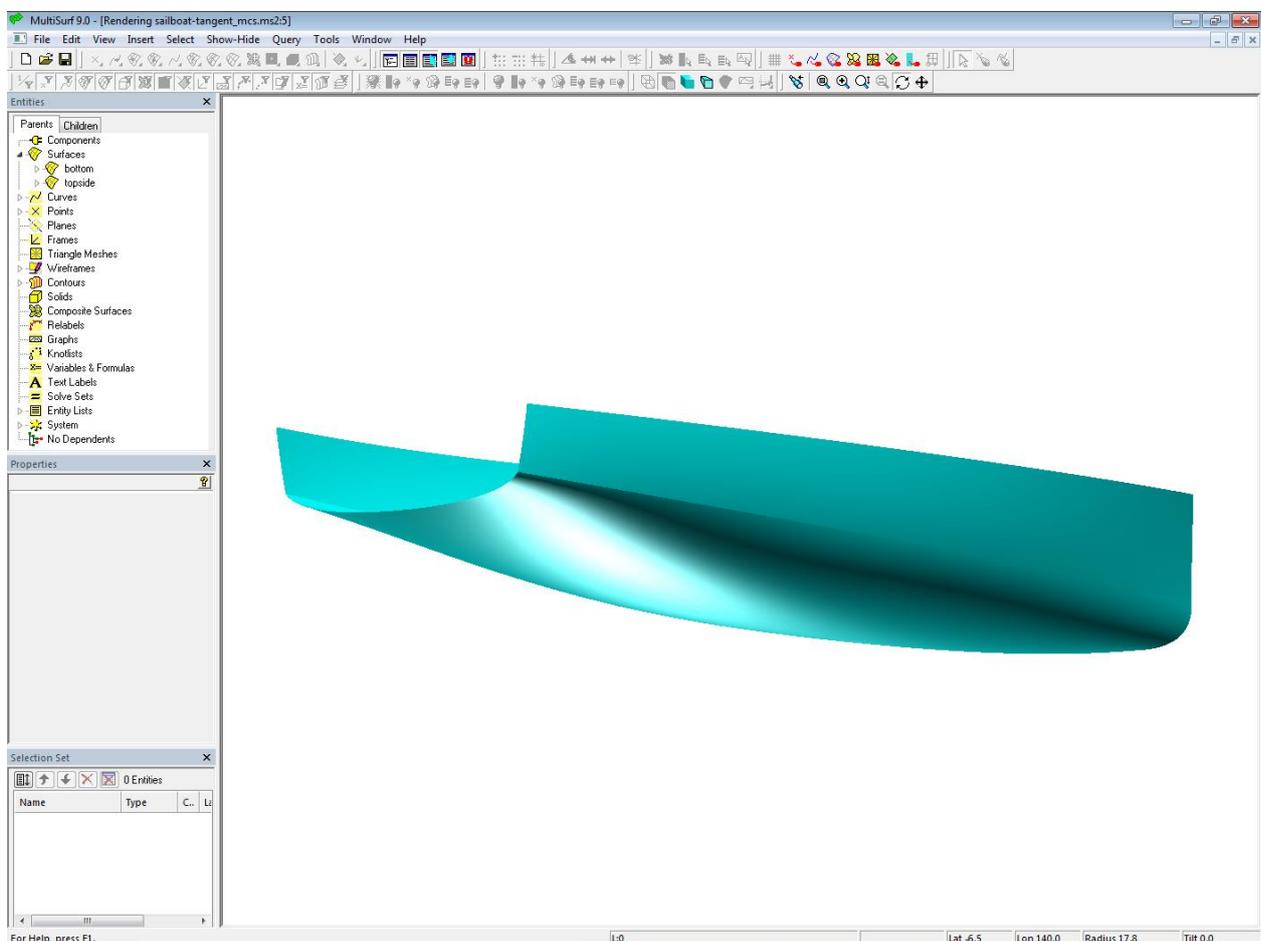
Modell *sailboat-tangent_mcs.ms2* – je 6 Mcs stützen die C-spline Lofted Surfaces **topside** und **bottom**. Im Bereich ohne Knick stoßen die Mcs für Seite und Boden tangential aneinander. Vertexkurven verbinden korrespondierende Kontrollpunkte.

Vorteil:

Bei dieser Konstruktion des Modells lässt sich die Vertexkurven-Methode zum Straken verwenden (siehe Anhang). Die Knickkurve ist gleichzeitig eine Vertexkurve (C-spline Curve [vl3_chine](#)). Ihr Verlauf wird durch die entsprechenden Cps direkt bestimmt.

Nachteil:

Im glatten Rumpfbereich (ohne Knick in den Spanten) stoßen die Mcs für Seite und Boden im Verbindungspunkt zwar mit gleicher Tangentenrichtung aneinander, aber die Krümmung kann unstetig sein. Zur Kontrolle des Krümmungsverlaufs kann man ein korrespondierendes Mc-Paar zu einer PolyCurve zusammensetzen und sich deren Curvature Profile über View/ Display/ Profile/ Curvature (oder Toolbar-Schaltfläche) anzeigen lassen.



Modell *sailboat-tangent_mcs.ms2* – auslaufender Knick im Heck

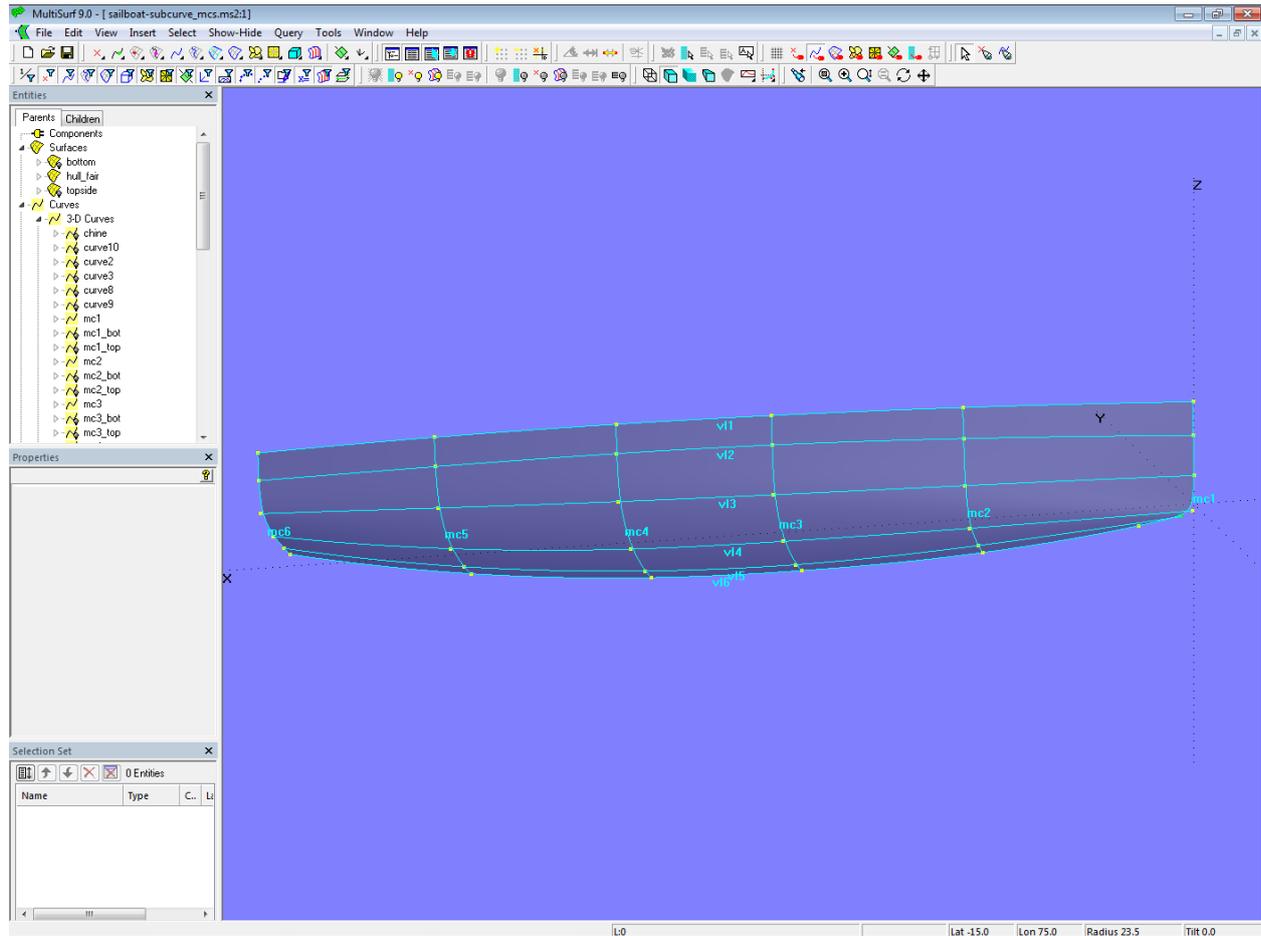
1.2 Masterkurven aufteilen in SubCurves

Wäre es nicht auch möglich, im Bereich ohne Knick von Rumpfoberkante bis zur Bodenkontur durchgehende Mcs zu verwenden, diese aber dann in je 2 SubCurves zu teilen? Dann stoßen die Mcs für Seite und Boden im Verbindungspunkt sowohl mit gleicher Tangentenrichtung als auch gleicher Krümmung aneinander. In Modell *sailboat-subcurve_mcs-0.ms2* wird dies ausprobiert.

Basisrumpf

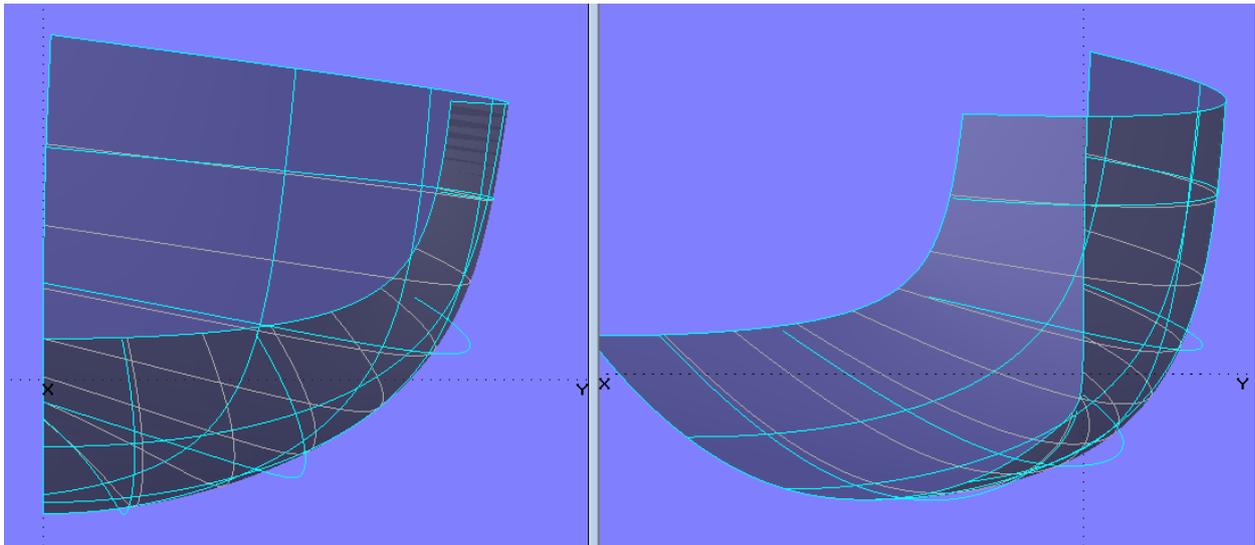
Ein Rumpf mit Teilknick ist nicht allzu weit von einem glatten Rumpf entfernt. Der Bereich ohne Knick ist größer als der Bereich mit Knick. Darum liegt es nahe, zunächst als Ausgangspunkt einen glatten Rumpf zu modellieren, der bis auf den auslaufenden Knick die gewünschte Form aufweist. Dabei kann die Vertexkurven-Methode angewendet werden, so dass korrespondierende Cps harmonisch in Längsrichtung des Rumpfes ihre Position ändern und dadurch auch die u-Parameterkurven straken. Die Mcs haben dann untereinander eine ähnliche Parameterverteilung, die sie auf Teilkurven (SubCurves) vererben. Näheres zur Vertexkurven-Methode siehe Anhang.

Basisfläche ist die C-spline Lofted Surface `hull_fair`, definiert mit 6 B-spline-Mcs und jeweils 6 Cps. Zum Straken von `hull_fair` wird die Vertexkurven-Methode mit den C-spline Curves `vl1` bis `vl6` verwendet.



Modell `sailboat-subcurve_mcs-0.ms2` – die C-spline Lofted Surface `hull_fair` ohne Knick wird von 6 Mcs gestützt. Korrespondierende Kontrollpunkte sind durch Vertexkurven als Strakhilfe verbunden.

Straken die Vertexkurven, straken auch die u-Parameterkurven (Lofting Curves) und damit die Fläche.

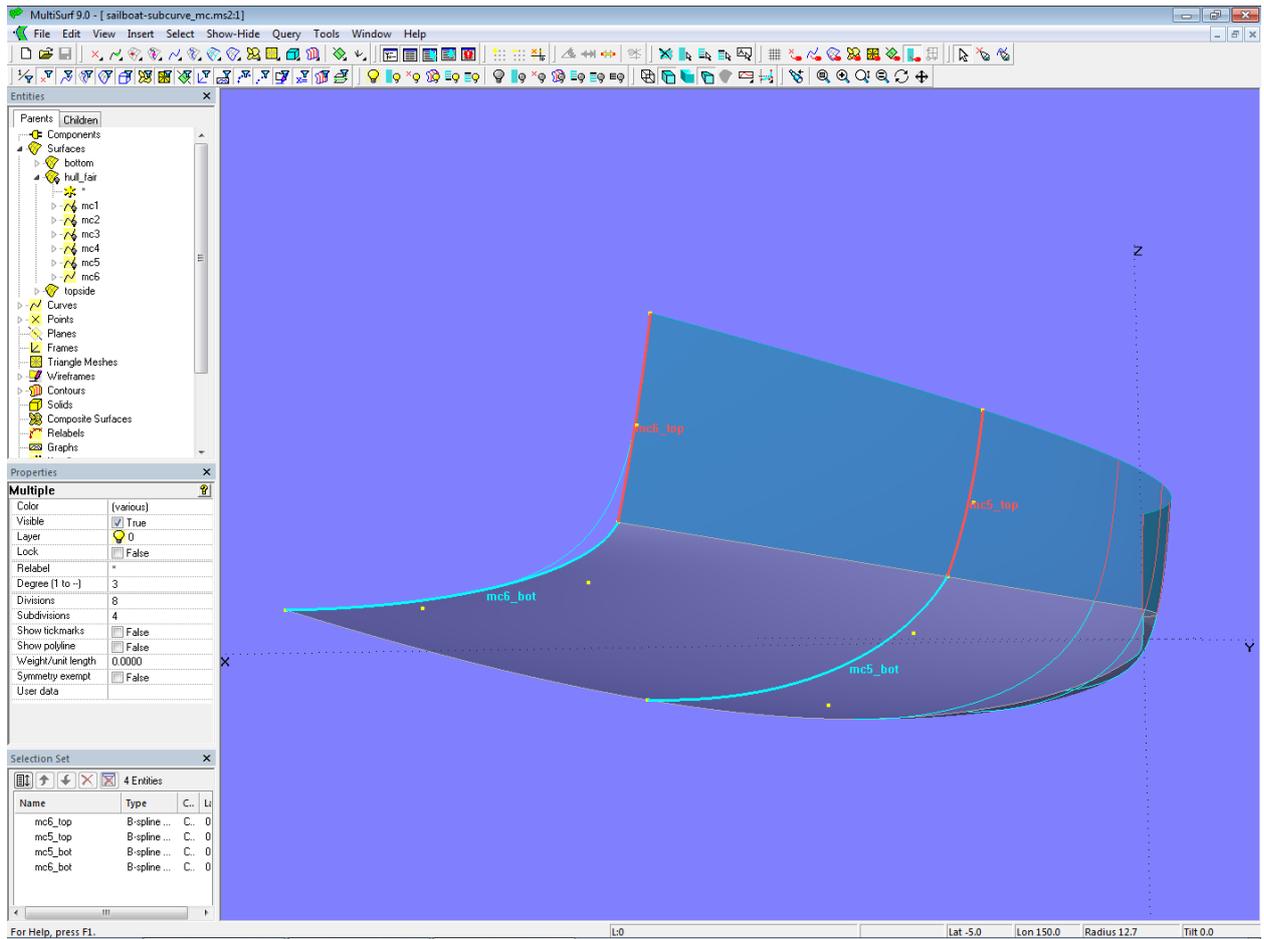


Modell *sailboat-subcurve_mcs-0.ms2* – Vertexkurven und u-Parameterkurven (Lofting Curves) der C-spline Lofted Surface *hull_fair*

Vordere Masterkurven teilen

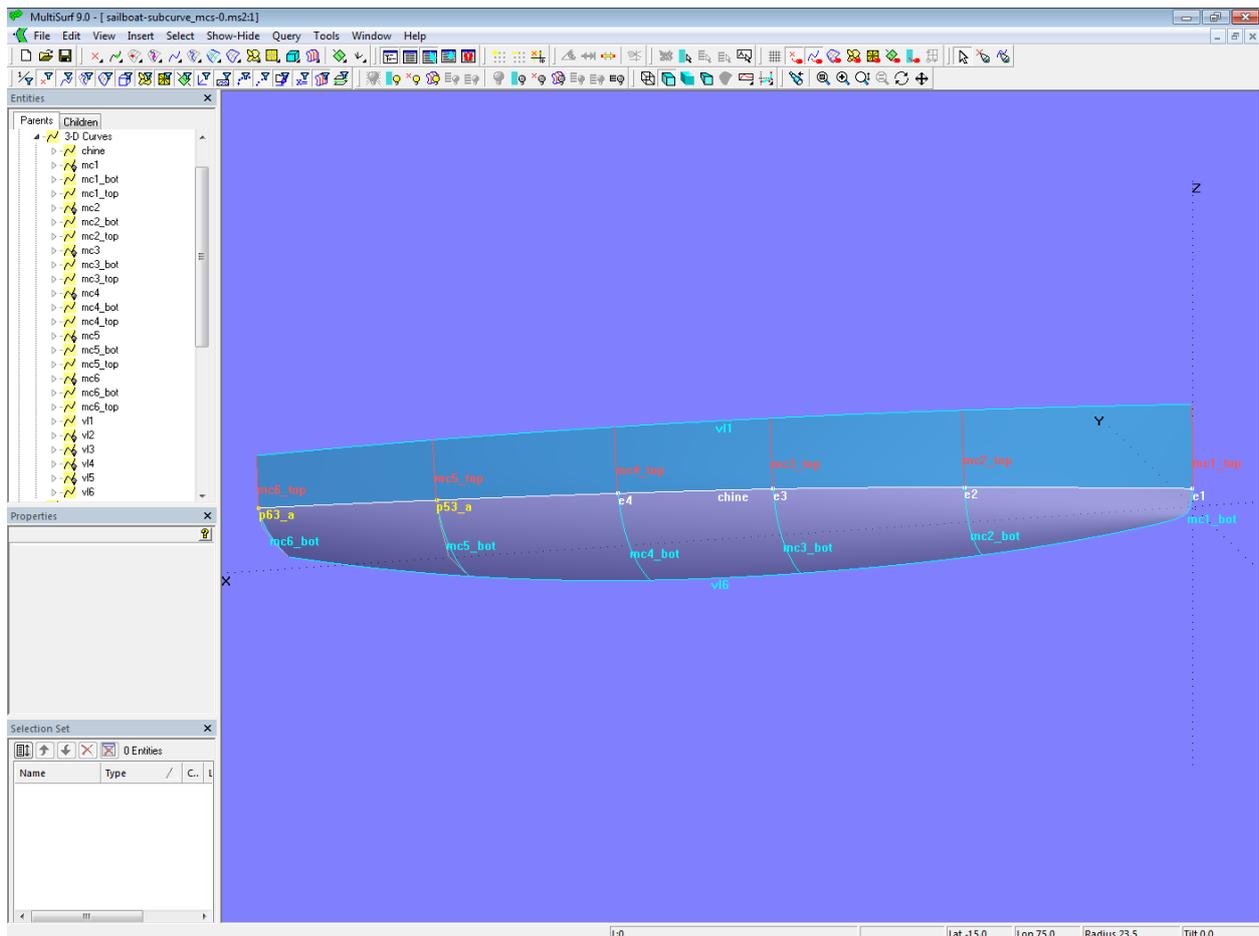
Die vorderen Mcs dieser Basisfläche werden nun geteilt, um die Mcs für die Seiten- und Bodenfläche im Rumpfbereich ohne Knick zu erzeugen. Je ein Bead (*e1* bis *e4*) wird auf die 4 vorderen Mcs (*mc1* bis *mc4*) gesetzt und mit diesen die SubCurves *mc1_top*, *mc1_bot*, *mc2_top*, *mc2_bot* etc. bestimmt. Mit den Beads und den beiden freien Punkten *p53_a* und *p63_a* an der X-Position von *mc5* und *mc6* wird dann die Knickkurve *chine* als C-spline Curve definiert. Im Gegensatz zu Modell *sailboat-tangent_mcs.ms2* entspricht die Knickkurve *chine* nicht mehr der Vertexkurve *vl3*.

Die hinteren Mcs im Knickbereich (*mc5_top*, *mc5_bot* sowie *mc6_top* und *mc6_bot*), die den Rumpf nach außen und unten „ausbeulen“, werden aus dem Modell *sailboat-tangent_mcs.ms2* übernommen.



Modell sailboat-subcurve_mcs-0.ms2 – die Flächen *topside* und *bottom* werden im Heckbereich von den B-spline-Mcs *mc5_top*, *mc5_bot*, *mc6_top* sowie *mc6_bot* gestützt; sie stoßen mit einem Knick aneinander.

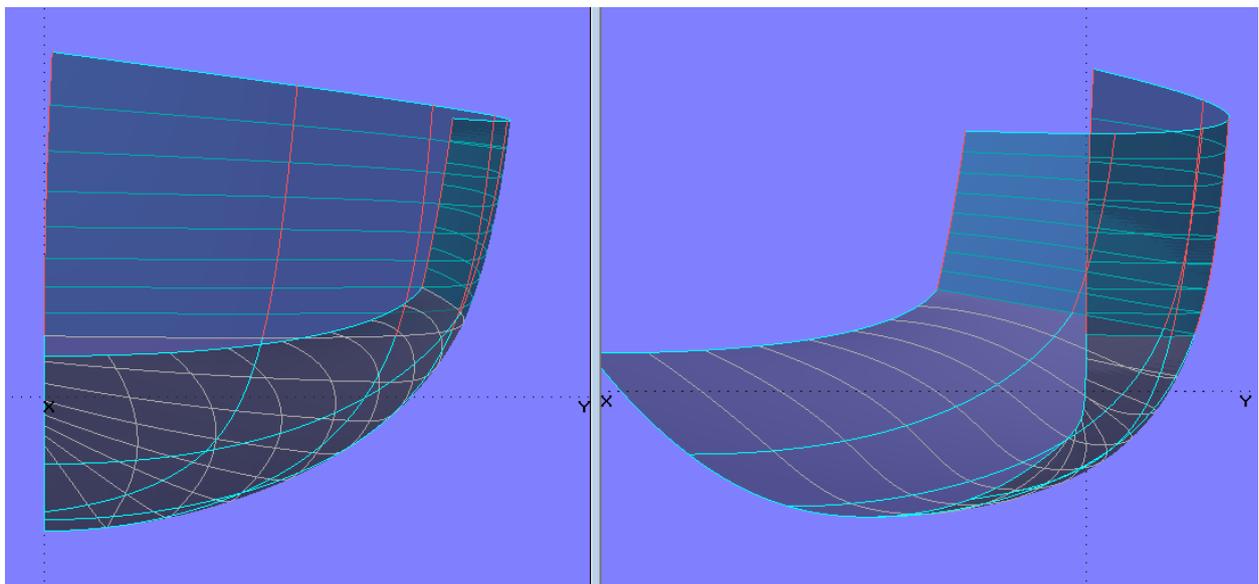
Nach dieser Vorarbeit können nun analog zu Modell *sailboat-tangent_mcs.ms2* abschließend die C-spline Lofted Surfaces *topside* und *bottom* erzeugt werden.



Modell sailboat-subcurve_mcs-0.ms2 – Masterkurven der C-spline Lofted Surfaces *topside* und *bottom*. Knickkurve ist *chine*.

Verlauf der u-Parameterkurven

Betrachten wir für den Strak der beiden Flächen *topside* und *bottom* den Verlauf ihrer u-Parameterkurven. Es ist ersichtlich, dass sie für *bottom* nicht harmonisch verlaufen. Der Grund dafür ist der Unterschied in der Parameterverteilung der hinteren Mcs (B-spline Curves) zur Parameterverteilung der vorderen Mcs (SubCurves). Die Parameterverteilung der vorderen Mcs ist ähnlich, da sie von den durchgehenden Mcs von *hull_fair* auf die SubCurves vererbt wird.



Modell sailboat-subcurve_mcs-0.ms2 – u-Parameterkurven (Lofting Curves) der C-spline Lofted Surfaces *topside* und *bottom*. Durch die unterschiedliche Parameterverteilung der Mcs im Heckbereich verlaufen die u-Parameterkurven nicht regelmäßig.

In der Praxis wird man beim Bau eines solchen Rumpfes die Planken oder Leisten entlang der hinteren Malls etwas verschieben, bis sie regelmäßig verlaufen.

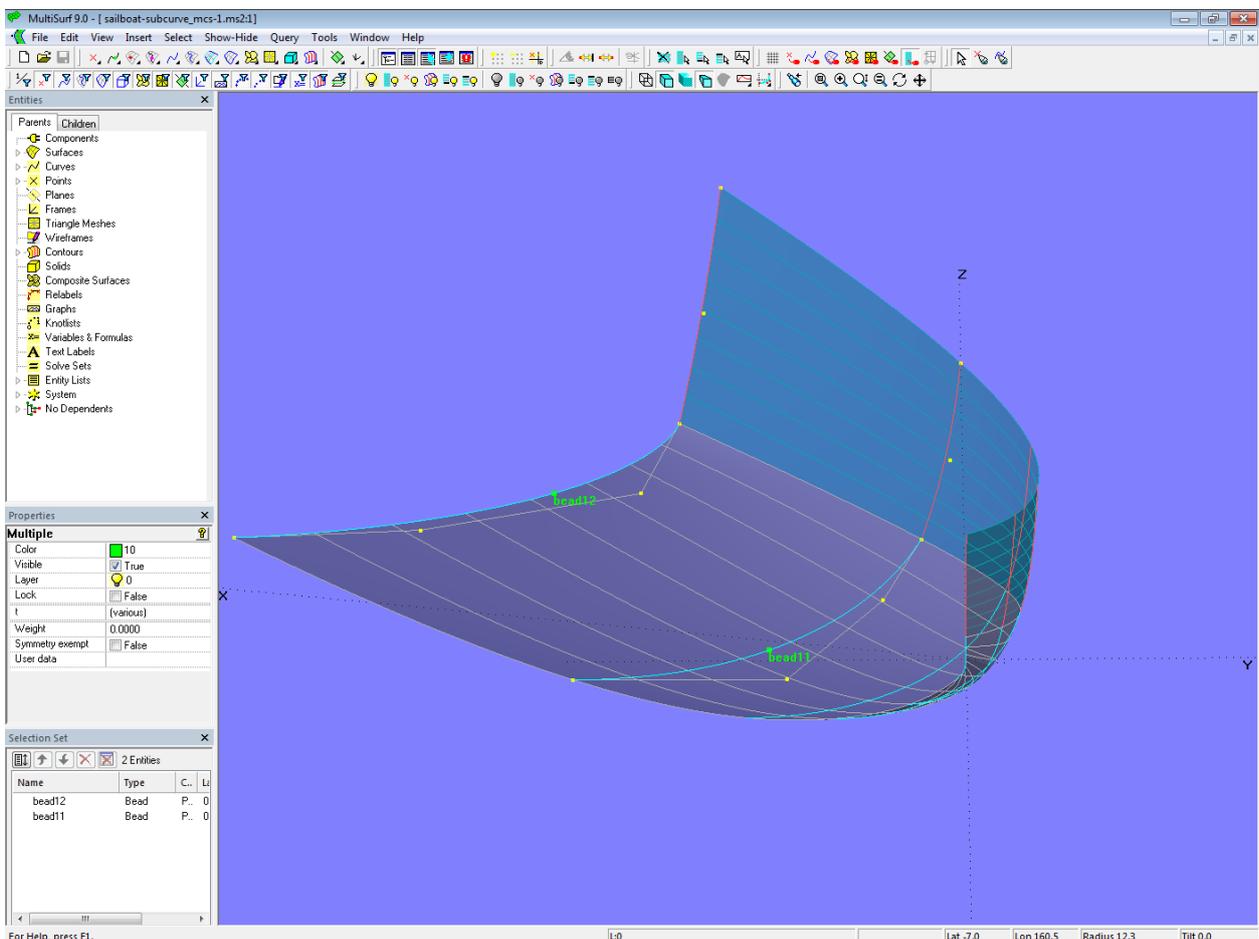
Möglichkeit 1: hintere Mcs mit SubCurve relabeln

Übertragen auf unser Modell heißt das, dass den Kurvenpunkten der beiden B-spline Curves **mc5_bot** und **mc6_bot** andere t-Parameterwerte zugewiesen werden müssen (Re-Parametrisierung, Relabel). Die Kurvenform ändert sich nicht beim Relabeln, auch die Position der Kurvenpunkte bleibt gleich, lediglich der zugehörige t-Parameterwert wird verändert. Am einfachsten, weil sehr anschaulich, kann man eine Kurve mit dem Objekt *SubCurve* relabeln.

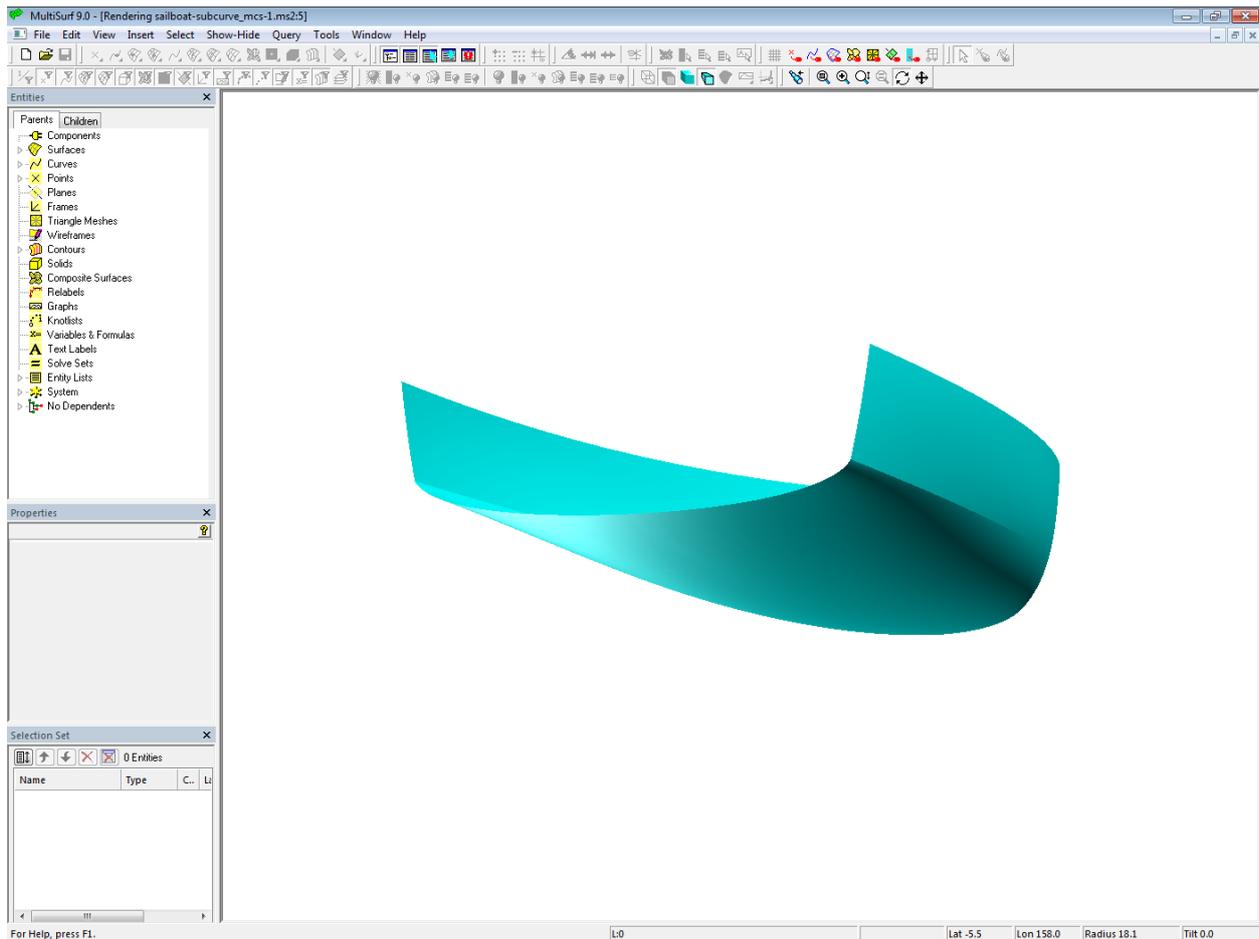
Da wir von der Fläche **hull_fair** wissen, dass ihre Mcs eine regelmäßige Anordnung ihrer Cps in Längsrichtung haben, und folglich auch eine regelmäßige Parameterverteilung, ist es naheliegend, diese Mcs nicht zu ändern, sondern nur die hinteren Mcs zu relabeln. Dies wird in Modell *sailboat-subcurve_mcs-1.ms2* demonstriert.

Zunächst wird der Bead **bead1** auf **mc5_bot** gesetzt, sowie der Bead **bead2** auf **mc6_bot**. Dann wird mit den Control Beads $\{ *0 \text{ bead1} *1 \}$ die SubCurve **mc5_bot_sub** erzeugt, sowie mit $\{ *0 \text{ bead2} *1 \}$ die SubCurve **mc6_bot_sub**. Schließlich werden bei der Definition der Bodenfläche **bottom** diese beiden SubCurves anstelle von **mc5_bot** und **mc6_bot** eingesetzt.

Verschiebt man nun die Beads **bead1** und **bead2**, verschieben sich auch die u-Parameterkurven. Verlaufen diese aus verschiedenen Ansichten betrachtet harmonisch, strakt die Fläche.



Modell *sailboat-subcurve_mcs-1.ms2* – **mc5_bot** und **mc6_bot** mit SubCurves relabeled. Durch Verschieben der Beads **bead1** und **bead2** wird der Verlauf der u-Parameterkurven beeinflusst.

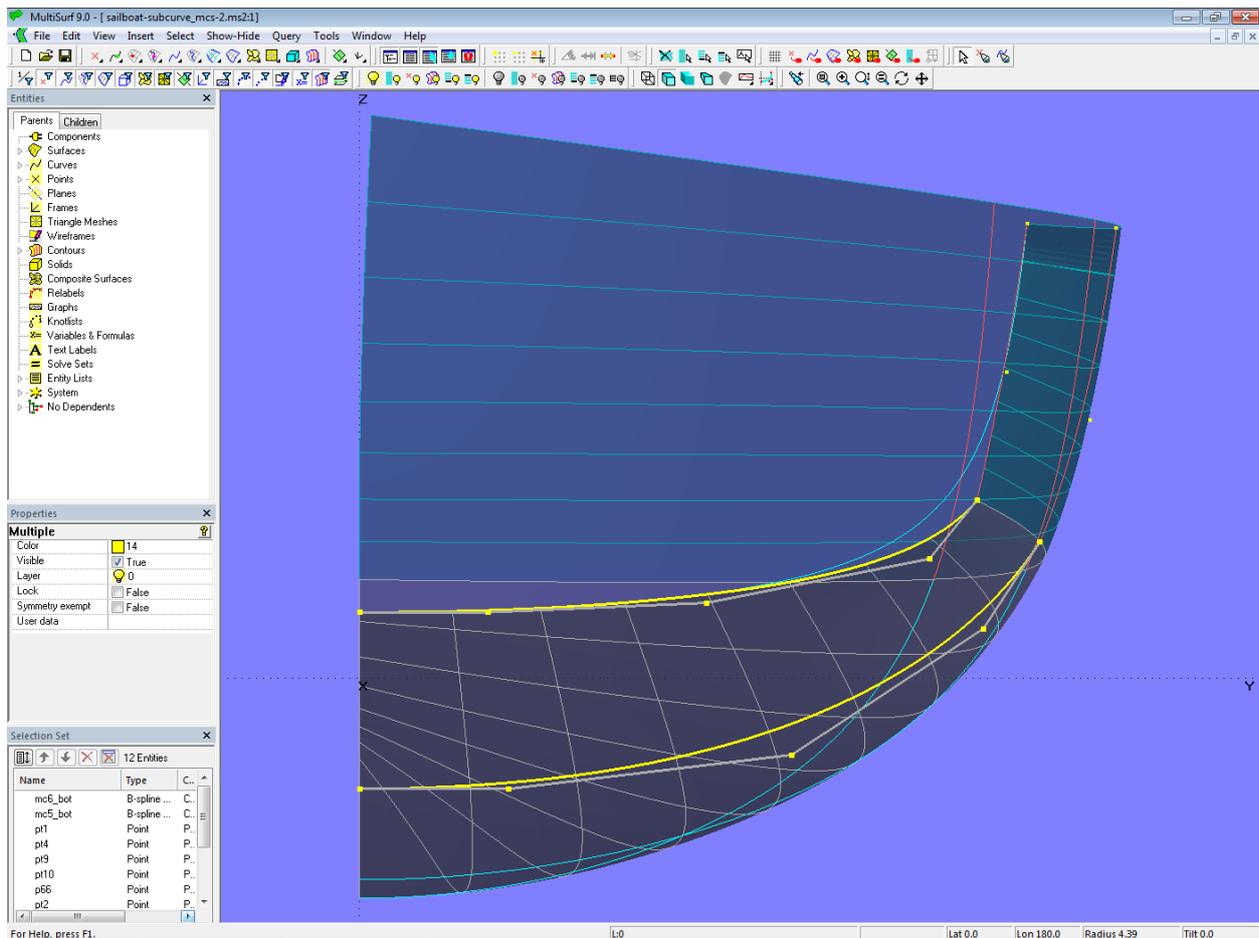


Modell *sailboat-subcurve_mcs-1.ms2*

Möglichkeit 2: hintere Mcs mit zusätzlichem Kontrollpunkt

Statt die hinteren Mcs *mc5_bot* und *mc6_bot* mit Hilfe von SubCurves zu relabeln, kann man alternativ diese beiden B-spline Curves mit je einem zusätzlichen Kontrollpunkt definieren. Auf diese Weise gewinnt man etwas mehr Freiraum – man kann diesen Kurven die gewünschte Form geben und dabei gleichzeitig den Verlauf der Lofting Curves beeinflussen.

Dieses Vorgehen wird in Modell *sailboat-subcurve_mcs-2.ms2* gezeigt. *Mc5_bot* und *mc6_bot* haben nun 5 Cps statt 4 Cps. Ihre inneren Cps sind so positioniert, dass die Kurven die gleiche Form haben wie die Mcs in den bereits vorgestellten Modellen, aber gleichzeitig ein regelmäßiger Verlauf der u-Parameterkurven resultiert.



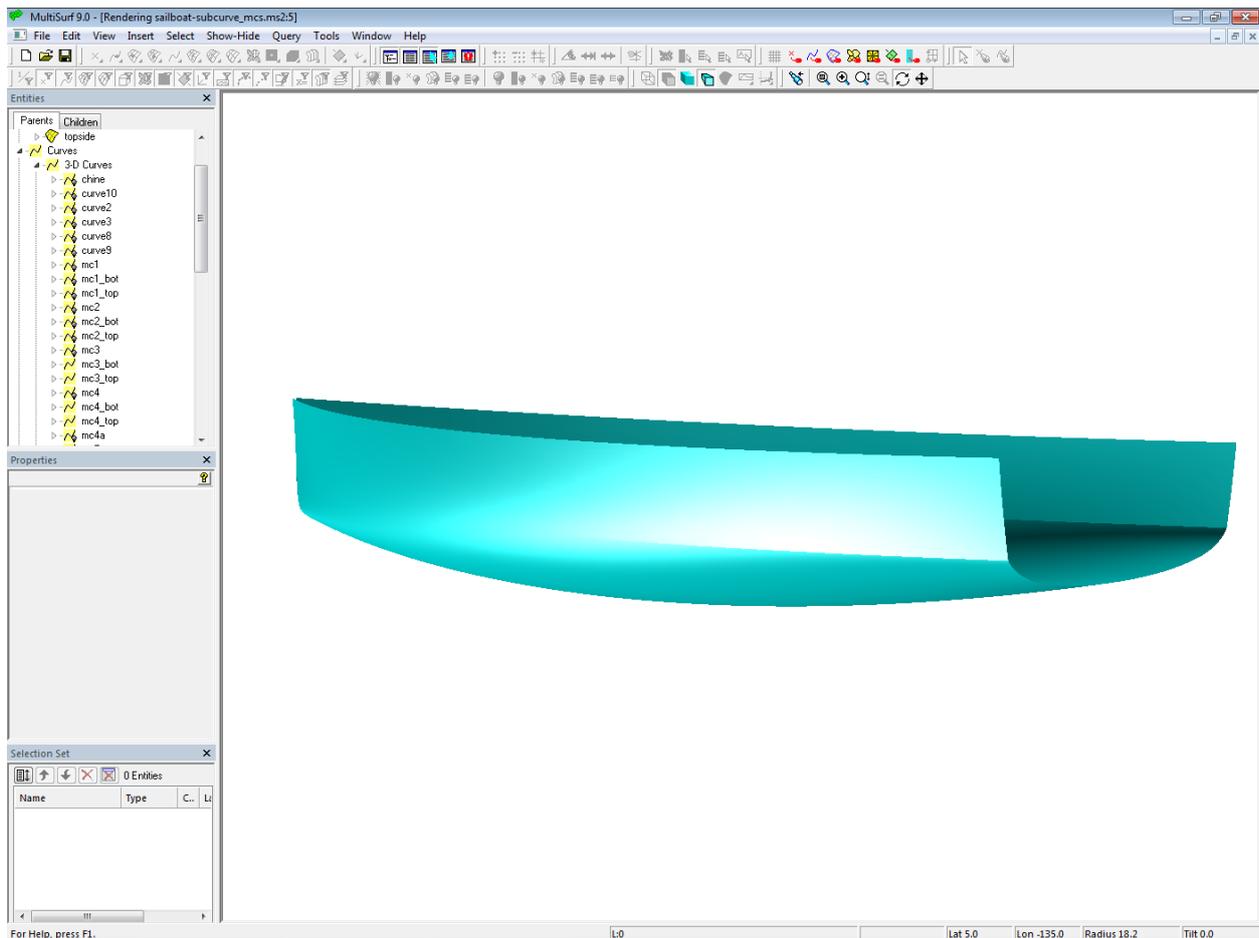
Modell sailboat-subcurve_mcs-2.ms2 – B-spline Curves *mc5_bot* und *mc6_bot* definiert mit zusätzlichem Kontrollpunkt

Vorteil:

Für den glatten Basisrumpf (*hull_fair*) kann die Vertexkurven-Methode angewendet werden. Die Mcs im Bereich des Rumpfes ohne Spantknick werden als Ganzes geformt, nicht getrennt. Sie sind richtungs- und krümmungsstetig. Die Parameterverteilung der Mcs ist ähnlich. Der Knickverlauf (*chine*) läßt sich ändern, ohne dass gleichzeitig die Form der Masterkurven geändert werden muß.

Nachteil:

Der Aufwand ist etwas größer als beim Ansatz mit separaten Mcs (Modell *sailboat-tangent_mcs.ms2*), da man erst einen strakenden Basisrumpf modellieren muß. Zwar kann die Vertexkurven-Methode für *hull_fair* angewendet werden, auch kann der Knickverlauf mit Hilfe der C-spline Curve *chine* gestrakt werden. Da es aber keine korrespondierenden Cps an den vorderen Mcs gibt, lassen sich solche Strakhilfskurven für die Positionierung der inneren Cps der hinteren B-spline-Mcs (*mc5_top*, *mc5_bot*, *mc6_top*, *mc6_bot*) nicht erzeugen. Darum muß man bei der Anordnung der Cps für diese Mcs neben der gewünschten Form auch den harmonischen Verlauf der u-Parameterkurven (Lofting Curves) der C-spline Lofted Surfaces *topside* und *bottom* im Blick haben. Durch Relabeln mit SubCurve oder mit zusätzlichen Cps muß man die Parameterverteilung der Mcs im Knickbereich beeinflussen.



Modell *sailboat-subcurve_mcs-2.ms2*

2 Rumpf mit Teilknick – der Eine-Fläche-Ansatz

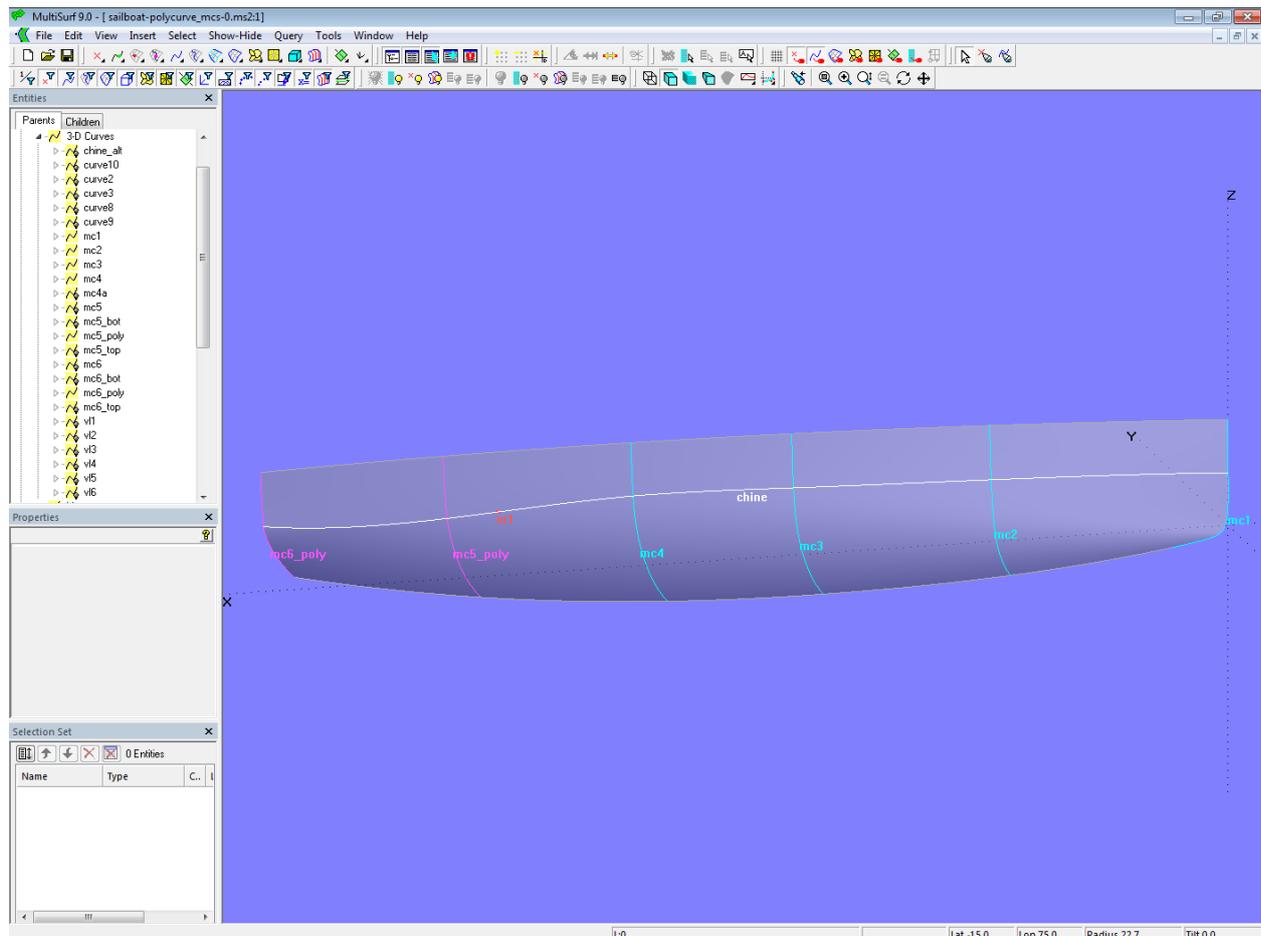
Bei den bislang vorgestellten Modellen *sailboat-tangent_mcs.ms2* und *sailboat-subcurve_mcs.ms2* wird der Rumpf entlang der Knickkurve in zwei Flächen aufgeteilt: eine Seitenfläche und eine Bodenfläche werden von separaten Mcs gestützt. Beim Eine-Fläche-Ansatz werden ausschließlich Mcs verwendet, die von Oberkante bis Unterkante Rumpf durchlaufen. Für die hinteren Mcs, die einen Knick aufweisen, kommen *PolyCurves* zum Einsatz. Mit dieser Kurvenart werden die Kurvenssegmente für Rumpffseite und Rumpfboden zu einer Kurve zusammengefaßt.

Ausgehend vom Modell *sailboat-subcurve_mcs-0.ms2* wird der Eine-Fläche-Ansatz in Modell *sailboat-polycurve_mcs-0.ms2* gezeigt. Die SubCurves (*mc1_top*, *mc1_bot* etc.) an den vorderen Mcs sind nicht mehr erforderlich. Die B-spline Curves *mc5_top* und *mc5_bot* sowie *mc6_top* und *mc6_bot* sind zu den PolyCurves *mc5_poly* und *mc6_poly* zusammengefügt.

Eine Anmerkung zum Objekt *PolyCurve* – es gibt zwei Varianten der PolyCurve, bestimmt über den Eintrag „Yes/No“ in der Zeile „Specify end t-values“ im Properties Manager. Die Voreinstellung ist „No“. Die Kurve wird dann so erzeugt, dass die Kurvenpunkte gleichmäßig über der Länge verteilt sind. Soll der jeweilige t-Parameterwert am Ende der einzelnen PolyCurve-Segmente vorgegeben werden, muß „Yes“ ausgewählt werden.

Wir setzen „Specify end t-values“ auf „Yes“ und geben beiden PolyCurve-Mcs probenhalber den Wert 0.220 für das Ende der Segmente *mc5_top* und *mc6_top*.

Die finale Fläche mit Teilknick kann nun mit den B-spline-Mcs **mc1** bis **mc4** sowie den beiden PolyCurves **mc5_poly** und **mc6_poly** erzeugt werden (C-spline Lofted Surface **hull_w_chine**).



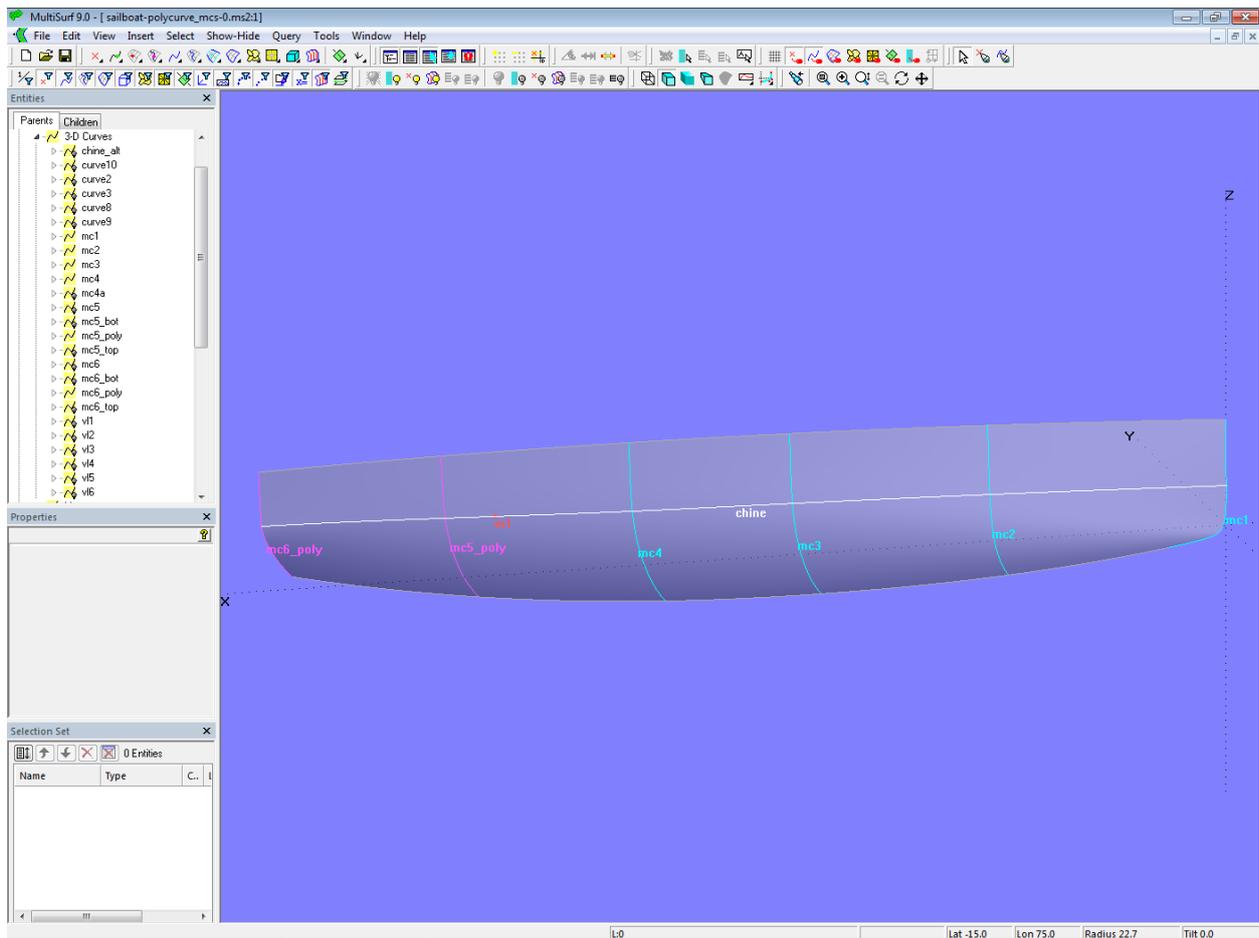
Modell *sailboat-polycurve_mc-0s.ms2* – C-spline Lofted Surface **hull_w_chine** mit durchgehenden B-spline-Mcs vorne und PolyCurves im Heckbereich. End t-value der PolyCurve-Mcs probenhalber gesetzt auf 0.220.

Beim Zwei-Flächen-Ansatz ist **chine** gleichbedeutend der EdgeSnake entlang der Unterkante der Fläche **topside** bzw. entlang der Oberkante der Fläche **bottom**. Dagegen ist beim Eine-Fläche-Ansatz **chine** eine UVSnake in u-Richtung, definiert mit einem Magnet, dessen u-Wert gleich dem end t-value der PolyCurve-Mcs ist. **Chine** ist also eine ganz bestimmte u-Parameterkurve.

Um die UVSnake **chine** für die Fläche **hull_w_chine** zu erzeugen, setzen wir den Magnet **m_chine** auf die Fläche und wählen für seinen u-Wert den end t-value, der auch für die PolyCurves **mc5_poly** und **mc6_poly** eingesetzt ist.

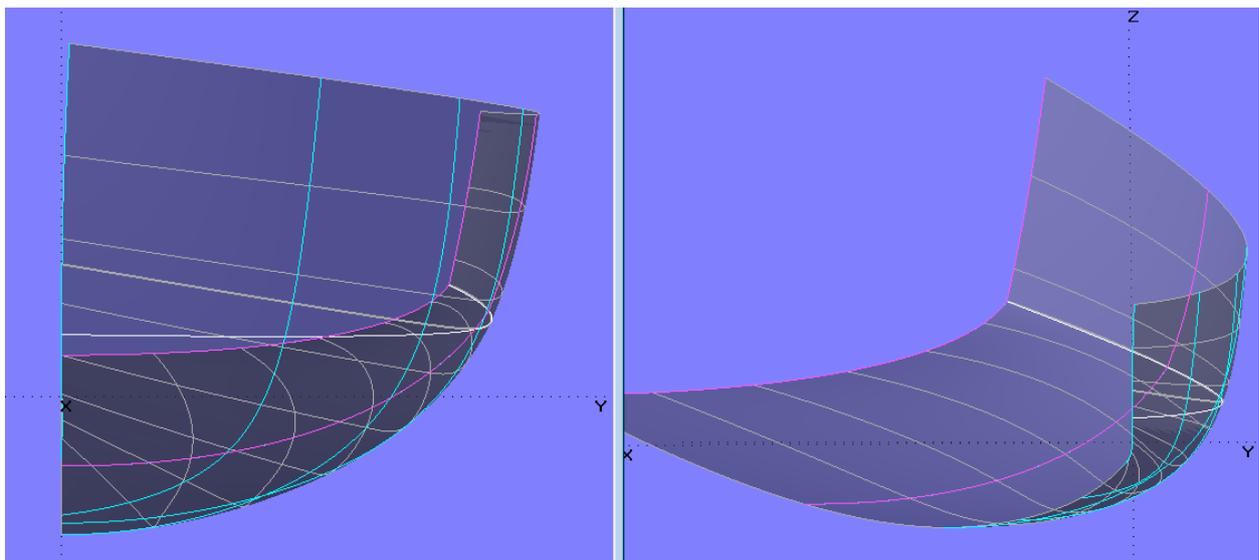
Der end t-value für **mc5_poly** und **mc6_poly** muß passend gewählt werden, damit die UVSnake **chine** strakt. Bei dem probenhalber verwendeten Wert von 0.220 verläuft **chine** nicht harmonisch. Der Kurvenpunkt an den vorderen Mcs, der zu diesem t-Parameterwert gehört, liegt näher in Richtung Kurvenanfang als bei den hinteren Mcs.

Da an den vorderen Mcs nichts geändert werden sollte – die u-Parameterkurven der Basisfläche **hull_fair** straken – muß man sich an den passenden Wert herantasten. Bei einem end t-value von 0.296 für die PolyCurves (Magnet **m_chine** mit gleichem u-Wert) ist der Verlauf der UVSnake **chine** regelmäßig.



Modell sailboat-polycurve_mc-0s.ms2 – C-spline Lofted Surface hull_w_chine mit durchgehenden B-spline-Mcs vorne und PolyCurve-Mcs im Heckbereich. End t-value gesetzt auf 0.296.

Sehen wir uns jetzt den Verlauf der u-Parameterkurven von Modell sailboat-polycurve_mcs-0.ms2 an.

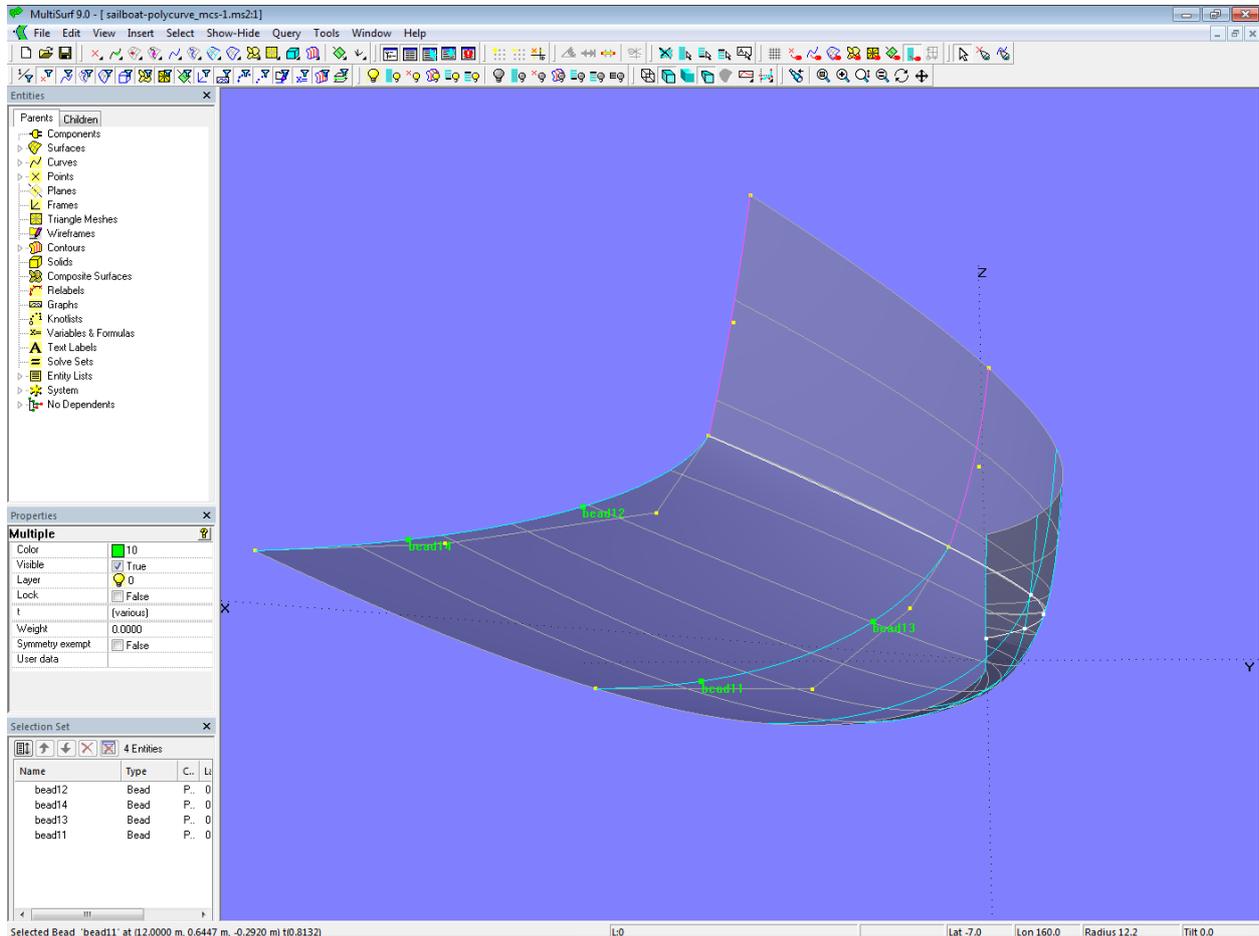


Modell sailboat-polycurve_mcs-0.ms2 – u-Parameterkurven der C-spline Lofted Surface hull_w_chine (durchgehende B-spline-Mcs vorne und PolyCurves achtern)

Wie im Modell sailboat-subcurve_mcs-0.ms2 verlaufen die Lofting Curves unterhalb des Knicks nicht regelmäßig. Die Ursache ist die gleiche – die unterschiedliche Parameterverteilung der Heck-Mcs im Vergleich zur Parametrisierung der vorderen Mcs. Da wir von der Fläche hull_fair wissen, dass diese Mcs

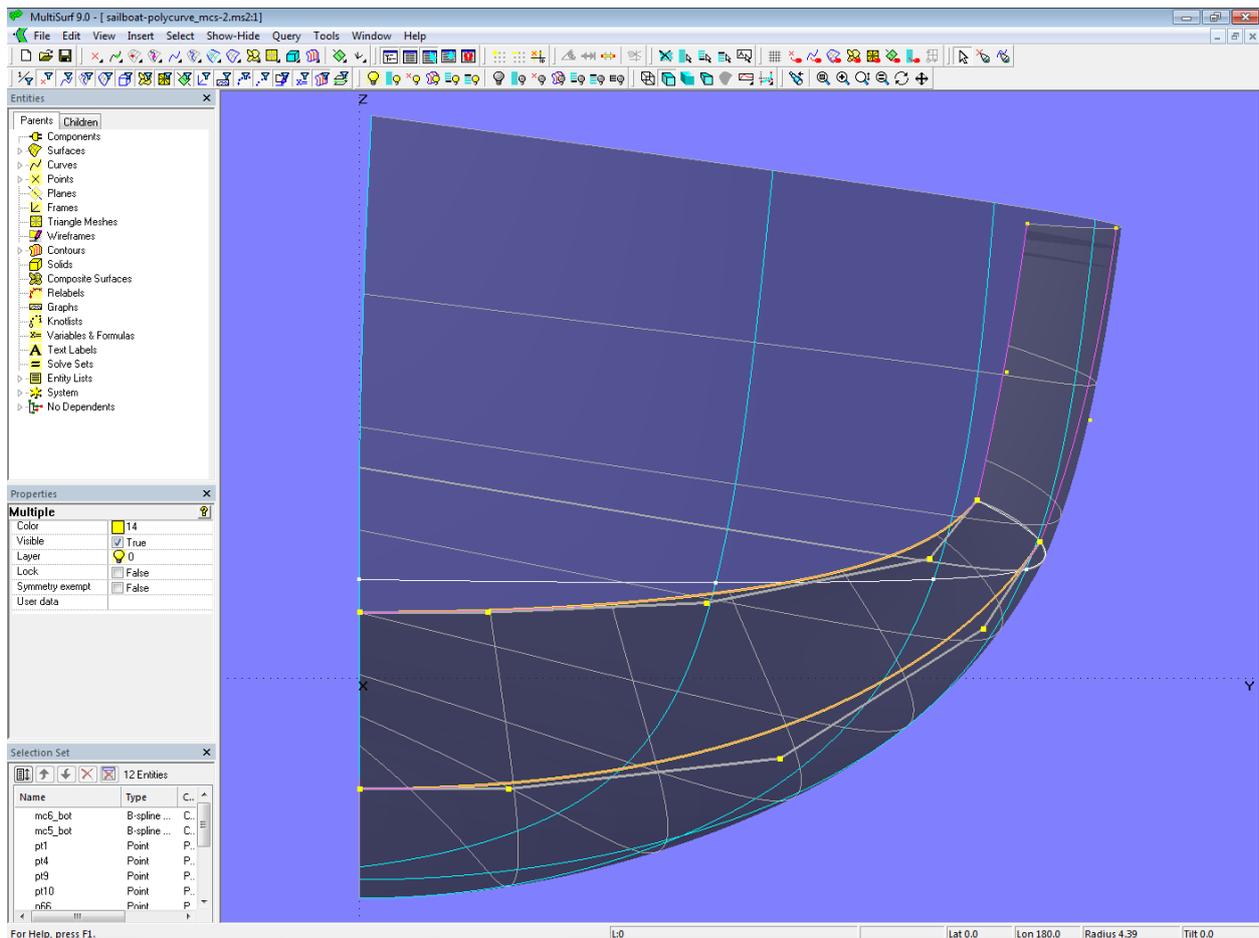
eine regelmäßige Anordnung ihrer Cps in Längsrichtung haben, und folglich auch eine regelmäßige Parameterverteilung, ist es naheliegend, diese Mcs nicht zu ändern, sondern nur die hinteren Mcs.

Wie beim 2-Flächen-Ansatz stehen zwei Vorgehensweisen zur Verfügung. Zum einen kann man die hinteren Mcs `mc5_bot` und `mc6_bot` mit SubCurves relabeln und diese jeweils als PolyCurve-Segment verwenden. Dies ist in Modell `sailboat-polycurve_mcs-1.ms2` gezeigt.



Modell `sailboat-polycurve_mcs-1.ms2` – `mc5_bot` und `mc6_bot` mit SubCurves relabelled. Durch Verschieben der Beads `bead1` und `bead2` lässt sich der Verlauf der u -Parameterkurven ändern.

Zum anderen kann man `mc5_bot` und `mc6_bot` mit zusätzlichen Cps zu definieren. Modell `sailboat-polycurve_mcs-2.ms2` verwendet einen Cps mehr.



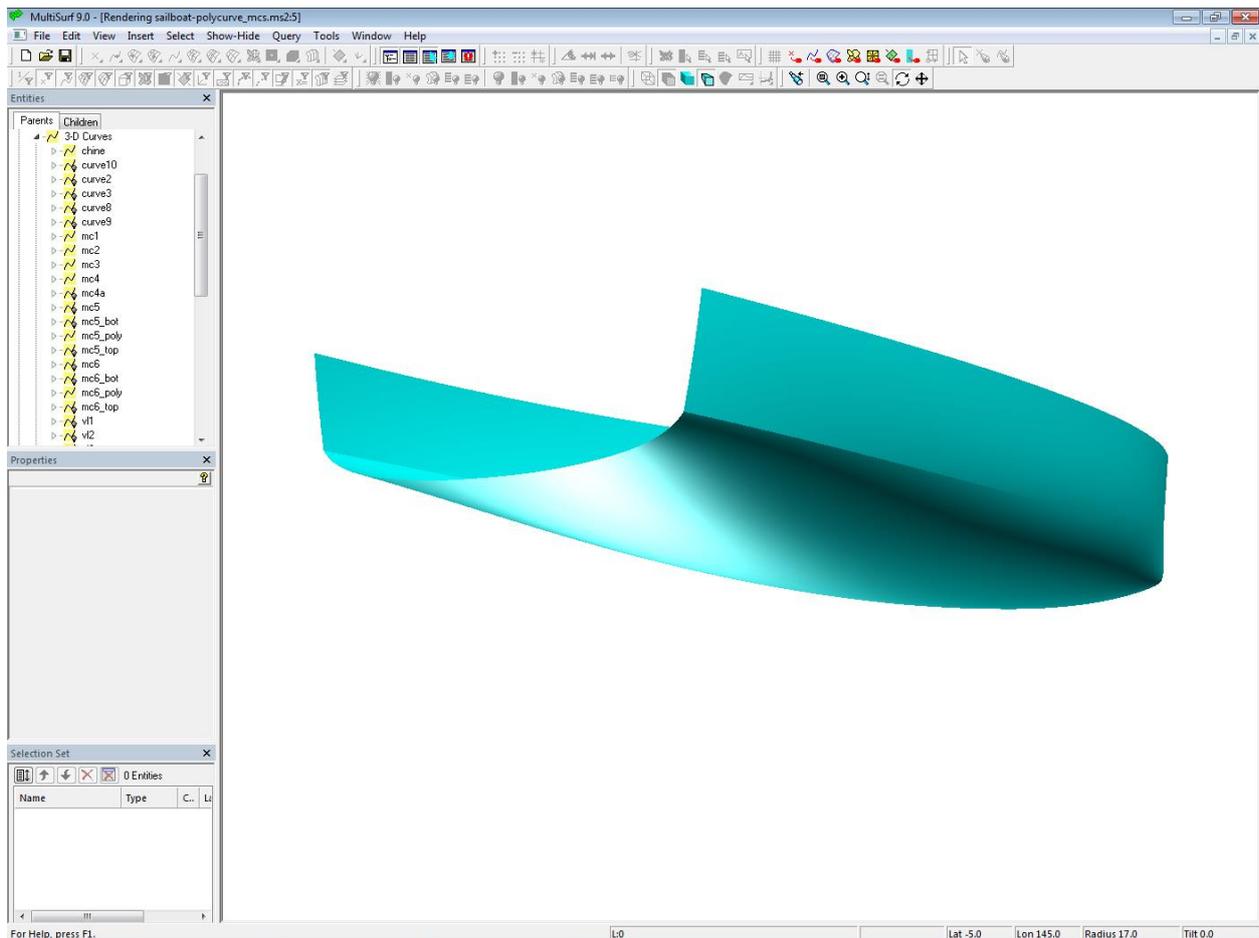
Modell sailboat-polycurve_mcs-2.ms2 – B-spline Curves *mc5_bot* und *mc6_bot* definiert mit zusätzlichem Kontrollpunkt

Vorteil:

Für den glatten Basisrumpf (*hull_fair*) kann die Vertexkurven-Methode angewendet werden. Die Mcs im Bereich des Rumpfes ohne Spantknick werden als Ganzes geformt, nicht getrennt. Sie sind richtungs- und krümmungsstetig. Die Parameterverteilung der Mcs ist ähnlich. Der Knickverlauf (*chine*) läßt sich leicht ändern, ohne dass sich gleichzeitig die Mc-Form ändert. Geringere Anzahl von Objekten = weniger Aufwand.

Nachteil:

Der Knickverlauf hängt von den „end t-values“ der PolyCurves ab. Man muß den Wert so wählen, dass eine strakende u-Parameterkurve der finalen Fläche entsteht. Das bedeutet Probiararbeit. Gegebenenfalls müssen die PolyCurves re-parametrisiert werden um strakende u-Parameterkurven zu erhalten.



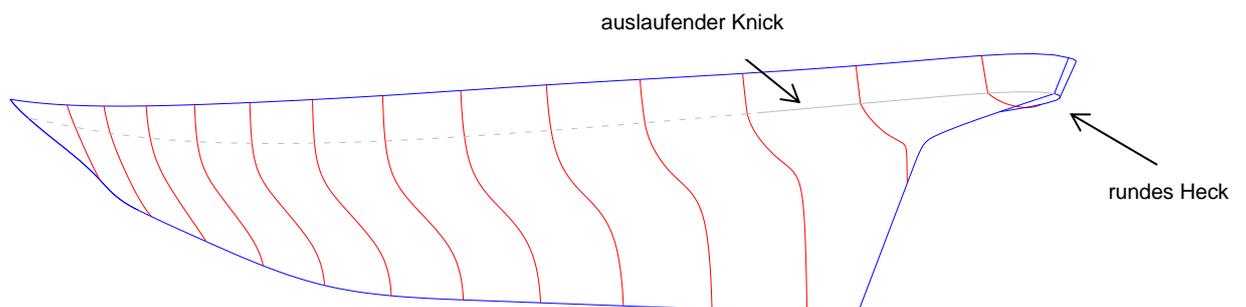
Modell sailboat-polycurve_mcs-2.ms2

3 Beispiele

Die Rumpfform von Segelschiffen (Klipper, schneller Frachtsegler, klassische Yacht) hat häufig zwei markante Merkmale – ein rundes Heck mit einen auslaufendem Knick in Längsrichtung. Ein weiteres Beispiel ist der Rumpf eines Motorbootes. Um den Spantausfall zu begrenzen, hat der ansonsten rundspantige Rumpf einen Teilknick im Vorschiff.

3.1 Segelschiffsrumpf – rundes Heck mit auslaufendem Knick

Am Beispiel der Rumpfform einer Yacht soll gezeigt werden, wie man diese Geometrie nach dem Zwei-Flächen-Ansatz und dem Eine-Fläche-Ansatz modellieren kann.

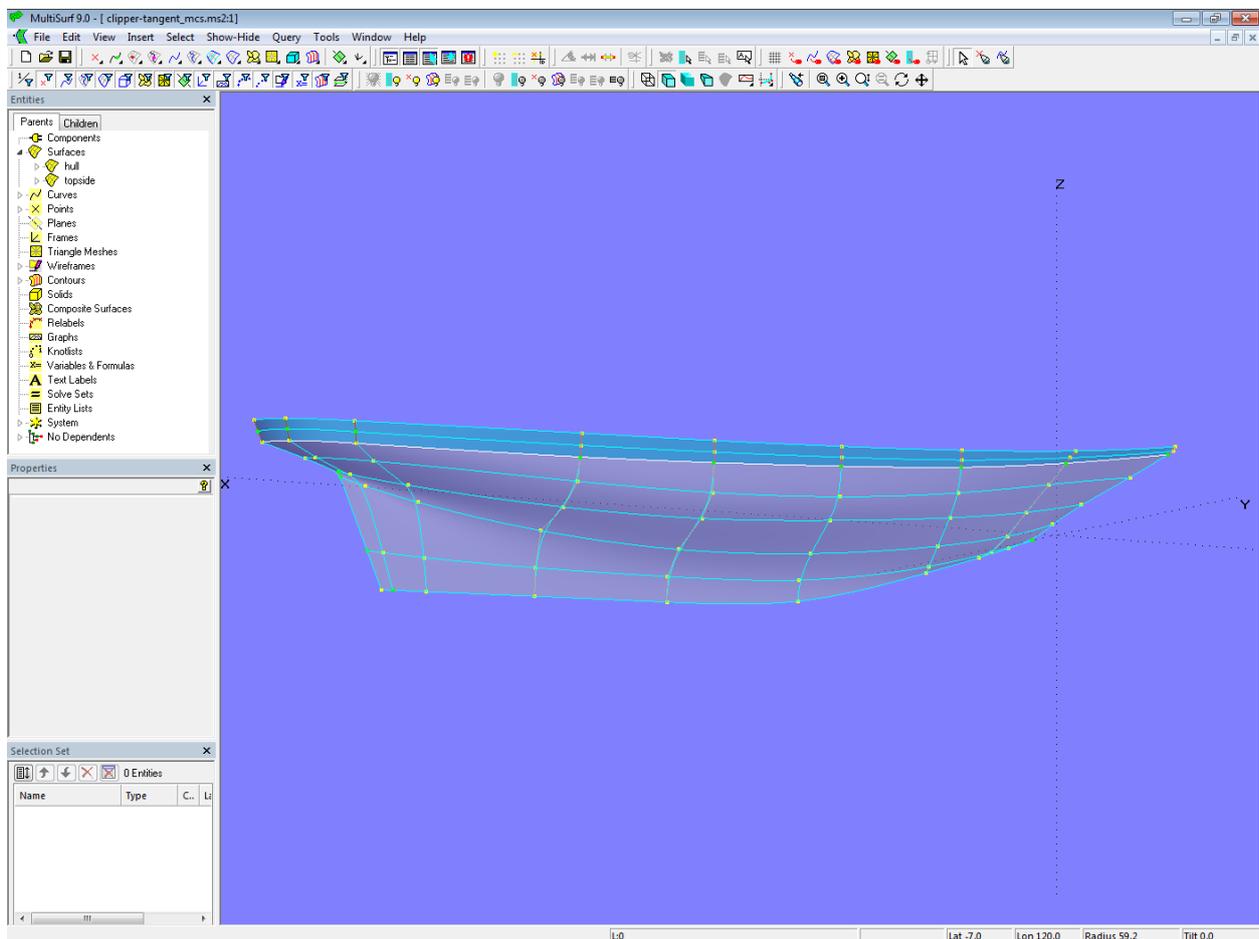


Klassische Yacht – rundes Heck mit auslaufendem Knick

3.1.1 Zwei-Flächen-Ansatz – Masterkurven tangential verbunden

Wie in Abschnitt 1 beschrieben, wird bei dieser Vorgehensweise der Knick bis zum Bug verlängert, so dass eine in Längsrichtung verlaufende Kurve entsteht, die den Rumpf in zwei Flächen teilt. Bei manchen Schiffen ist die Kurve Seite Deck die Verlängerung der Knickkurve, so dass die obere Fläche das Schanzkleid darstellt.

Modell *clipper-tangent_mcs.ms2* zeigt den Zwei-Flächen-Ansatz mit tangentialen Mcs im glatten Rumpfbereich. Die beiden Flächen *topside* und *hull* sind C-spline Lofted Surfaces, ihre Mcs sind B-spline Curves. Für die Fläche *topside* sind die Mcs mit je 3 Cps bestimmt (Mindestanzahl). Da *topside* eine schmale Fläche ist, liegen die Cps relativ dicht beieinander. Die Mcs der größeren Fläche *hull* werden mit 6 Cps geformt. Soweit wie möglich verlaufen die Mcs in Querschiffsrichtung. Letzter Cp einer Mc von *topside* ist zugleich erster Cp der Mc von *hull*. Die Mcs im Heckbereich stoßen mit einem Knick aneinander, die davor liegenden Mcs sind tangential zueinander. Durch korrespondierende Cps verlaufen C-spline Curves als Strahlfeldkurven.

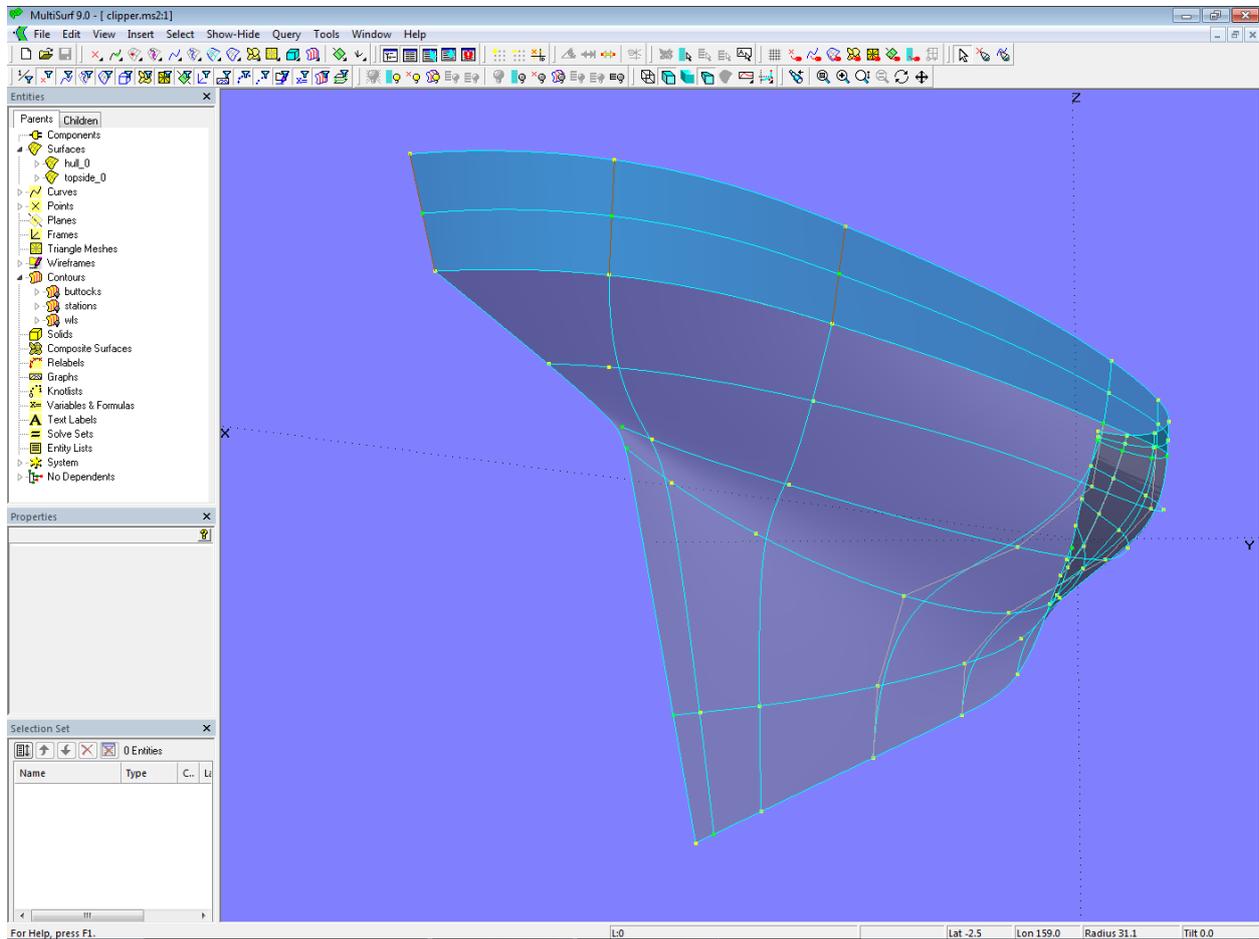


Modell *clipper-tangent_mcs.ms2* – je 9 B-spline-Mcs stützen die C-spline Lofted Surfaces *topside* und *hull*. Vertexkurven verbinden korrespondierende Kontrollpunkte.

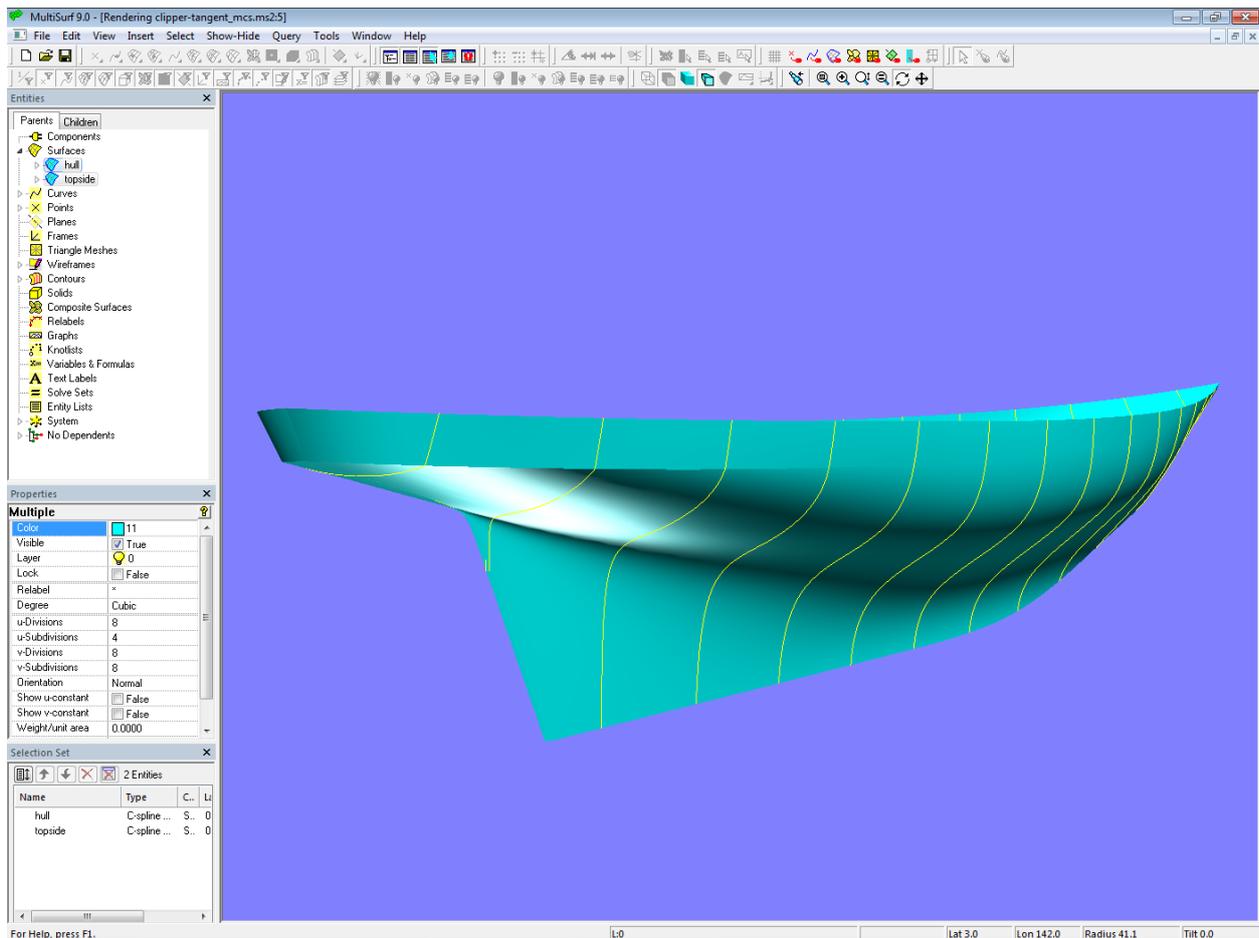
Damit der Knick im Heck zwischen den C-spline Lofted Surfaces *topside* und *hull* nach vorne ausläuft, müssen die Mcs in diesem Bereich tangential aneinander anschließen. Dazu ist auf jeder der vorderen Mcs für die Fläche *hull* ein Bead am Kurvenanfang ($t = 0$) angeordnet, von dem ein Tangent Point ab-

hängt. Mit Cp1 und diesen beiden Punkten sind jeweils die Mcs von **topside** definiert. Durch den Tangent Point ist der tangentielle Anschluß der Mcs der oberen und unteren Fläche festverdrahtet.

Die Heck-Mcs sind wie Kantspannen angeordnet, um das runde Hinterschiff zu bilden. Die drei letzten Mcs der Fläche **topside** sind Lines (**mc7_top**, **mc8_top**, **mc9_top**). Die für die Vertexkurve **vl2_top** erforderlichen mittleren Kontrollpunkte an diesen Mcs sind Beads mit dem Parameterwert $t = 0.5$.



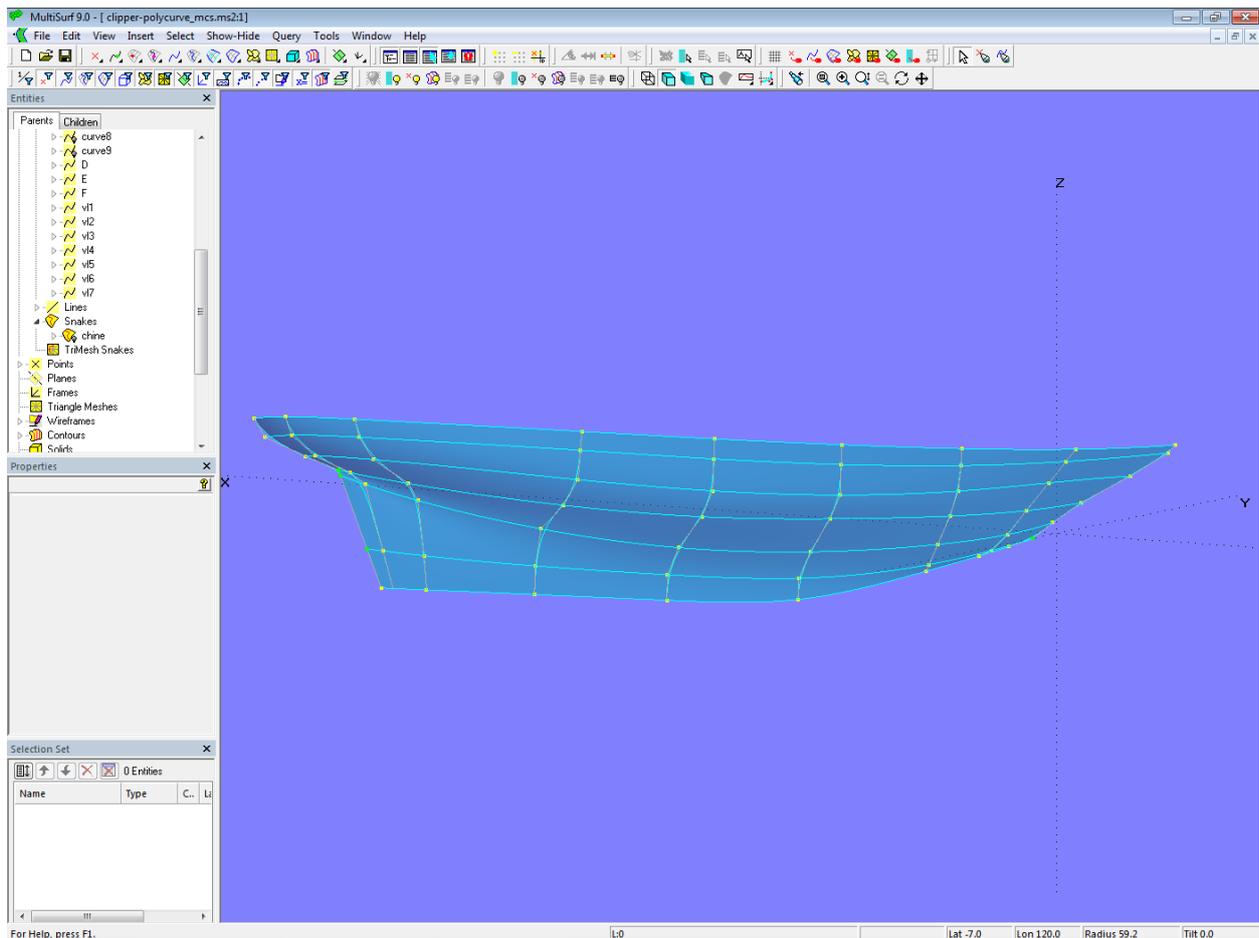
Modell clipper-tangent_mcs.ms2 – Zwei-Flächen-Ansatz. Im Heck-sind die Mcs als Kantspannen angeordnet.



Modell clipper-tangent_mcs.ms2 – Zwei-Flächen-Ansatz

3.1.2 Eine-Fläche-Ansatz – Masterkurven verbunden zu PolyCurves

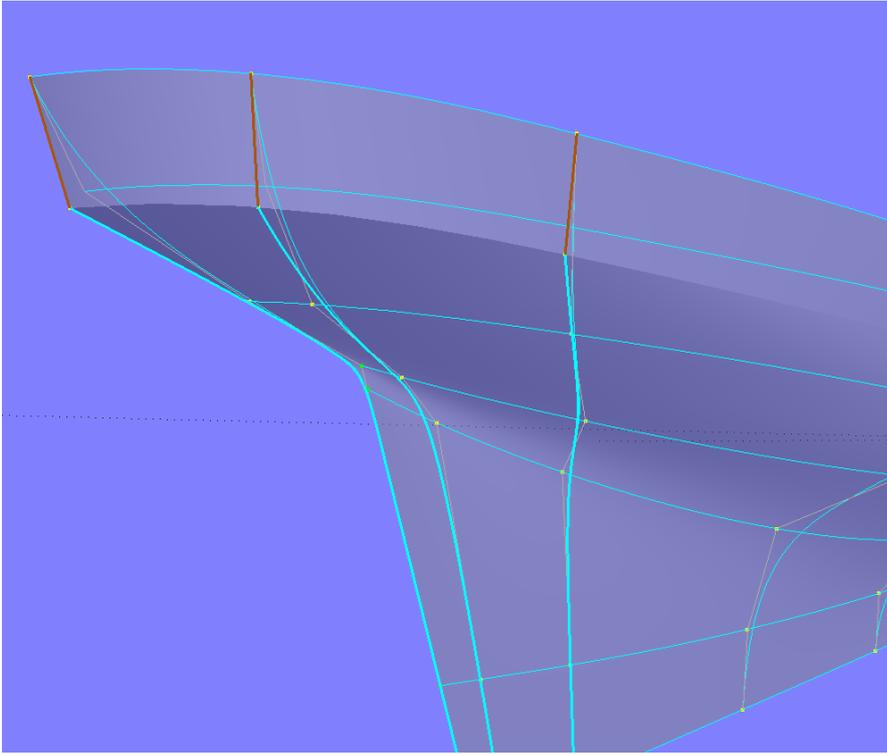
Im Modell *clipper-polycurve_mcs.ms2* wird zunächst eine Basisfläche mit Mcs ohne Knick nach der Vertextrukturen-Methode erzeugt (C-spline Lofted Surface *hull_fair*). Auf diese Weise erhalten wir einen strakenden Rumpf mit Masterkurven, deren Kontrollpunkte in Längsrichtung regelmäßig angeordnet sind und folglich eine regelmäßige Parameterverteilung haben. Wenn später an der eigentlichen Fläche *hull_w_chine* unharmonisch verlaufende u-Parameterkurven auftreten, muß an den von *hull_fair* übernommenen Mcs nichts geändert werden, lediglich die Parameterverteilung der PolyCurves muß geändert werden.



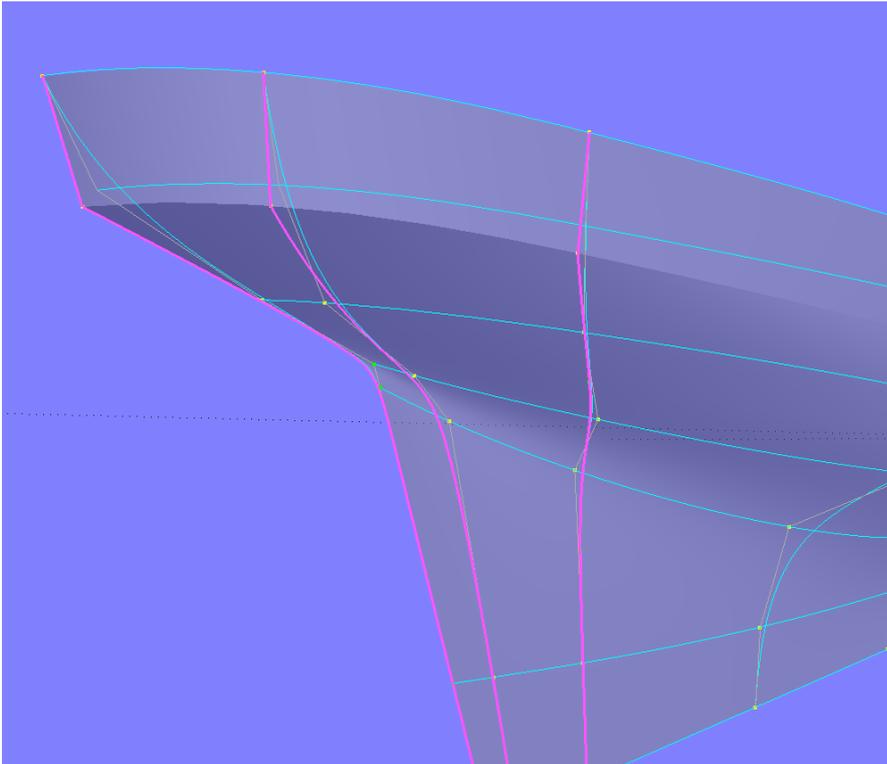
Modell clipper-polycurve_mcs.ms2 – Mcs und Vertexkurven der C-spline Lofted Surface *hull_fair*

Dann werden im Bereich des Hinterschiffs Mcs mit Knick für den oberen und unteren Rumpfbereich hinzugefügt, die zu PolyCurves verbunden werden (*mc7_poly*, *mc8_poly*, *mc9_poly*). Mit den vorderen Mcs und den PolyCurves im Heck ist die eigentliche Rumpffläche mit auslaufendem Knick definiert (C-spline Lofted Surface *hull_w_chine*).

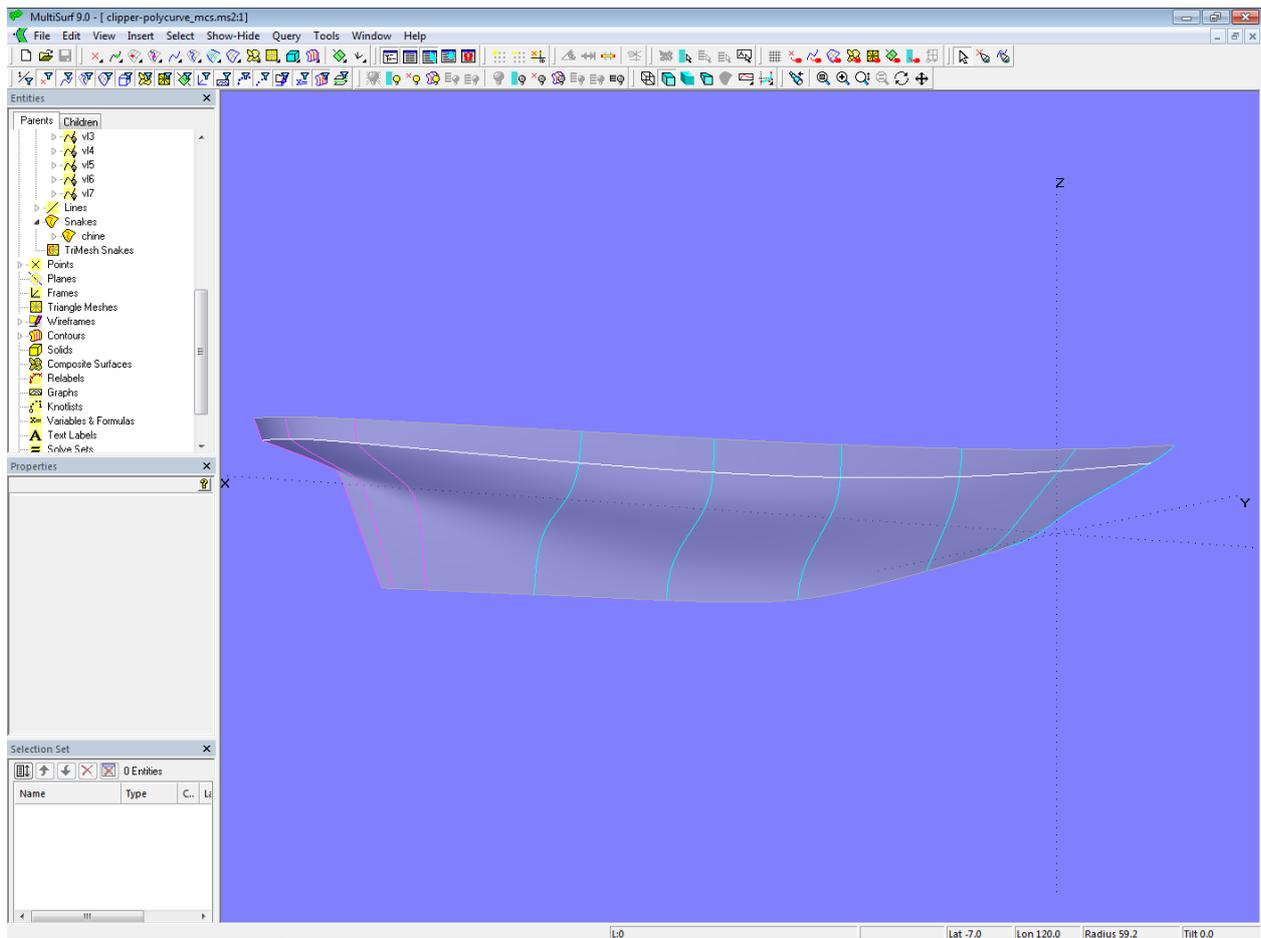
Der end t-value für *mc7_poly*, *mc8_poly* und *mc9_poly* muß so gewählt werden, dass die UVSnake *chine* strakend verläuft. Er muß an allen PolyCurves der gleiche sein.



Modell clipper-polycurve_mcs.ms2 – Teilstücke der Heck-Masterkurven

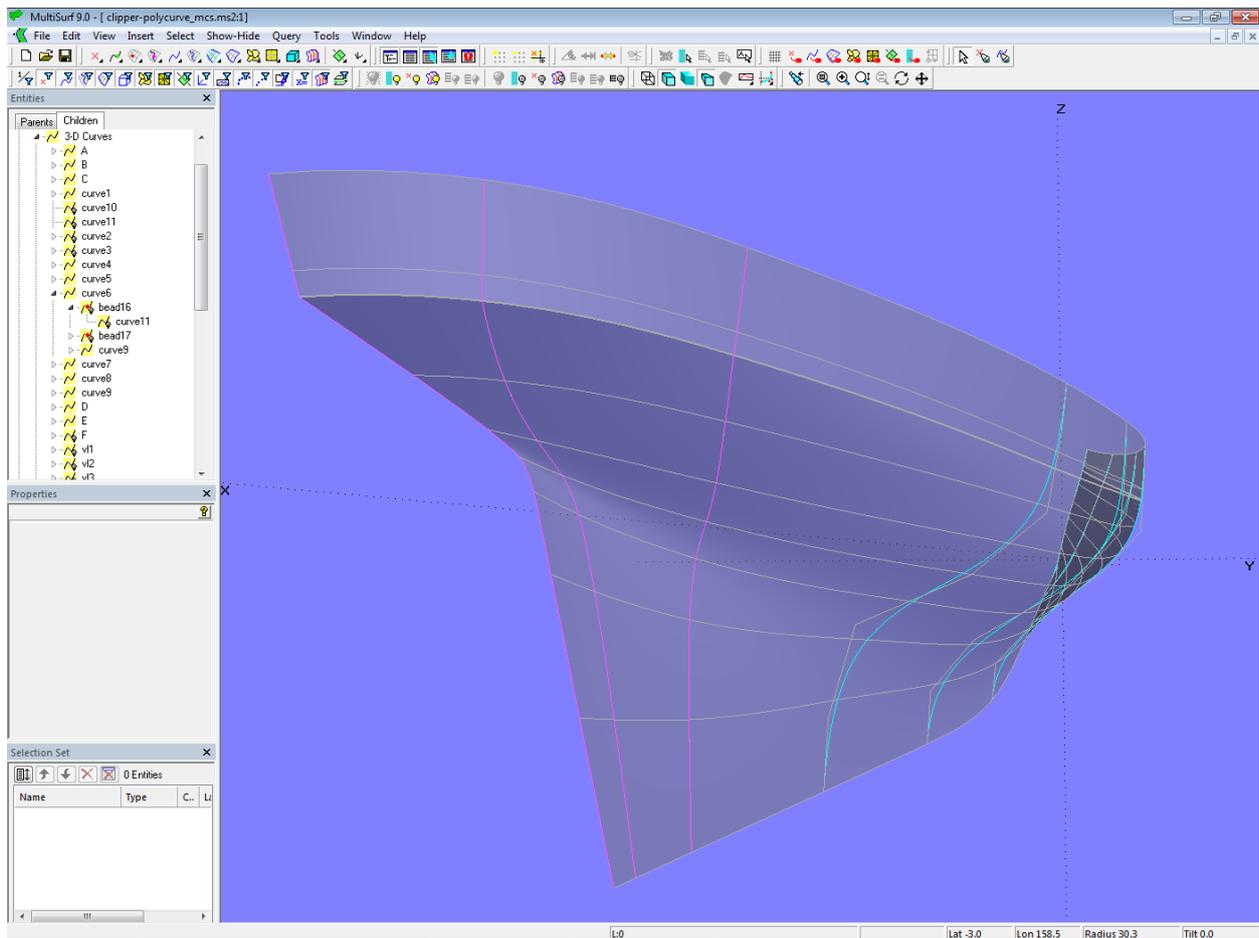


Modell clipper-polycurve_mcs.ms2 – Teilstücke zusammengefügt zu PolyCurves



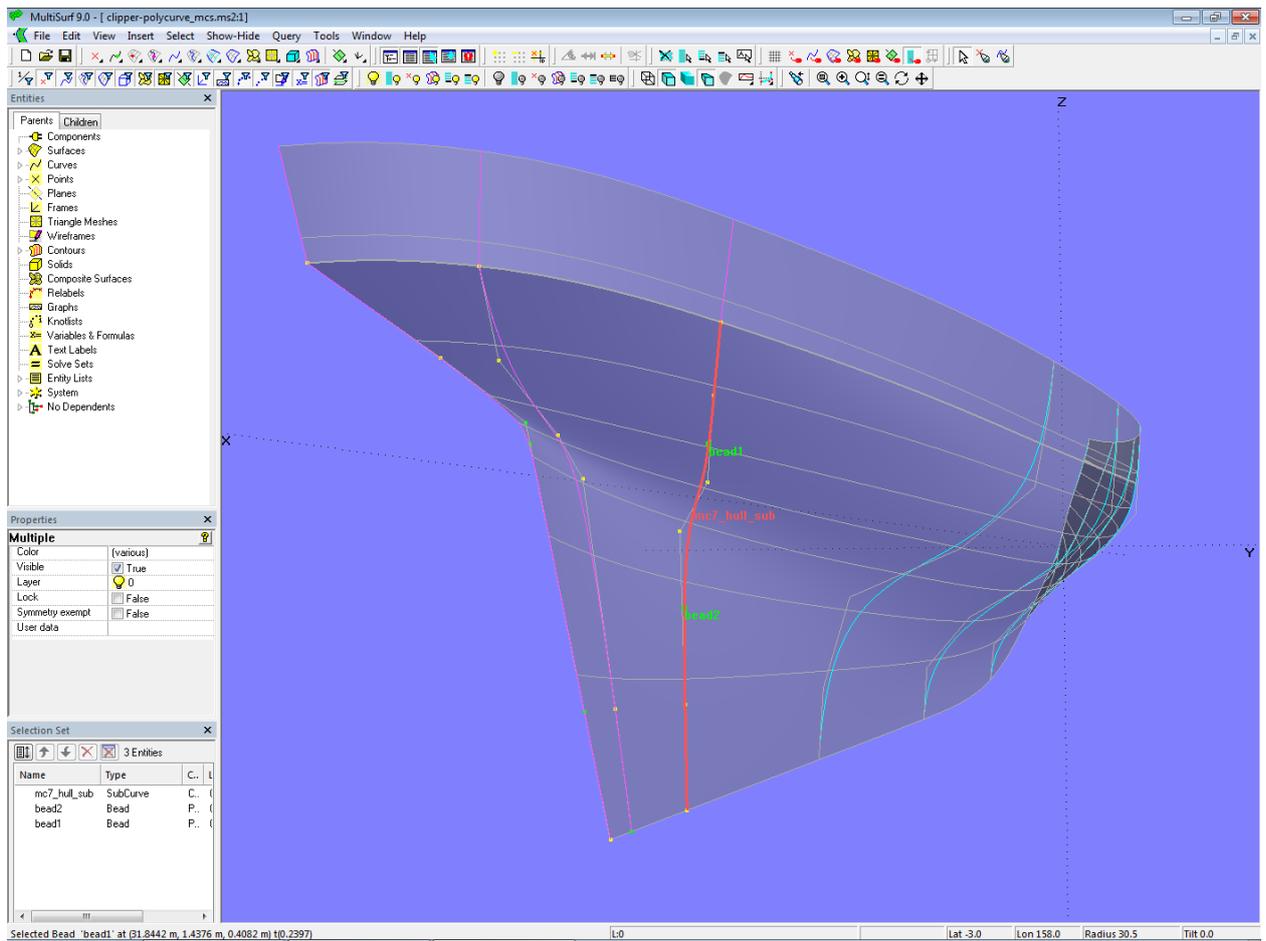
Modell clipper-polycurve_mcs.ms2 – von Ober- bis Unterkante Rumpf durchlaufende Mcs stützen die C-spline Lofted Surface *hull_w_chine*. Die vorderen Mcs sind B-spline Curves, die drei hinteren Mcs sind PolyCurves.

Wenn wir uns die u-Parameterkurven ansehen, fällt ein etwas unharmonischer Verlauf im unteren Bereich des Hinterschiffes auf.

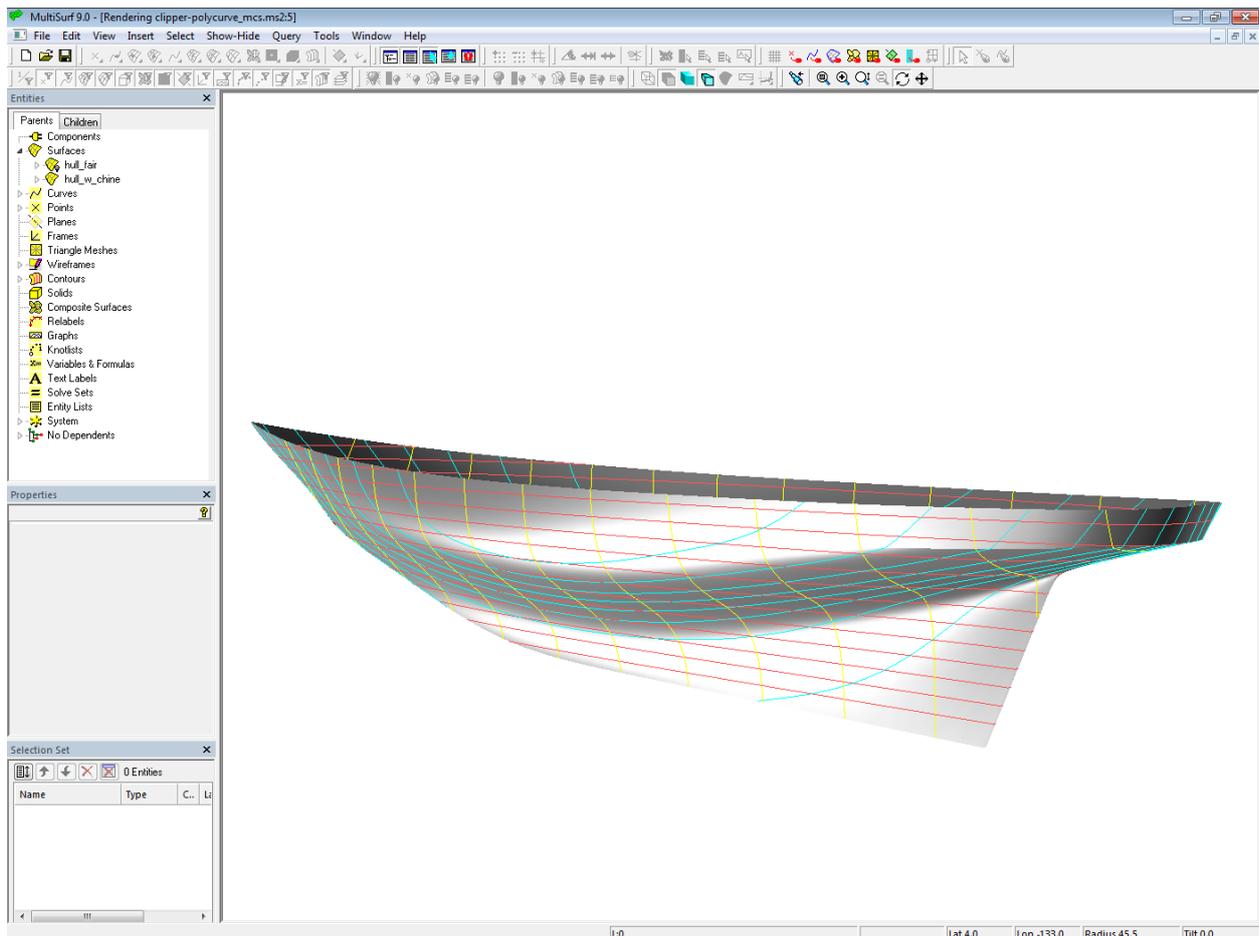


Modell clipper-polycurve_mcs.ms2 – unharmonischer Verlauf der unteren u -Parameterkurven im Hinterschiff

Um diesen Verlauf zu korrigieren, wird die Parameterverteilung von [mc7_bot](#) mit der SubCurve [mc7_hull_sub](#) und den inneren Beads [bead1](#) und [bead2](#) relabeled.



Modell clipper-polycurve_mcs.ms2 – regelmäßiger Verlauf der u-Parameterkurven durch SubCurve-Relabel



Modell clipper-polycurve_mcs.ms2

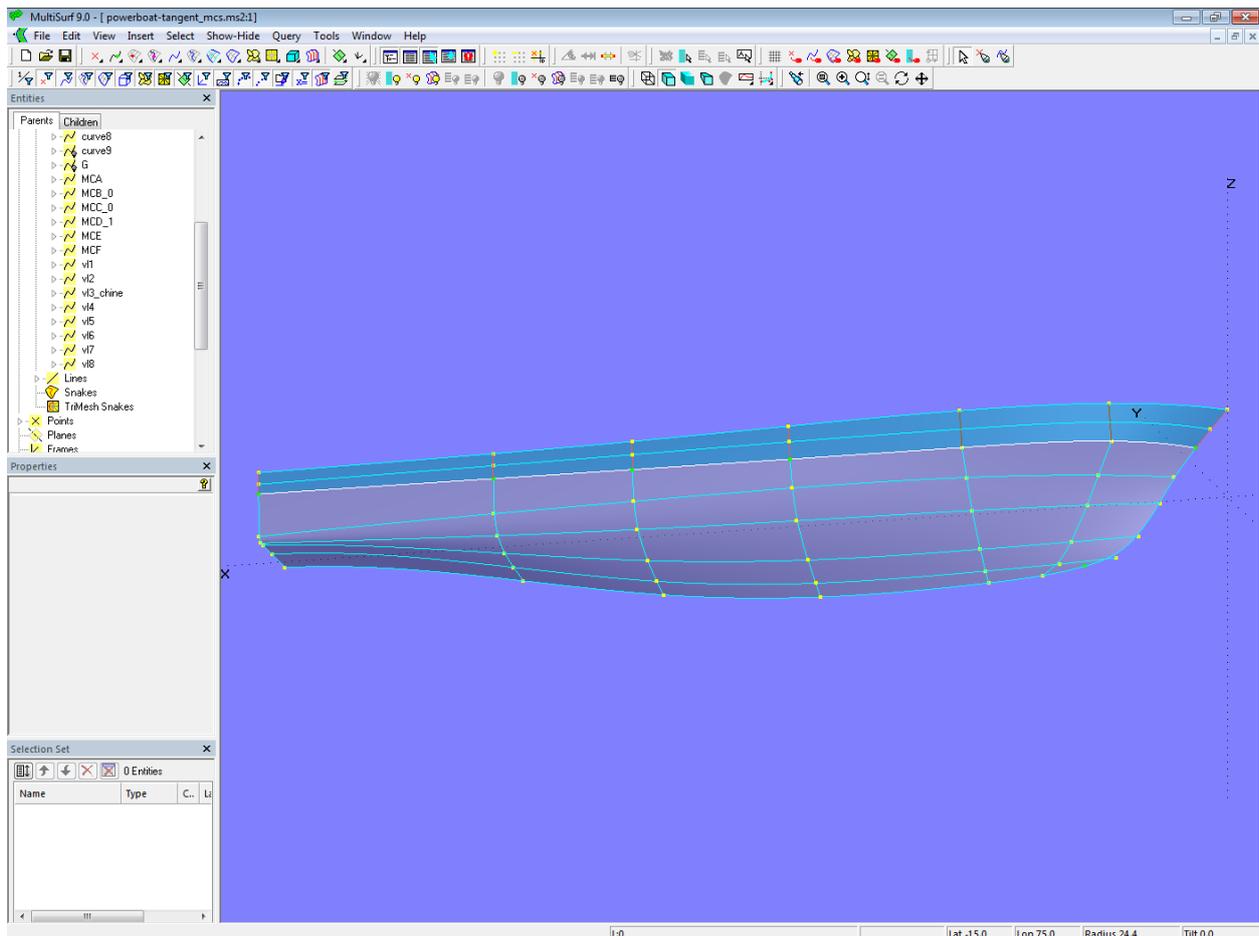
3.2 Motorbootrumpf – auslaufender Knick im Vorschiff

Ein weiteres Beispiel ist der Rumpf eines Motorboots. Hier befindet sich der auslaufende Knick im Vorschiff, um den Spantausfall zu kompensieren.

3.1.1 Zwei-Flächen-Ansatz – Masterkurven tangential verbunden

In Modell *powerboat-tangent_mcs.ms2* ist der Rumpf nach dem Zwei-Flächen-Ansatz modelliert. Das heißt, der auslaufende Knick im Vorschiff erstreckt sich über die ganze Länge und teilt den Rumpf in die beiden C-spline Lofted Surface *topside* und *hull*. Beide Flächen haben jeweils die gleich Anzahl Mcs, die bis auf den Knickbereich mit Hilfe von Tangent Points tangential verbunden sind.

Bei dieser Konstruktion des Modells läßt sich die Vertexkurven-Methode zum Straken (siehe Anhang) verwenden. Die Knickkurve ist gleichzeitig eine Vertexkurve (C-spline Curve *vl3_chine*). Ihr Verlauf wird durch die entsprechenden Cps direkt bestimmt.

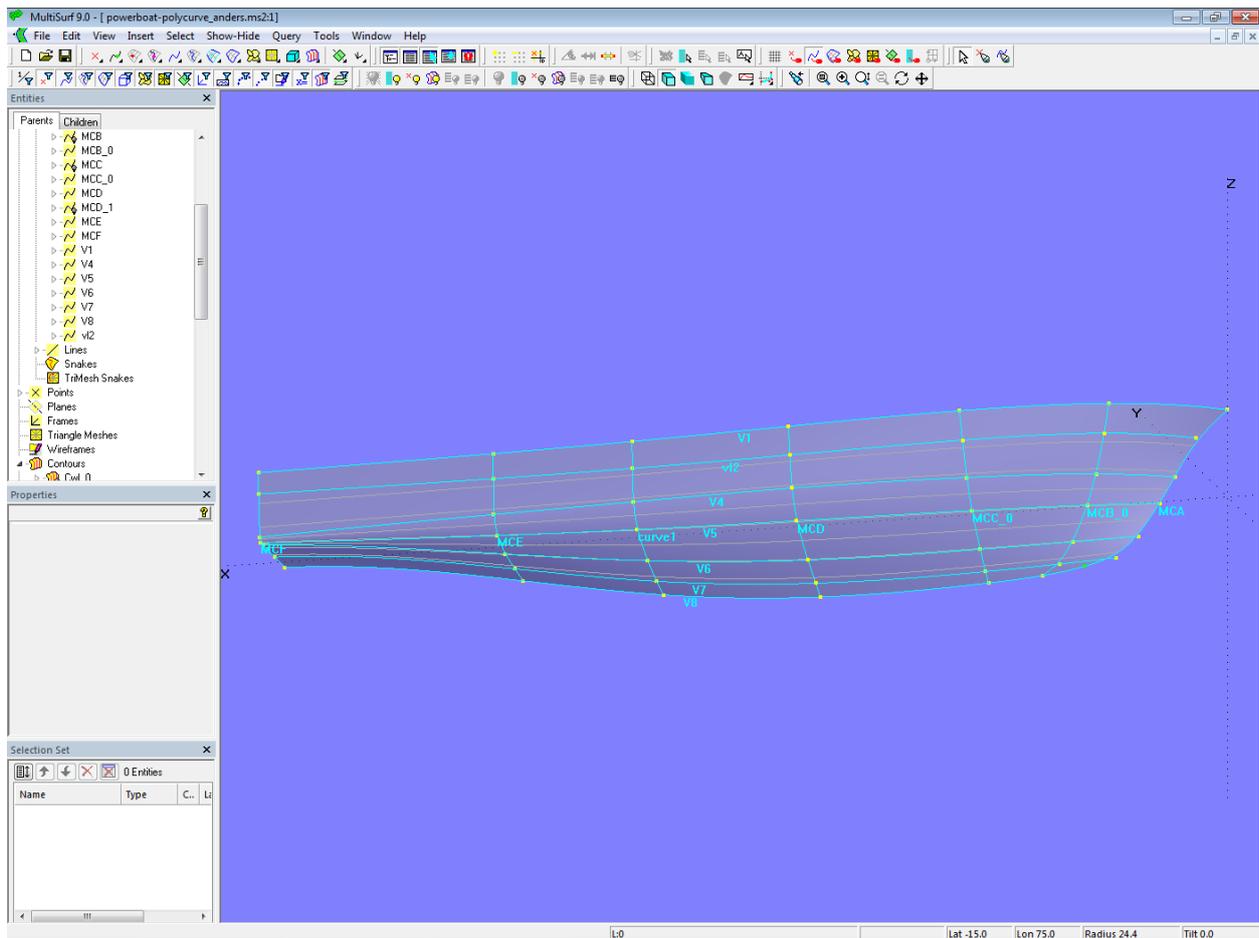


Modell *powerboat-tangent_mcs.ms2* – Masterkurven und Strahlfurkurven der C-spline Lofted Surfaces *topside* und *hull*

3.1.2 Eine-Fläche-Ansatz – Masterkurven verbunden zu PolyCurves

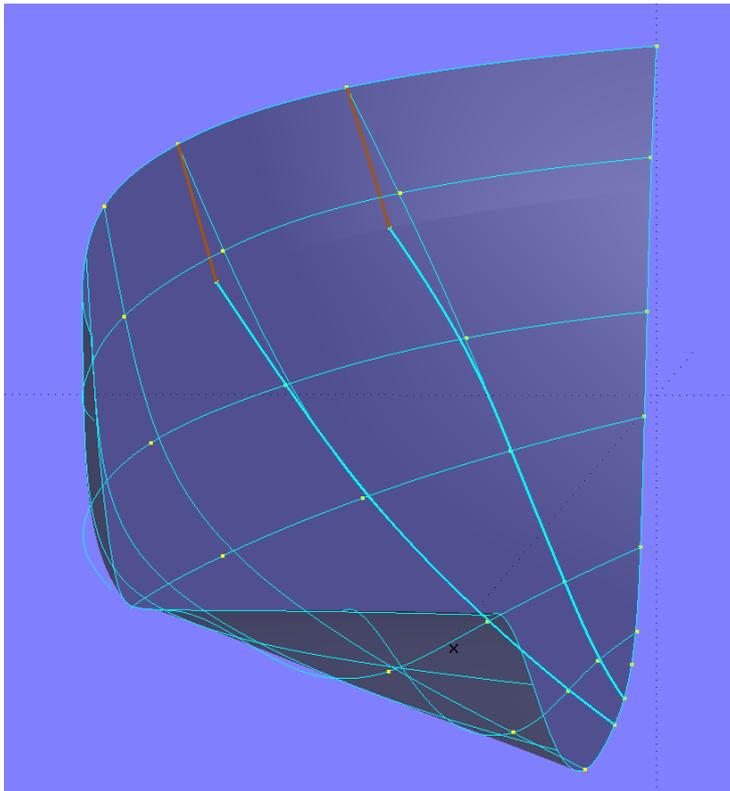
In Modell *powerboat-polycurve_mcs.ms2* ist der Rumpf nach dem Eine-Fläche-Ansatz modelliert. Von Ober- bis Unterkante Rumpf durchlaufende Mcs stützen die Fläche. Die Mcs im Knickbereich sind PolyCurves, die anderen Mcs sind B-spline Curves.

Auch hier gibt es als Ausgangspunkt eine Basisfläche ohne Knick, die C-spline Lofted Surface *hull_fair*. Alle Mcs sind B-spline Curves mit gleicher Anzahl Cps und gleichem Grad. Darum wird zum Straken die Vertexkurven-Methode genutzt.

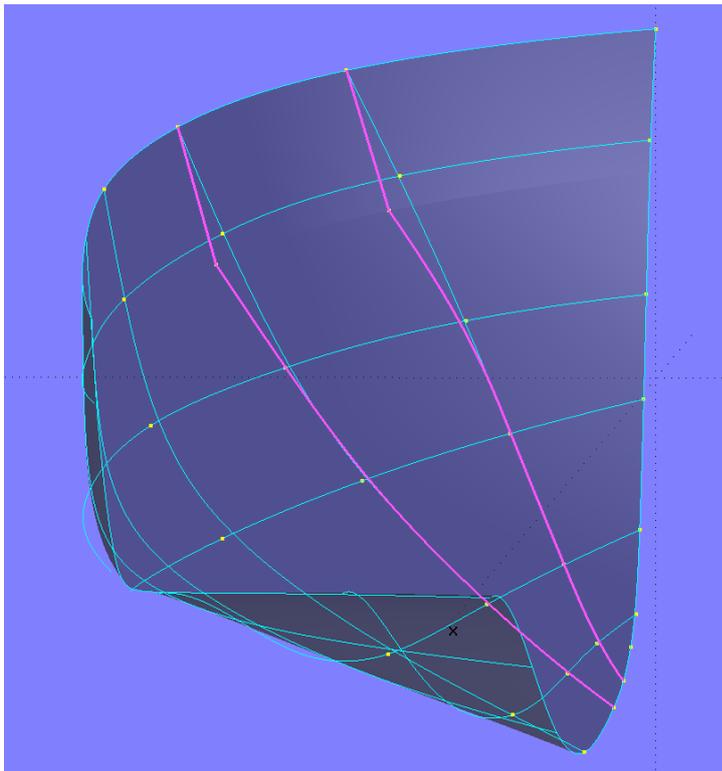


Modell powerboat-polycurve_mcs – glatte Basisfläche hull_fair mit durchlaufenden Mcs und Strahlhilfskurven

Im Bereich des Vorschiffs werden nun Mcs mit Knick für den oberen und unteren Rumpfbereich hinzugefügt und diese dann zu PolyCurves verbunden ([mc2_poly](#), [mc3_poly](#)).

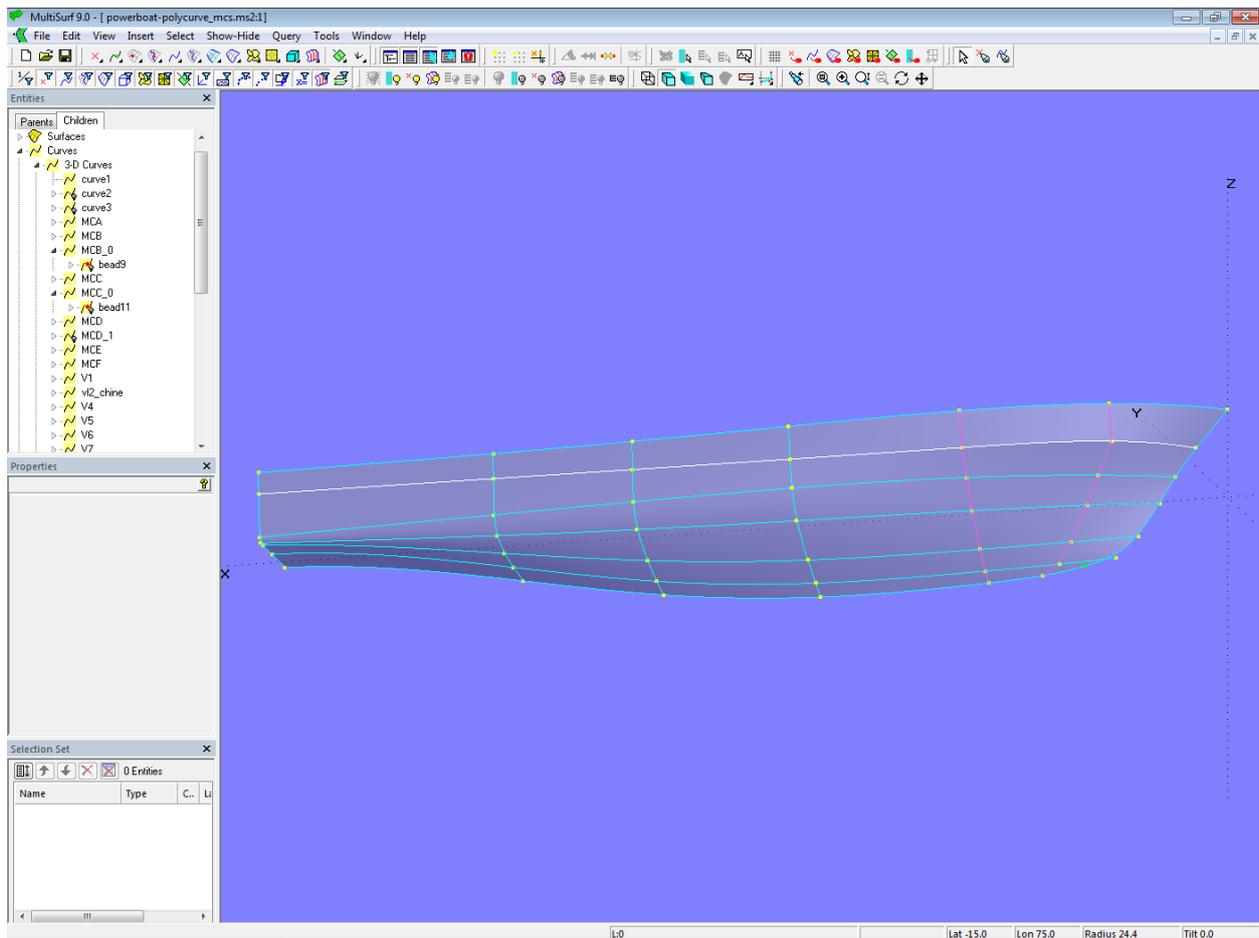


Modell powerboat-polycurve_mcs – Teilstücke der Vorschiffs-Masterkurven



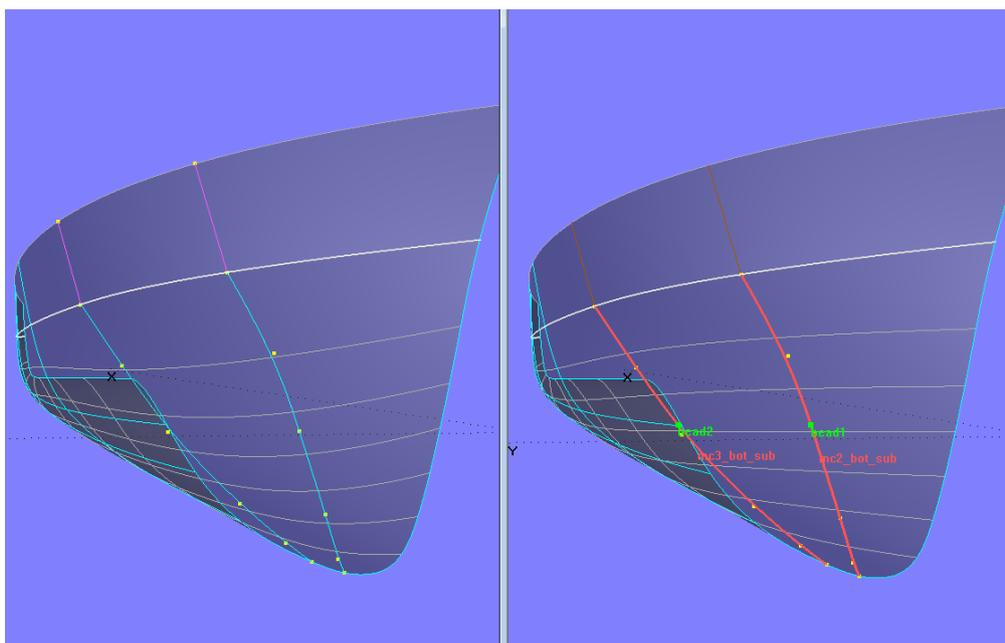
Modell powerboat-polycurve_mcs – Teilstücke verbunden zu PolyCurves

Mit den PolyCurves im Bugbereich und den hinteren Mcs wird die eigentliche Rumpffläche mit auslaufendem Knick erzeugt (C-spline Lofted Surface [hull_w_chine](#)). Der end t-value für [mc2_poly](#) und [mc3_poly](#) muß passend gewählt werden, damit die UVSnake [chine](#) strakend verläuft. An beiden PolyCurves muß der Wert gleich sein.

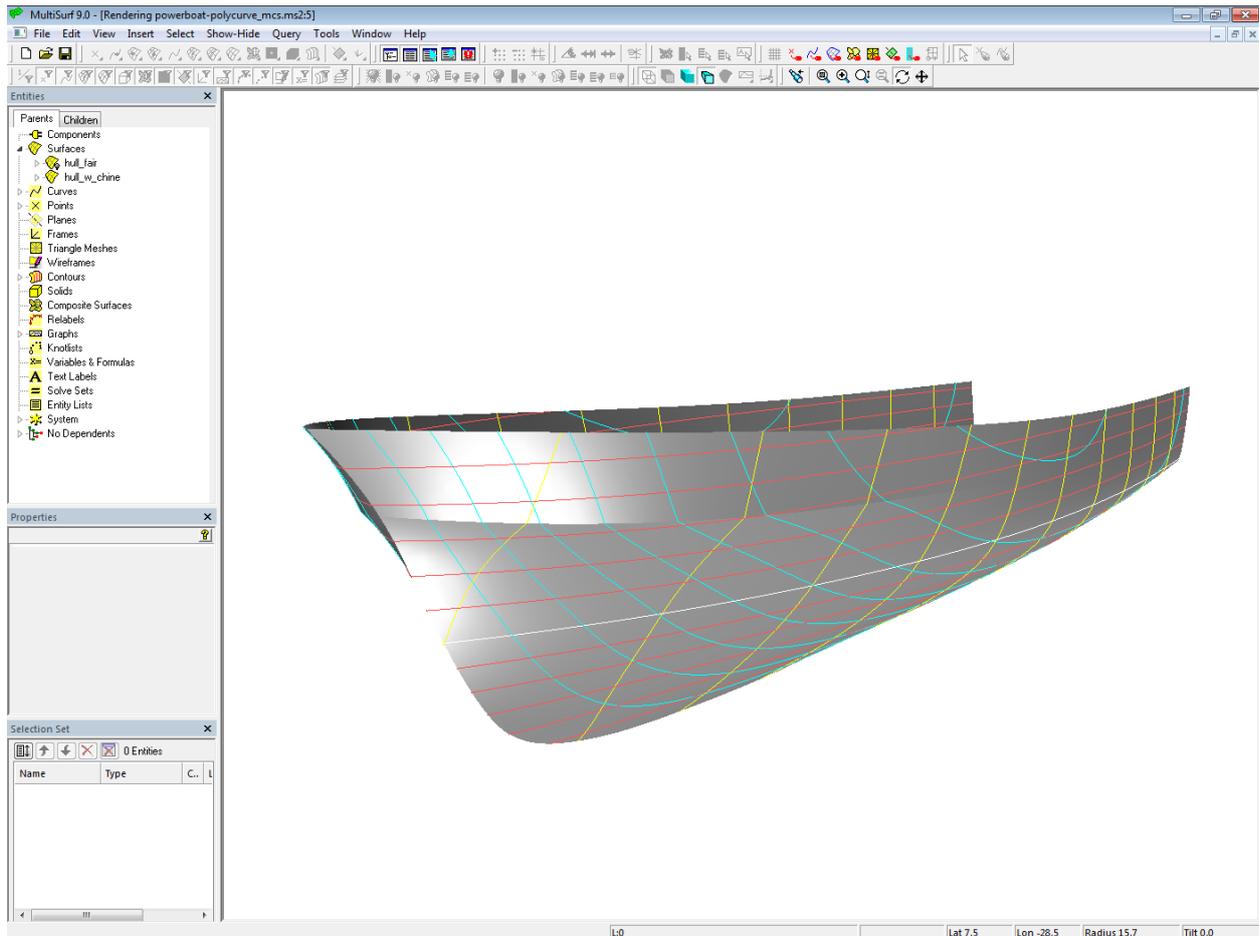


Modell powerboat-polycurve_mcs.ms2 – die Mcs der C-spline Lofted Surface hull_w_chine im Knickbereich sind PolyCurves.

Wie in den Modellen *sailboat-polycurve_mcs-1.ms2* und *clipper-polycurve_mcs.ms2* muß der Verlauf der u-Parameterkurven kontrolliert werden. Am einfachsten ist es, die Mcs *mc5_bot* und *mc6_bot* mit Sub-Curves zu relabeln und diese für die PolyCurve-Segmente zu verwenden. In Modell *powerboat-polycurve_mcs.ms2* ist diese Konstruktion gewählt.



Modell powerboat-polycurve_mcs.ms2 – links: unregelmäßiger Verlauf der u-Parameterkurven; rechts: regelmäßiger Verlauf der u-Parameterkurven durch SubCurve-Relabel



Modell powerboat-polycurve_mcs.ms2

4 Zusammenfassung

Im vorliegenden Tutorium werden Methoden gezeigt, wie sich Rumpfe mit einem Knick in der Spantform modellieren lassen.

Der Zwei-Flächen-Ansatz – separate Mcs

Mcs außerhalb des Knickbereichs stoßen tangential zusammen. Regelmäßiger Verlauf der Parameterkurven durch Vertexkurven-Methode. Knickkurve gleich Vertexkurve.

Der Zwei-Flächen-Ansatz – geteilte Mcs

Durchlaufende Mcs außerhalb des Knickbereichs aufteilen in SubCurves. Mcs im Knickbereich müssen relabeled werden, damit Parameterkurven straken.

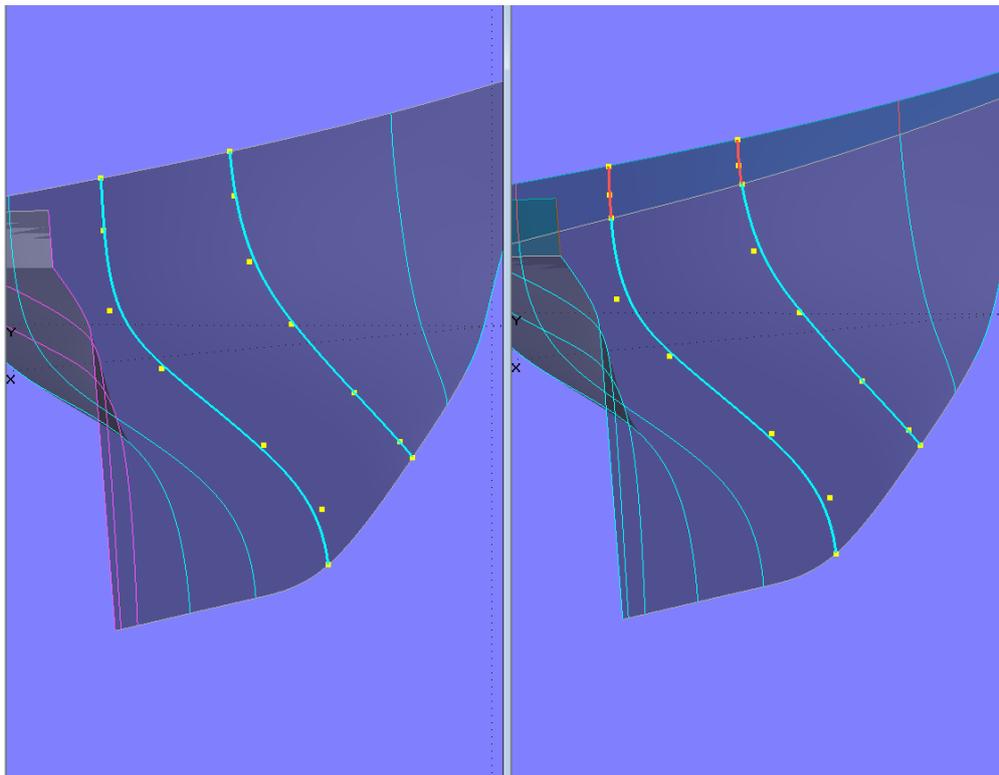
Der Eine-Fläche-Ansatz – durchlaufende Mcs und PolyCurves

Durchlaufende Mcs und PolyCurves im Knickbereich. PolyCurve-Segmente im Knickbereich müssen relabeled werden, damit Parameterkurven straken.

Welche Methode für einen Rumpf mit auslaufendem Knick am zweckmäßigsten ist, hängt davon ab, wie groß der Anteil der glatten Rumpffläche im Vergleich zum Bereich mit Knick ist.

Bei den Beispielen der klassischen Yacht und dem Motorboot verläuft die Knickkurve in relativ geringem Abstand von der Rumpfoberkante. Der obere Flächenstreifen ist schmal im Vergleich zum unteren, der Knickbereich ist relativ klein. Der Knick ist mehr oder weniger ein lokales Formmerkmal, der größere Anteil der Rumpffläche im Spantgurtmaß ist glatt. Dann ist der Eine-Fläche-Ansatz (durchlaufende Mcs und PolyCurves) naheliegend. Ausgehend von einem glatten Basisrumpf wird der Rumpf über PolyCurves im Knickbereich nach außen in die gewünschte Form „gedrückt“.

Verwendet man bei einer solchen Rumpfform (relativ kleiner Knickbereich) den Zwei-Flächen-Ansatz mit separaten Mcs, sind im glatten Rumpfbereich die Mcs für die schmale obere Fläche relativ kurz. Und da die Mcs für diese Fläche mit mindestens 3 Cps definiert werden müssen, liegen sie dicht beieinander. Zwar sind mit Hilfe von Tangent Points zusammengehörige Mcs fest tangential verbunden, aber wenn an den Mcs für die breitere untere Fläche etwas geändert wird, muß man die Cps nachjustieren. Entsprechende Feinjustierung ist erforderlich.



Kontrollpunkt-Verteilung. Links: durchlaufende Mcs. Rechts: tangential verbundene Mcs

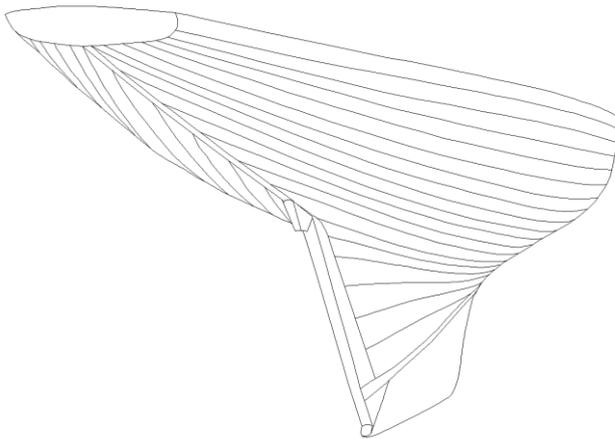
Verwendet man bei einer Rumpfform mit Knickkurve nahe der Oberkante den Zwei-Flächen-Ansatz mit SubCurves von durchlaufenden Mcs, dann können deren Cps gleichmäßiger über den Kurvenverlauf verteilt werden.

Beim Beispiel des Segelbootsrumpfs ist der Abstand der Knickkurve von Oberkante Rumpf größer, sie liegt näher zur Spantmitte. Dann bieten sich beide Varianten des Zwei-Flächen-Ansatzes an.

5 Anhang – die Vertexkurven-Methode

Die Aufgabe beim Modellieren eines Rumpfes besteht nicht nur darin, eine Fläche in der gewünschten Form zu erzeugen, die Fläche muß auch glatt sein, sie muß straken. Ähnlich wie bei einem realen Rumpf

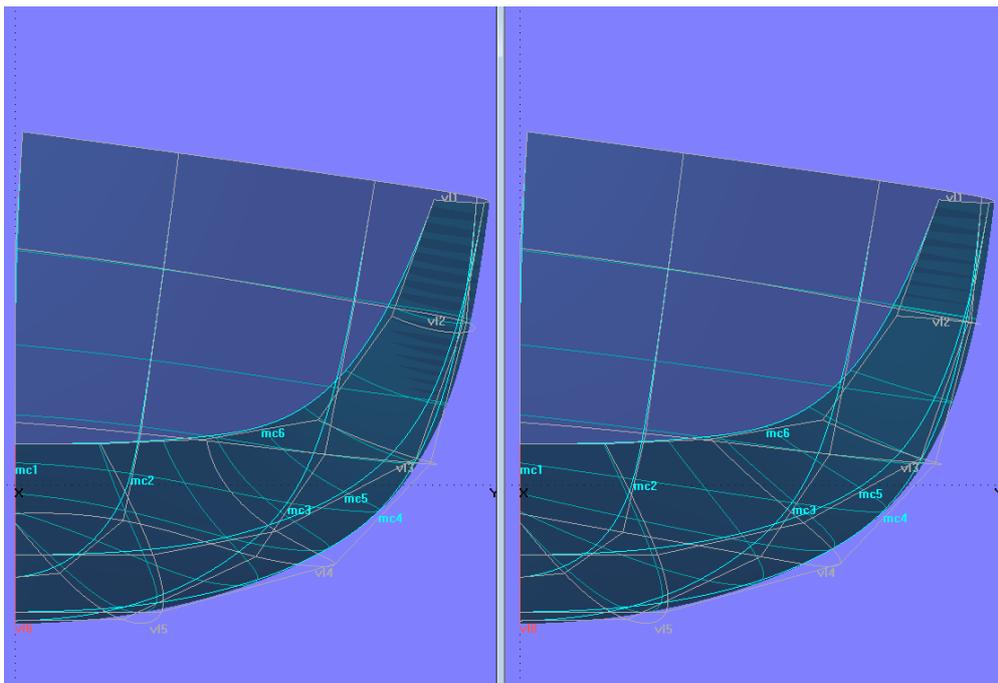
in Klinker-, Karweel- oder Leistenbauweise mit seinen harmonisch verlaufenden Planken ist eine C-spline Lofted Surface glatt, wenn ihre erzeugenden Lofting Curves (ihre "Planken") straken.



Der Verlauf der Lofting Curves wird angezeigt, wenn im Properties-Manager in den Eigenschaften einer Lofted Surface „Show u-constant“ auf „True“ gesetzt ist. Dann wird die mit der Eigenschaft „u-Divisions“ festgelegte Serie von Lofting Curves angezeigt. Diese Kurven werden auch als u-Parameterkurven der Fläche bezeichnet.

Der Verlauf der u-Parameterkurven hängt von der Parametrisierung der Masterkurven ab. Haben die Mcs den gleichen Typ, die gleiche Anzahl Cps und sind die Cps harmonisch angeordnet, verlaufen auch die u-Parameterkurven regelmäßig.

Ein einfacher Weg, um Cps harmonisch anzuordnen, besteht darin, alle korrespondierenden Cps der Mcs mit C-spline Curves zu verbinden. Diese Kurven werden als Vertexkurven bezeichnet. Sie zeigen, wie sich die Position einander entsprechender Cps vom Bug zum Heck hin verändert. Vertexkurven sind also Hilfskurven zum Straken einer C-spline Lofted Surface. Verlaufen sie in harmonischer, regelmäßiger Weise, ist die Fläche glatt.

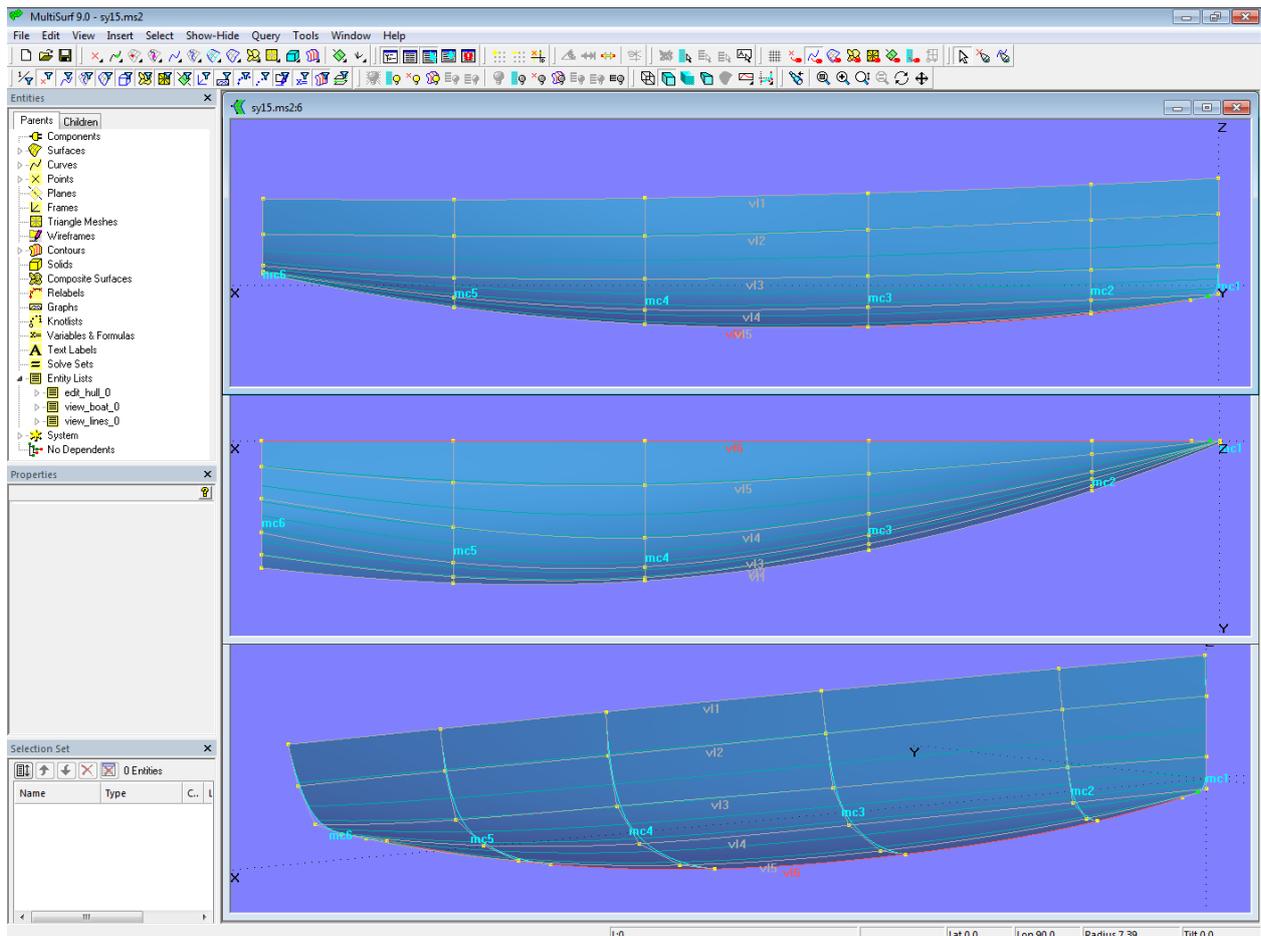


Bei einer C-spline Lofted Surface besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem Verlauf ihrer u-Parameterkurven und dem Verlauf der Vertexkurven.

Eine der Voraussetzungen für die Vertexkurven-Methode – alle Mcs müssen die gleiche Anzahl von Cps haben – erzwingt, dass die Mc mit der kompliziertesten Form die notwendige Anzahl der Cps bestimmt. Obwohl andere Mcs mit weniger Punkten definiert werden könnten, muß die erforderliche höhere Anzahl verwendet werden.

Dieser Nachteil wird mehr als aufgewogen durch die Möglichkeit, mit der Vertexkurven-Methode schnell und visuell verständlich den Strak einer C-spline Lofted Surface zu kontrollieren.

Die Modellieraufgabe hat also zwei Seiten - man muß die Cps an allen Mcs so anordnen, dass sich die gewünschte Rumpfform ergibt und gleichzeitig die Vertexkurven einen strakenden Verlauf annehmen.



Vertexkurven als Strakhilfe

Es sei betont, dass unregelmäßige u-Parameterkurven nicht zwingend ein Anzeichen dafür ist, daß die Fläche nicht strakt. Man stelle sich einen glatten weißen Rumpf vor, auf den mit schwarzem Stift Längskurven gemalt werden. Wie krumm diese auch immer sein mögen, der Rumpf bleibt glatt.

Das Modellieren von Rümpfen nach der Vertexkurven-Methode ist jedoch viel einfacher und schneller, als bei unähnlichen Mcs (weil unterschiedlich im Typ, Grad oder Anzahl der Cps) durch Relabeln zu versuchen, regelmäßig verlaufende u-Parameterkurven zu erzeugen, oder ständig zu prüfen, ob die Fläche nicht trotzdem glatt ist, obwohl die u-Parameterkurven nicht straken.

