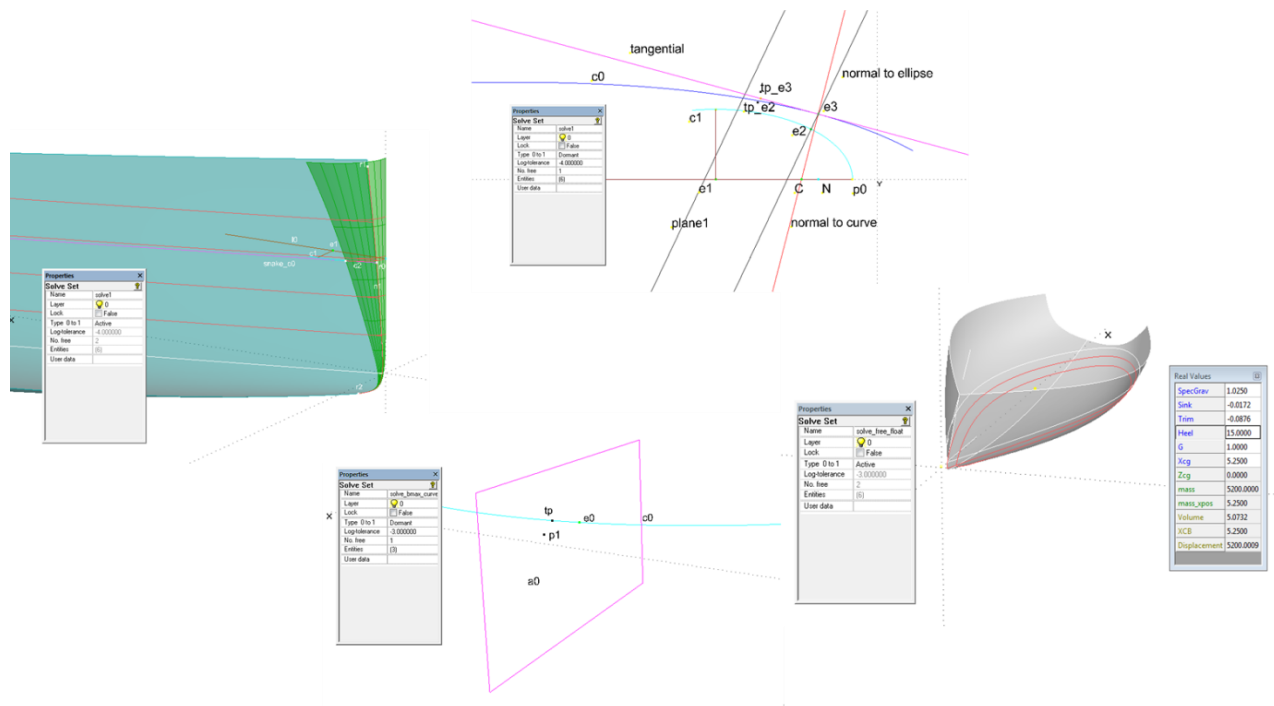


# Das Solve Set-Objekt

## Über iterative Lösungen von Geometrieproblemen

von Reinhard Siegel

Oktober 2020



## Inhalt

Einleitung

Das Solve Set-Objekt

Aufgabe 1 – maximale Kurvenbreite

Aufgabe 2 – maximale Rumpfbreite

Aufgabe 3 – Kreisbogen berührt Kurve

Aufgabe 4 – Ellipsenbogen berührt Kurve

Bugrondung mit Ellipsenbögen

Weitere Solve Set-Anwendungen

- Proximity Bead – Kreisbogen berührt zwei Kurven
- Kreisbogen berührt Kurve – Version mit Proximity Bead
- Hydrostatik – freie Schwimmlage
- Automatische Variation der Rumpfform

## Einleitung

Es gibt Geometrie Probleme, die nicht einfach zu lösen sind. Man konstruiere beispielsweise eine Linie, die durch einen bestimmten Punkt verläuft und einen Kreis tangiert. Oder man bestimme die maximale Breite einer Kurve oder eines Rumpfes. Man kann versuchen, diese geometrischen Konstruktionen annähernd und manuell auszuführen, muß sie aber wiederholen, wenn die Basisgeometrie sich ändert. Für derartige Geometrieaufgaben bietet MultiSurf eine dauerhafte, feste Lösung – das Objekt Solve Set.

Dieses Tutorium wurde angeregt durch einen MultiSurf-User, der anfragte, wie sich Wasserlinien eines Bootsrumpfes am Bug elliptisch abrunden lassen. Die Lösung dieses Geometrie Problems macht es erforderlich, den Berührungspunkt zwischen Wasserlinien und Ellipsenbögen zu bestimmen. Damit dies ein dauerhafter Teil des Modells ist, muß dazu ein besonderes Objekt verwendet werden – ein Solve Set.

Als Einführung in das Thema Solve Set werden zunächst zwei einfache Beispiele betrachtet. Anschließend wird untersucht, wie sich Mittelpunkt und Radius eines Kreises bestimmen lassen, der eine Kurve berührt. Darauf aufbauend wird der Berührungspunkt zwischen einer Ellipse und einer Kurve bestimmt, um dann die Frage nach der elliptischen Bugrundung zu beantworten. Abschließend wird an zwei Beispielen gezeigt, wie sich Solve Set-Objekte bei der Bestimmung der freien Schwimmlage eines Rumpfes und bei der Variation der Rumpfform für Sollwerte von Verdrängung und LCB verwenden lassen.

## 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.

## Das Solve Set-Objekt

Das Objekt Solve Set ermöglicht Konstruktionen, die allein mit den in MultiSurf zur Verfügung stehenden Punkt-, Kurven- und Flächenarten nicht möglich sind.

### Solve Set – charakteristische Daten:

*Name* -- as with any entity

*Layer* -- as with any entity

*Lock* -- as with any entity

*Type* – 0 (Dormant) or 1 (Active)

*Log Tolerance*

*No. Free* – Number of solve operations

*Entities* – Entities required for solve

*User data* – as with any entity

Das Solve Set-Objekt erfordert die Eingabe der für die Lösung erforderlichen Objekte in einer bestimmten Struktur:

(1) Freie Objekte mit einer festen Anzahl von Float-Daten: Point, Magnet, Bead, Ring, XPlane, YPlane, ZPlane. Jedes trägt je nach Anzahl der Float-Daten 1 bis 3 Freiheitsgrade für eine Gesamtzahl N Freiheitsgrade (Unbekannte) bei.

(2) Bedingungen. Dies sind N Objektpaare im Muster (Point, Plane/Surface). Jedes dieser Zielpaare stellt eine Gleichheitsbedingung dar. In der gewünschten endgültigen Konfiguration hat jeder Punkt einen Abstand von Null zu seiner entsprechenden Ebene oder Fläche.

Mindestens ein Objekt in jedem Zielpaar muss abhängig von mindestens einem der freien Objekte sein. Solve Set versucht, jeden freien Parameter so anzupassen, dass alle Ziele (Nullabstand) gleichzeitig erreicht werden. Dies erfordert in der Regel eine Iteration. Wenn diese Iteration innerhalb der Toleranz konvergiert, ist die Lösungsoperation erfolgreich und alle beteiligten Objekte bleiben an aktualisierten Positionen.

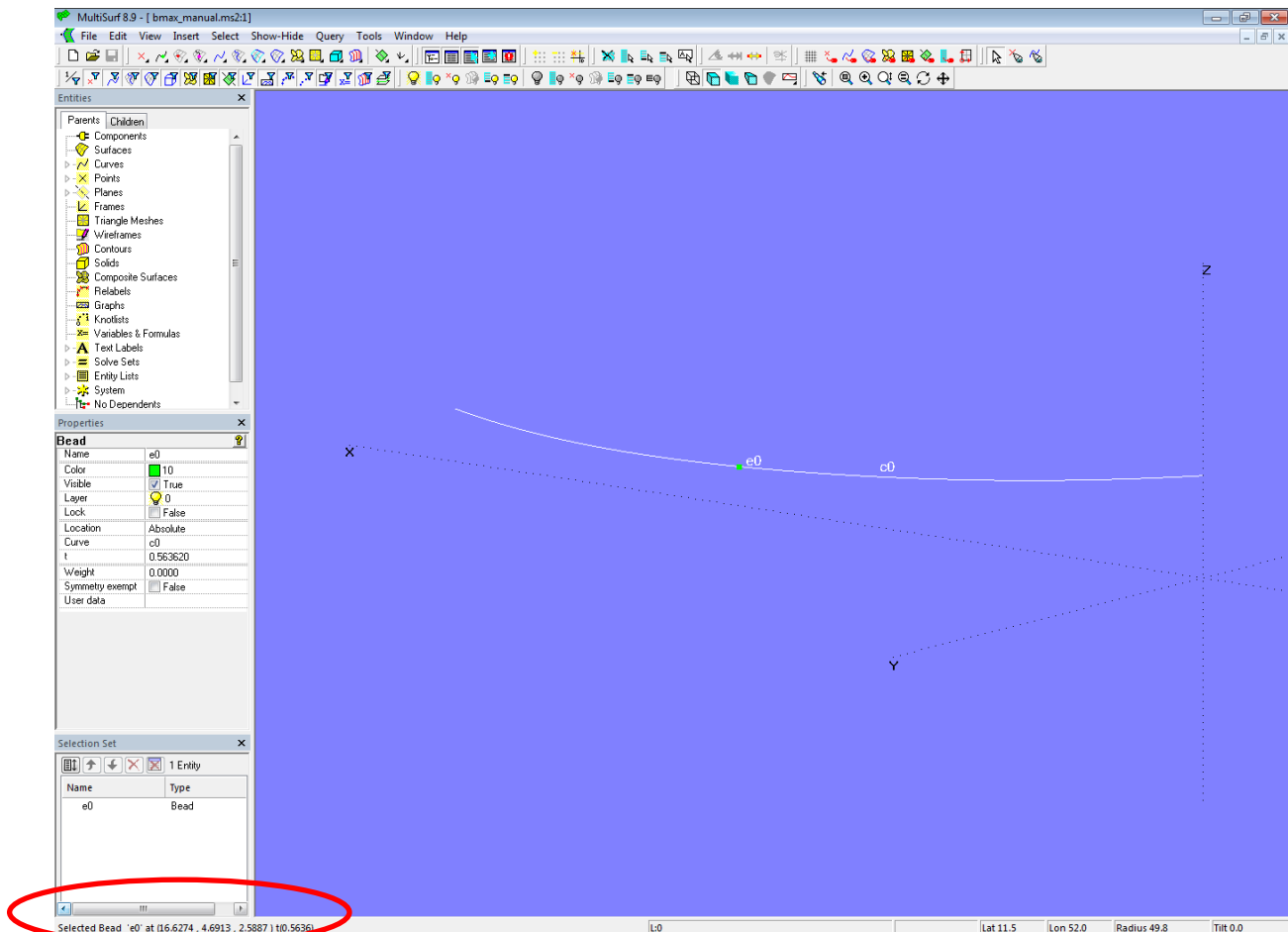
Das Solve Set-Objekt macht die Lösung zu einem dauerhaften Teil des Modells, wenn *Type* auf „Active“ gesetzt ist.

## Aufgabe 1 – maximale Kurvenbreite

Ein einfaches Problem – wo liegt die breiteste Stelle einer Kurve?

### Manuelle Lösung

Betrachten wir hierzu das Modell *curve\_bmax\_manual.ms2*. Wo liegt die breiteste Stelle der Kurve **c0**? Die manuelle Lösung wäre dies: man setzt den Bead **e0** auf die Kurve **c0** und verschiebt ihn. Dabei beobachtet man den Y-Wert in der Koordinatenzeile in der Status-Zeile.



Modell *curve\_bmax\_manual.ms2* – Bestimmung der maximalen Breite mit Bead *e0* und Status-Zeile

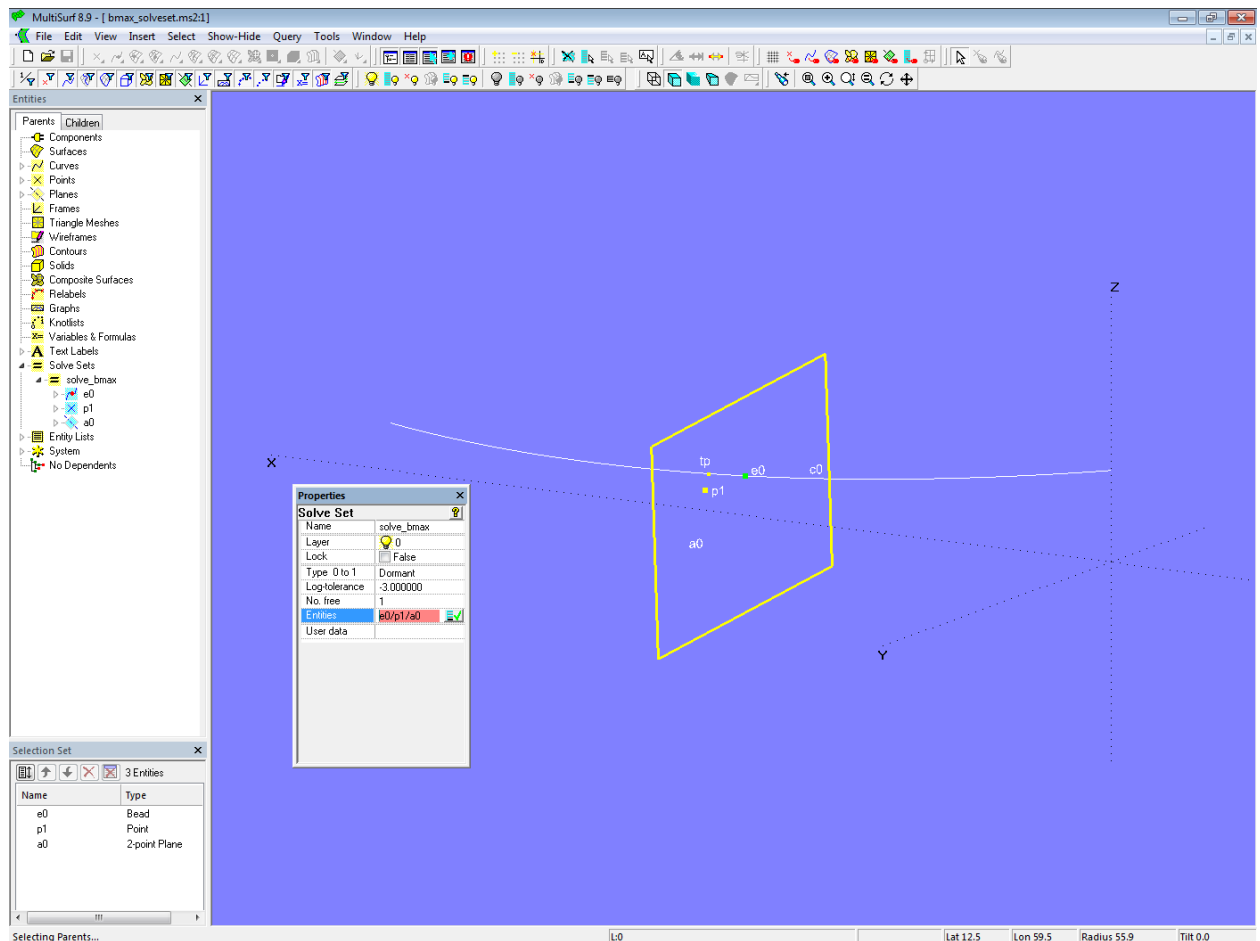
Ändert sich die Form der Kurve *c0*, muß die Position von *e0* neu bestimmt werden.

## Lösung mit Solve Set

In Modell *curve\_bmax\_solve.set.ms2* wird dagegen die Position von *e0* mit der maximalen Breite automatisch bestimmt. Dafür wird das Objekt Solve Set verwendet.

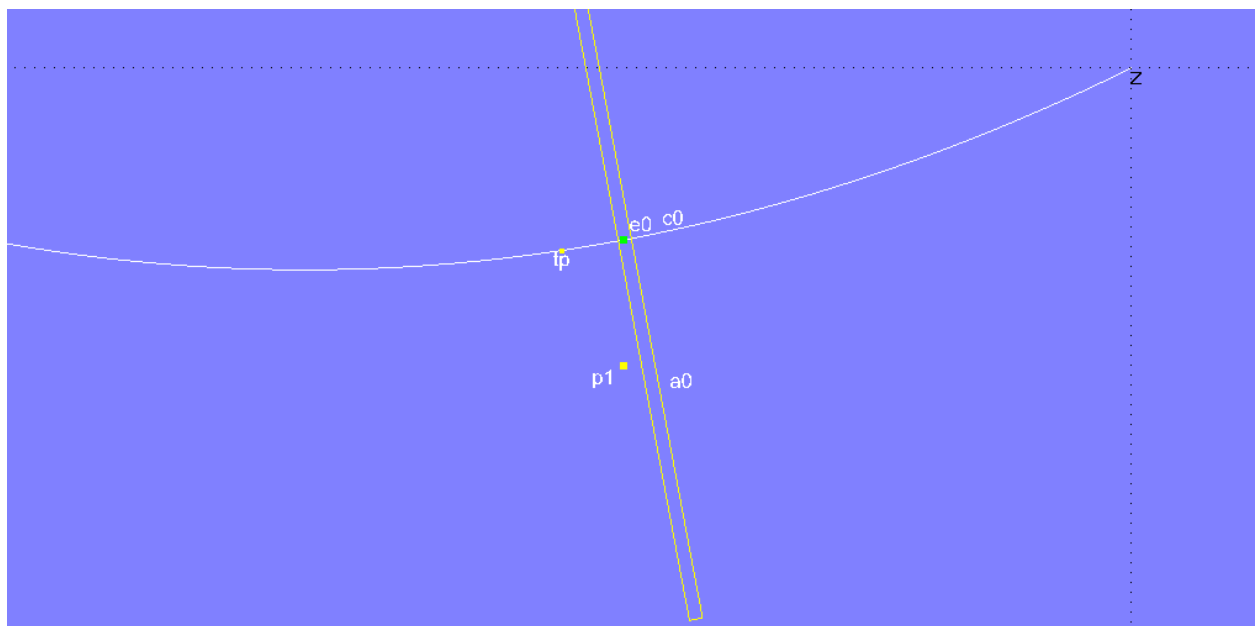
Betrachten wir das Modell genauer. Es gibt die Kurve *c0*. Auf *c0* liegt der Bead *e0*. Er ist Support für den Tangent Point *tp*. Mit *e0* und *tp* ist die 2-point Plane *a0* definiert. Sie ist also die Normalebene der Kurve *c0* im Kurvenpunkt *e0*. Weiterhin gibt es den Point *p1*, der zu *e0* lediglich in Y-Richtung versetzt ist.

Die Objektliste des Solve Sets *solve\_bmax\_curve* lautet: {*e0*; *p1*; *a0*}. Das bedeutet: das Solve Set-Objekt soll das freie Objekt *e0* so verschieben, dass der Abstand zwischen *p1* und *a0* zu Null wird (Objektpaar der Lösungsbedingung).

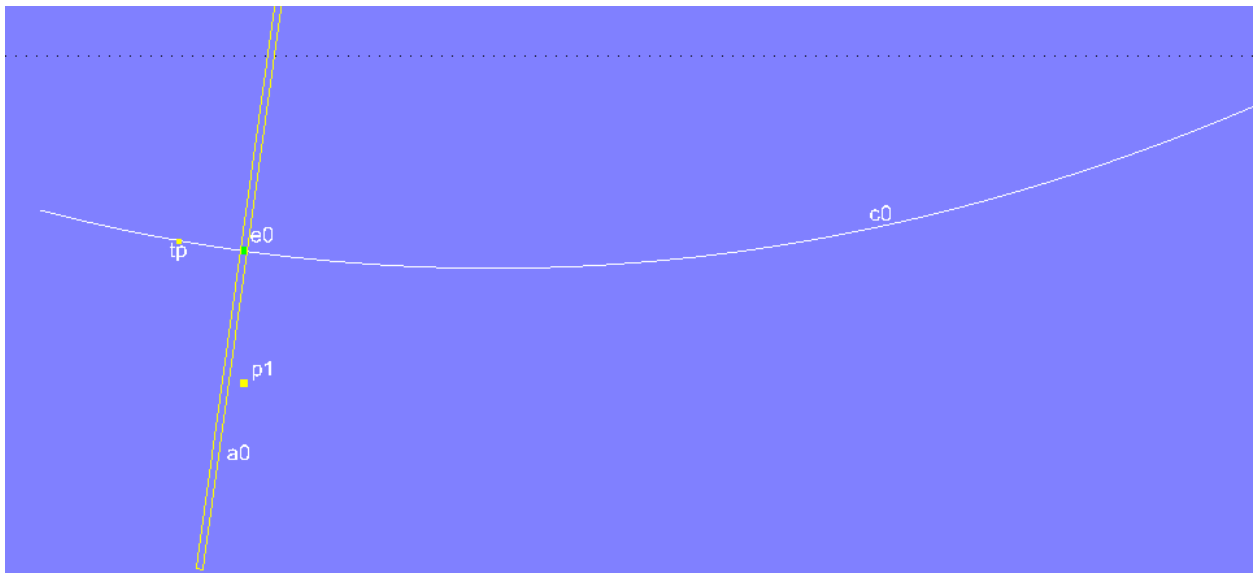


Modell curve\_bmax\_solve.set.ms2 – Solve Set *solve\_bmax\_curve* inaktiv (Type = Dormant)

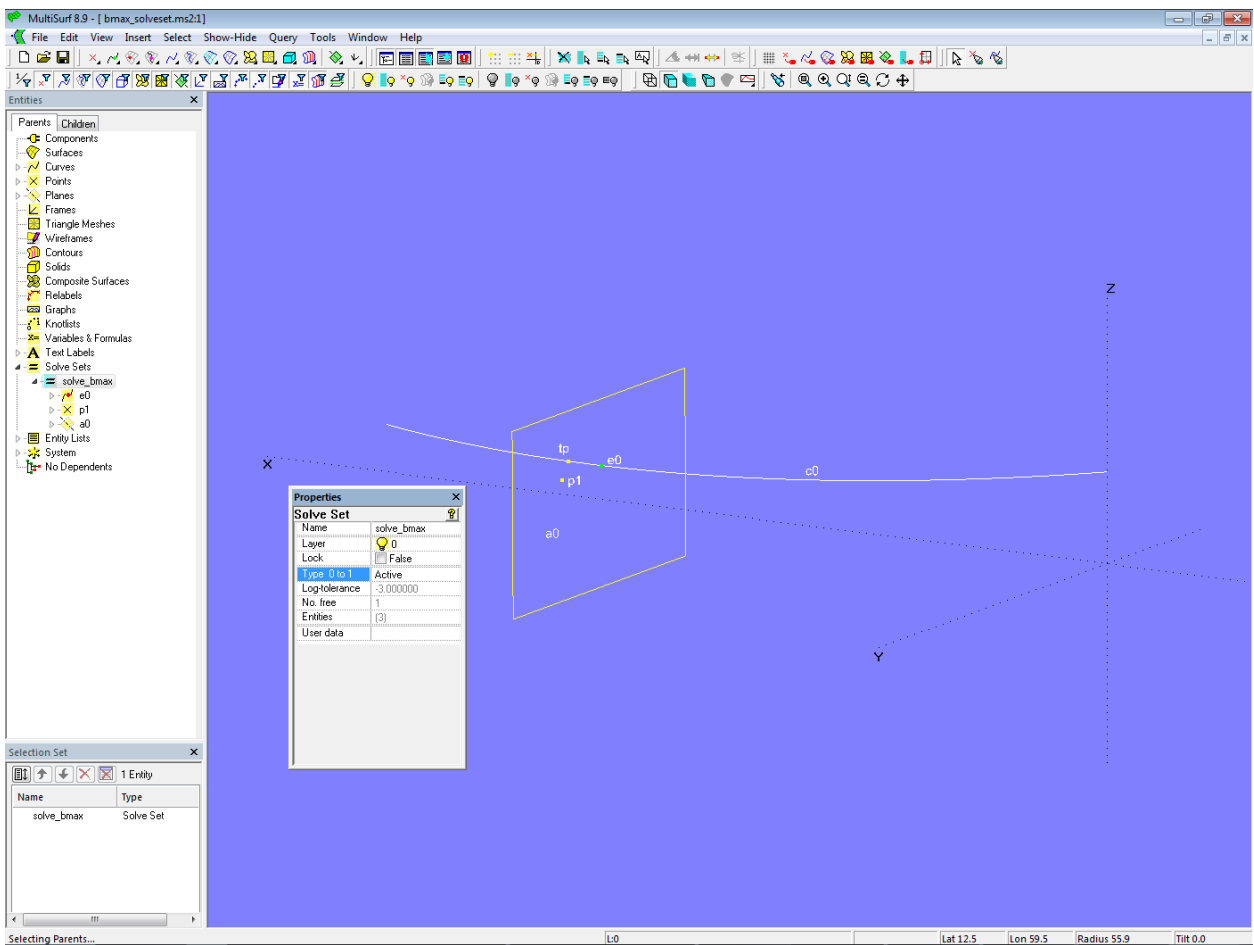
Befindet sich **e0** vor der maximalen Breite, liegt **p1** hinter der Ebene **a0**:



Befindet sich **e0** hinter der maximalen Breite, liegt **p1** vor der Ebene **a0**:

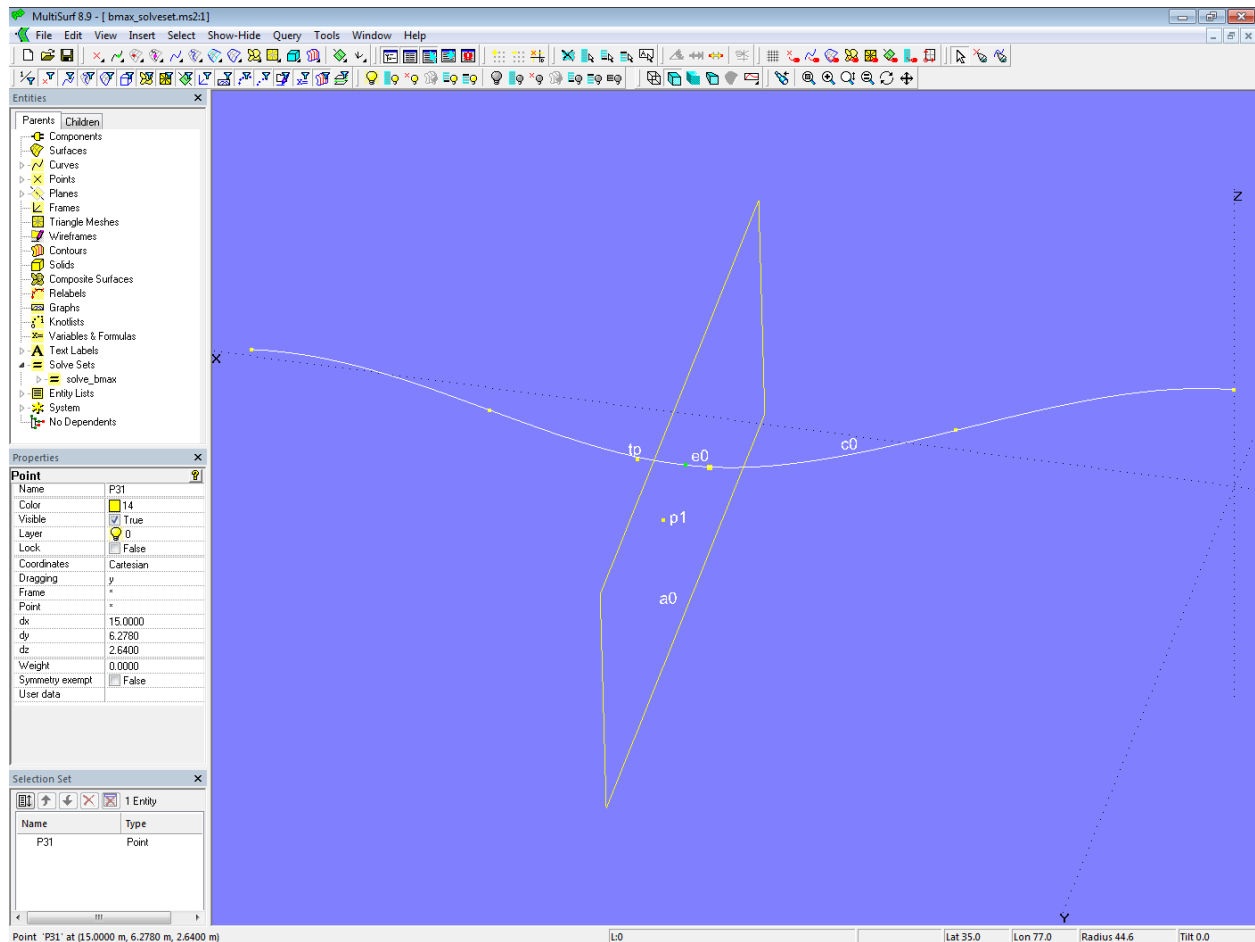


Hat **p1** von **a0** den Abstand Null, dann befindet sich **e0** in der maximalen Y-Position. Genau diesen Punkt bestimmt im Modell *curve\_bmax\_solveset.ms2* das Solve Set-Objekt **solve\_bmax\_curve** mit der Liste für freies Objekt und Objektpaar für die Lösungsbedingung: {**e0**; **p1**; **a0**}.



Modell *curve\_bmax\_solveset.ms2* – Solve Set **solve\_bmax\_curve** aktiv; für Bead **e0** wird automatisch die Position gefunden, für die sich die größte Breite ergibt.

Wird die Kurvenform geändert, wandert **e0** automatisch zur größten Breite.



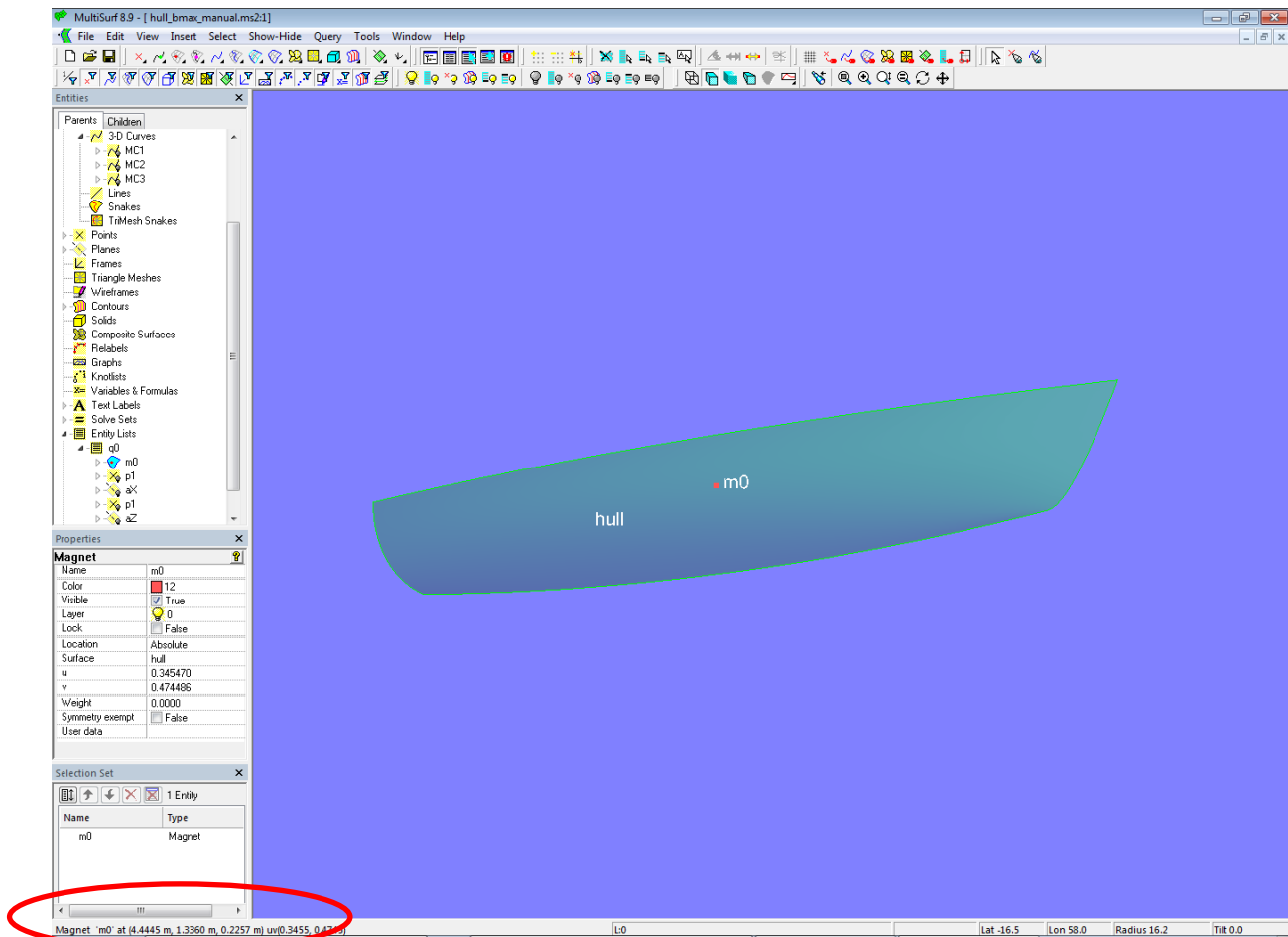
Modell *curve\_bmax\_solveaset.ms2* – ist das Solve Set-Objekt aktiv, ist seine Lösung ein dauerhafter Teil des Modells.

## Aufgabe 2 – maximale Rumpfbreite

Etwas komplizierter ist die Suche nach der breitesten Stelle eines Bootsrumpfes. Hier gibt es zwei Suchrichtungen – in Längsrichtung und in vertikaler Richtung.

### Manuelle Lösung

Mit Modell *hull\_bmax\_manual.ms2* kann nur per Hand die Lösung durch Verschieben des Magnets **m0** gefunden werden. Es ist nicht notwendiger Weise so, dass die größte Rumpfbreite an Seite Deck auftritt. Die Spanten könnten einfallend verlaufen.

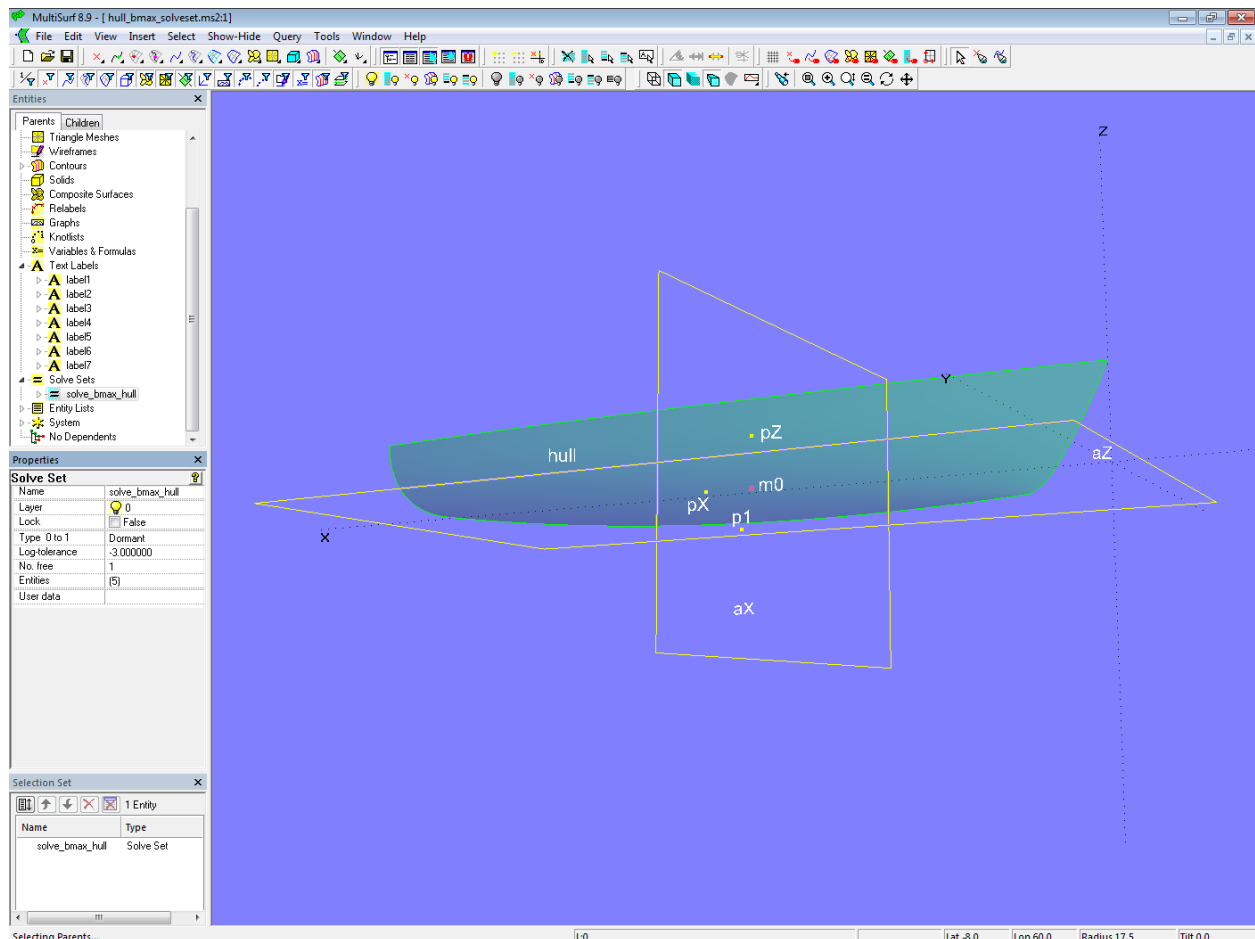


Modell hull\_bmax\_manual.ms2 – manuelle Bestimmung der maximalen Breite mit Magnet *m0* und Status-Zeile

## Lösung mit Solve Set

In Modell *hull\_bmax\_solve*.ms2 löst die Aufgabe dagegen das Solve Set-Objekt *solve\_bmax\_hull*.

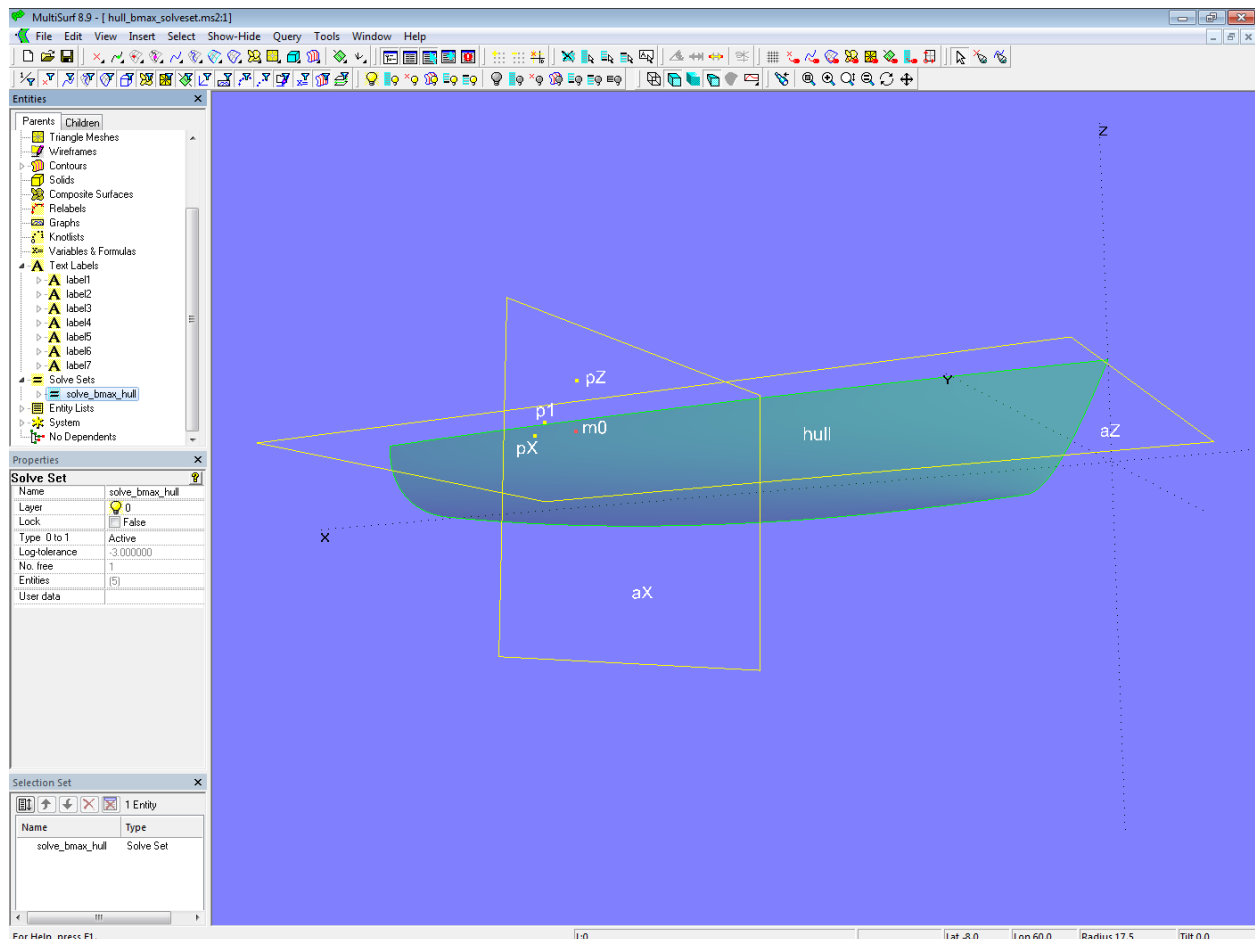




Modell hull\_bmax\_solve.ms2 – Solve Set *solve\_bmax\_hull* inaktiv

Auf dem Rumpf **hull** liegt Magnet **m0**. Relativ zu **m0** liegt der in X-Richtung versetzte Point **pX** sowie der in Z-Richtung versetzte Point **pZ**. Abhängig von **m0** ist auch der Offset Point **p1** (er steht senkrecht auf der Rumpffläche). Magnet **m0** und Point **pX** bestimmen die 2-point Plane **aX** (Spantebene), **m0** und **pZ** die 2-point Plane **aZ** (Wasserlinienebene).

Das Solve Set-Objekt **solve\_bmax\_hull** arbeitet mit der Objektliste {**m0**, **p1**, **aX**, **p1**; **aZ**}. Das heißt, die u- und v-Parameterwerte des freien Objekts **m0** werden durch Iteration so bestimmt, dass **p1** sowohl von **aX** (Objektpaar für Bedingung 1) als auch von **aZ** (Objektpaar für Bedingung 2) den Abstand Null hat, also in beiden Ebenen liegt. Dann liegt **m0** an der breitesten Stelle des Rumpfes.



Modell hull\_bmax\_solve.ms2 – Solve Set *solve\_bmx\_hull* aktiv

---

**Hinweis:** Mit den Punktarten Proximity Bead, Proximity Ring und Proximity Magnet lassen sich Aufgabe 1 und Aufgabe 2 ebenfalls lösen.

---

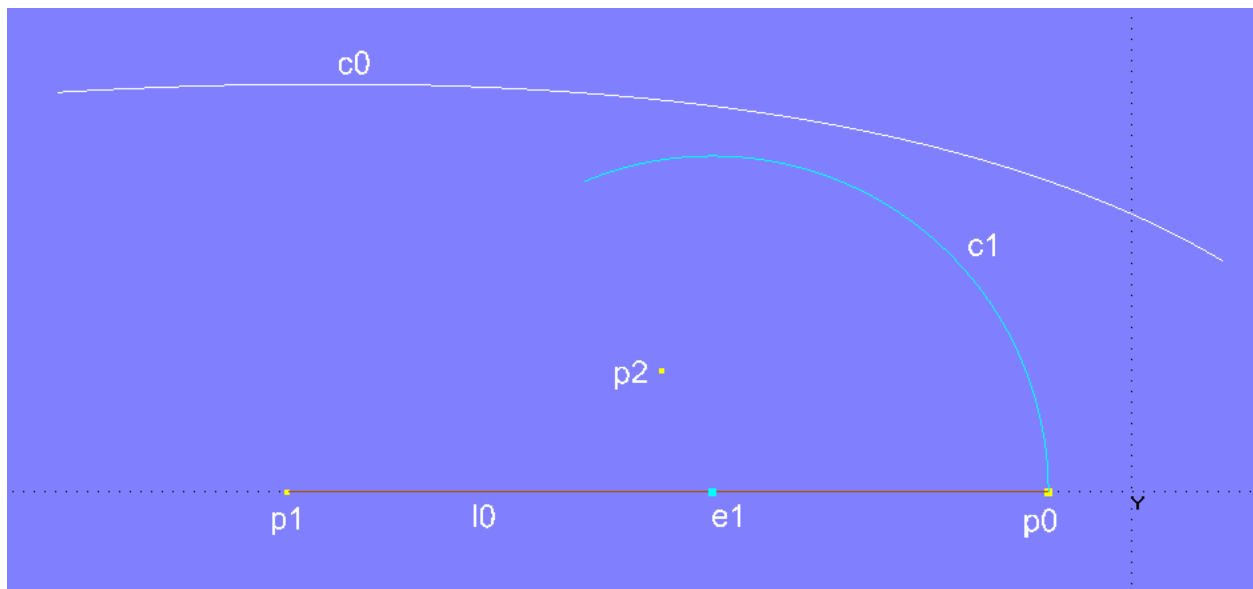
## Aufgabe 3 – Kreisbogen berührt Kurve

Eine Wasserlinie, die am Bug mit einer gewissen Breite endet, soll mit einem Kreisbogen abgerundet werden. Es ist bekannt, wo der Kreisbogen beginnt. Gesucht ist die Position des Mittelpunkts (und damit der Radius), so dass der Kreisbogen die Wasserlinienkurve berührt. Diese Aufgabe ist in Modell *arc\_tangent\_to\_curve.ms2* in allgemeiner Weise dargestellt.

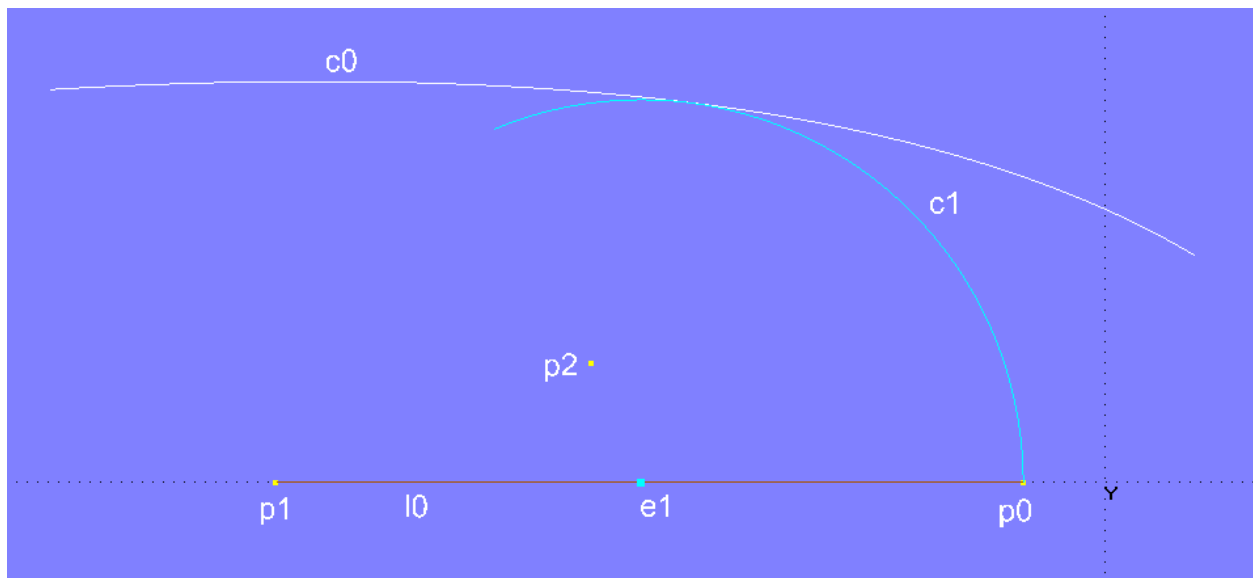
### Manuelle Lösung

Zum einen gibt es die Kurve *c0*, zum anderen den Kreisbogen *c1* (Arc, Type = 2). Er beginnt im Point *p0*, sein Mittelpunkt ist der Bead *e1* auf der Line *l0*, und er endet auf der gedachten Linie *e1-p2*.

Wird *e1* verschoben, ändert sich die Lage des Kreismittelpunkts, gleichzeitig auch der Kreisradius, da *p0* fest liegt. Manuell lässt sich so eine Position von *e1* finden, bei der der Kreisbogen die Kurve berührt.



Modell *arc\_tangent\_to\_curve.ms2* – gesucht ist die Position des Beads *e1*, so dass der Kreisbogen *c1* die Kurve *c0* berührt. Hier ist der Radius (Distanz *p0-e1*) noch zu klein.



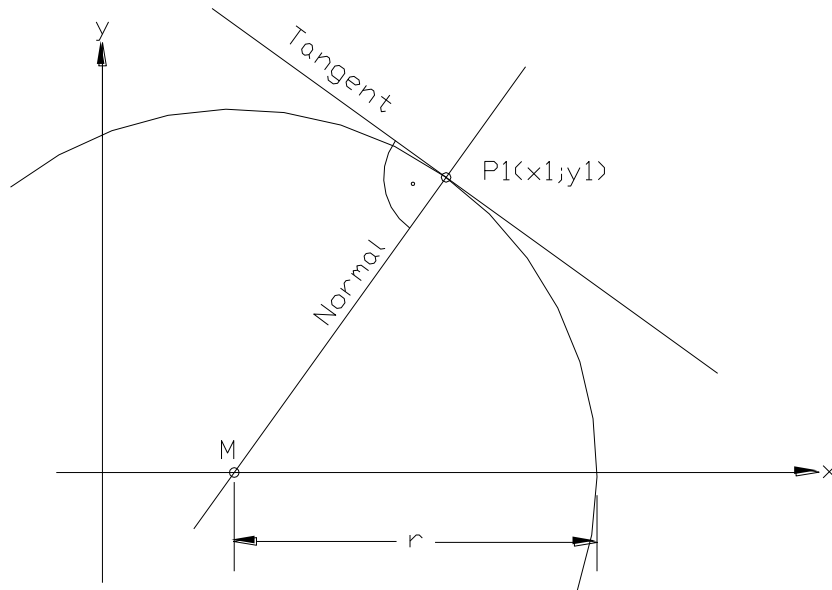
Modell *arc\_tangent\_to\_curve.ms2* – manuell ermittelte Position von *e1*, so dass der Kreisbogen die Kurve berührt.

Ändert sich die Form der Kurve *c0*, muß die Position von *e1* korrigiert werden. Ein Herantasten an die Lösung ist akzeptabel, wenn man es im Modell lediglich ein- oder zweimal machen muß. Soll aber die Berührung der Kurve durch den Kreisbogen eine dauerhafte Eigenschaft des Modells sein, muß ein Solve Set-Objekt verwendet werden.

### Lösung mit Solve Set

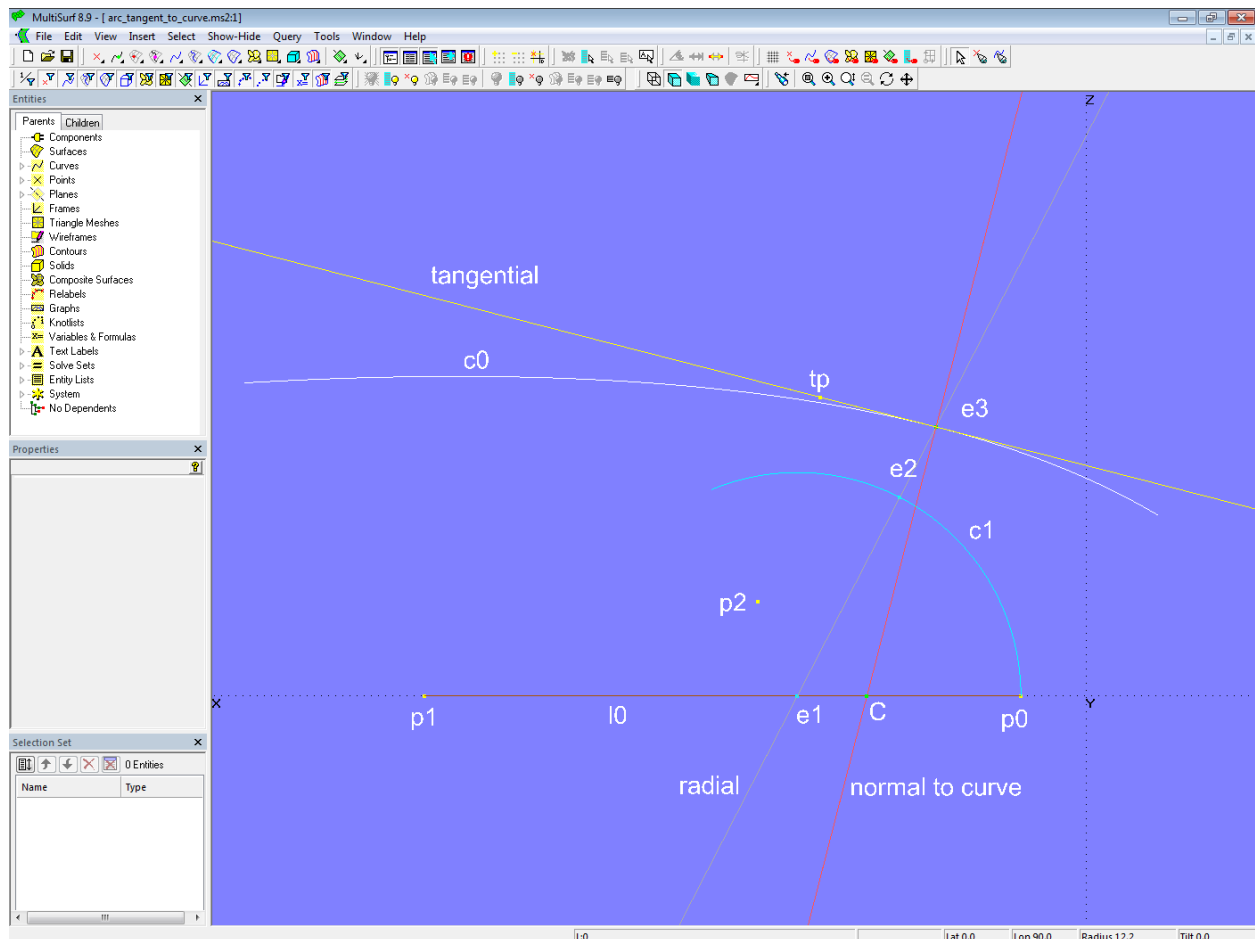
Was sind die geometrischen Bedingungen dafür, dass Kurve *c0* vom Kreisbogen *c1* berührt wird? Zum einen muß der Abstand zwischen einem Punkt auf dem Kreis und einem Punkt auf der Kurve gleich Null sein. Zum anderen muß die Tangente im Kreispunkt gleich der Tangente im Kurvenpunkt sein. Beziehungsweise es müssen die Normalen gleich sein.

Bei einem Kreis verläuft die Normale immer durch den Mittelpunkt; die Tangente ist senkrecht dazu.



*Kreis – die Normale verläuft durch den Mittelpunkt.*

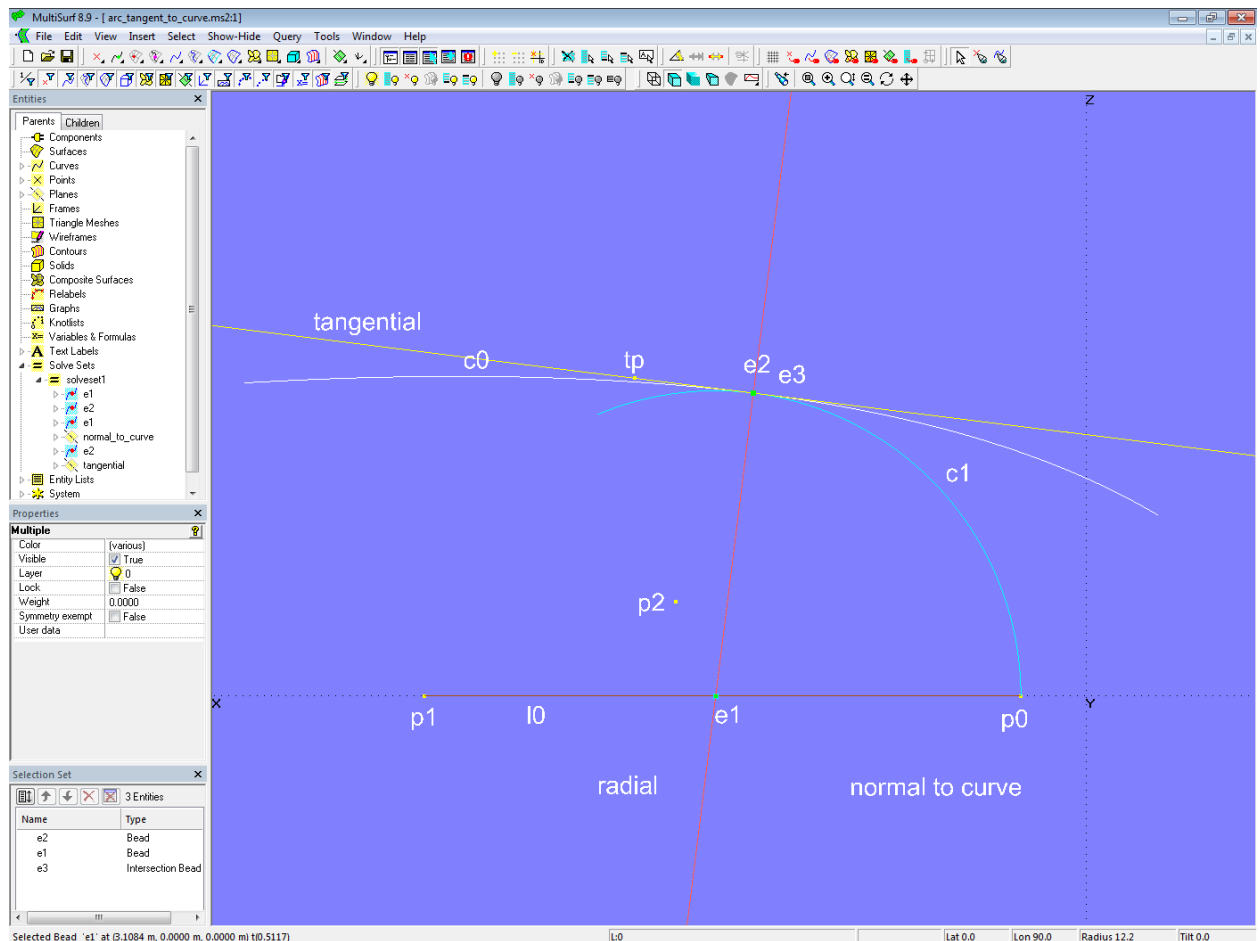
Um diese Bedingungen in das Modell *arc\_tangent\_to\_curve.ms2* einzubauen, gibt es auf Arc **c1** den Bead **e2**. Davon abhängig ist Tangent Point **tp\_e2**. Mit beiden Punkten ist die 2-point Plane **radial** definiert. Diese Ebene schneidet die Kurve **c0** im Intersection Bead **e3**. Von **e3** abhängig ist der Tangent Point **tp\_e3**. Mit **e3** und **tp\_e3** ist die 2-point Plane **normal\_to\_curve** erzeugt. Sie ist die Normale der Kurve **c0** im Punkt **e3**. Diese Ebene schneidet die Line **l0** im Intersection Bead **C**. Mit den Beads **e3** und **C** ist die 2-point Plane **tangential** definiert. Sie ist die Tangente der Kurve **c0** im Punkt **e3**.



Modell `arc_tangent_to_curve.ms2` – Solve Set `solve_touch_curve` nicht aktiv

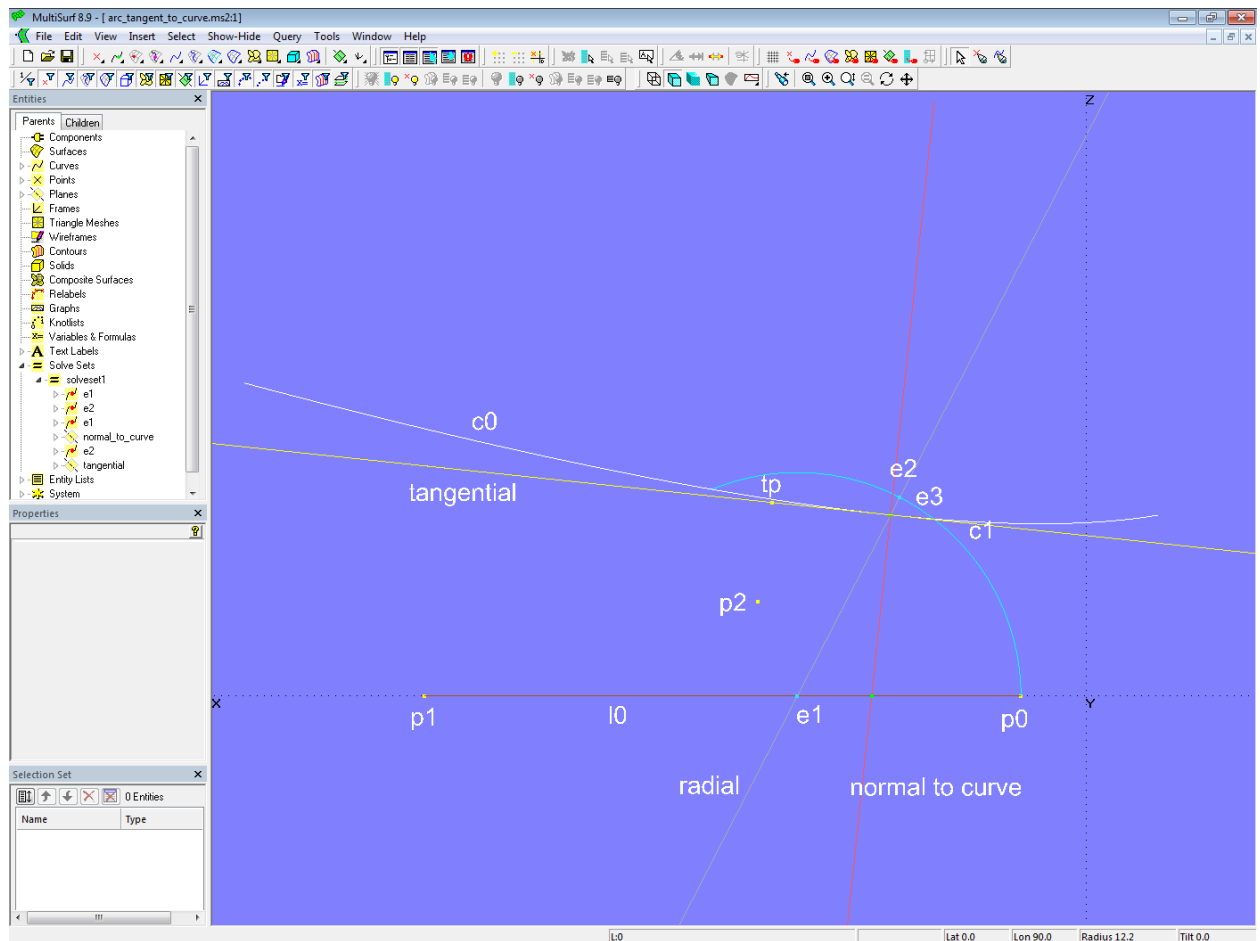
Die beiden freien Objekte des Solve Set-Objekts `solve_touch_curve` sind die Beads `e1` und `e2`. Ihre Position (ihr t-Parameterwert) muß so variiert werden, dass zum einen `e1` von der Ebene `normal_to_curve` den Abstand Null hat (Objektpaar für Bedingung 1). Dann verläuft die Ebene `normal_to_curve` durch den Kreismittelpunkt, ist also auch Normale an den Kreis. Zum anderen muß gleichzeitig `e2` von der Ebene `tangential` auch den Abstand Null haben (Objektpaar für Bedingung 2). Dann hat `e2` auch von `e3` den Abstand Null.

Folglich lautet die Liste der für die Lösung erforderlichen Objekte des Solve Set `solve_touch_curve`: {`e1`; `e2`; `e1`; `normal_to_curve`; `e2`; `tangential`}.

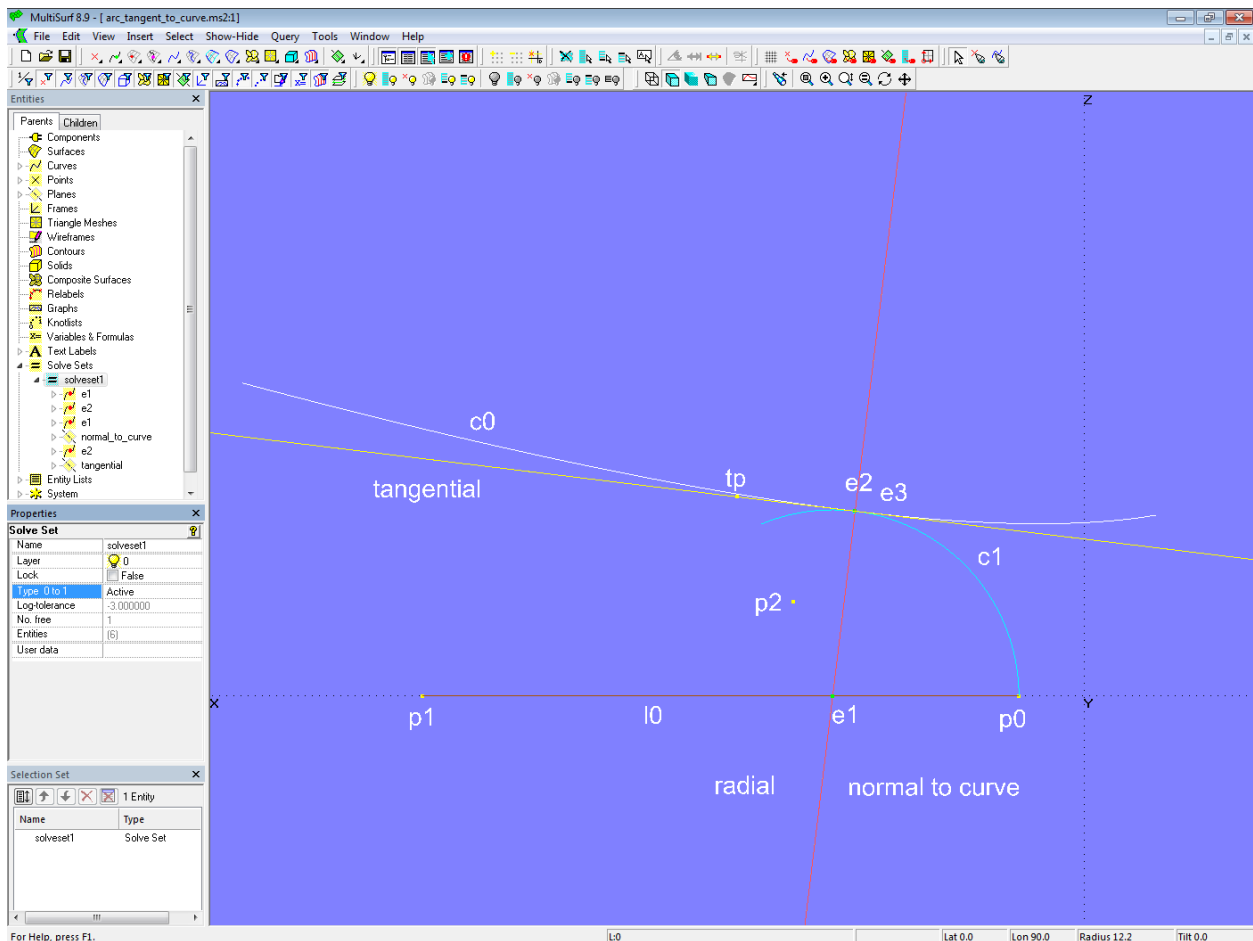


Modell arc\_tangent\_to\_curve.ms2 – Solve Set [solve\\_touch\\_curve](#) aktiv

Wird die Kurve  $c_0$  geändert, findet das Solve Set-Objekt [solve\\_touch\\_curve](#) automatisch den passenden Kreismittelpunkt (Bead  $e_1$ ).



Modell arc\_tangent\_to\_curve.ms2 – Solve Set *solve\_touch\_curve* inaktiv



Modell *arc\_tangent\_to\_curve.ms2* – Solve Set *solve\_touch\_curve* aktiv

## Aufgabe 4 – Ellipsenbogen berührt Kurve

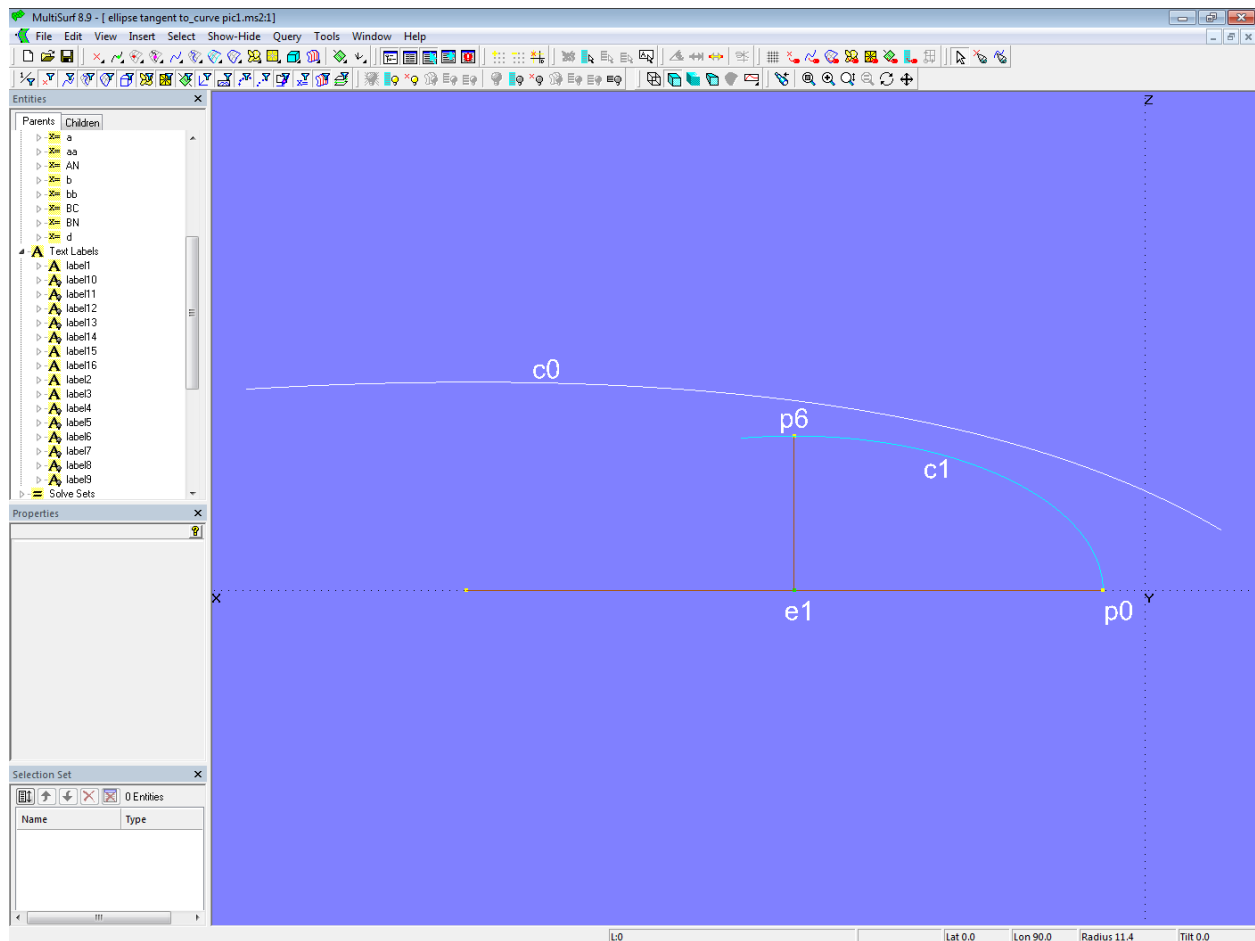
Anstelle eines Kreisbogens soll ein Ellipsenbogen eine Wasserlinienkurve berühren. Diese Situation ist im Modell *ellipse\_tangent\_to\_curve.ms2* gezeigt.

Abgesehen von der Lage des Mittelpunkts gibt es bei einem Kreis nur eine Bestimmungsgröße, den Radius. Bei einer Ellipse gibt es dagegen zwei formbestimmende Größen, die große Halbachse und die kleine Halbachse. Darum muß ein Verhältnis zwischen den Halbachsen vorgegeben werden.

### Manuelle Lösung

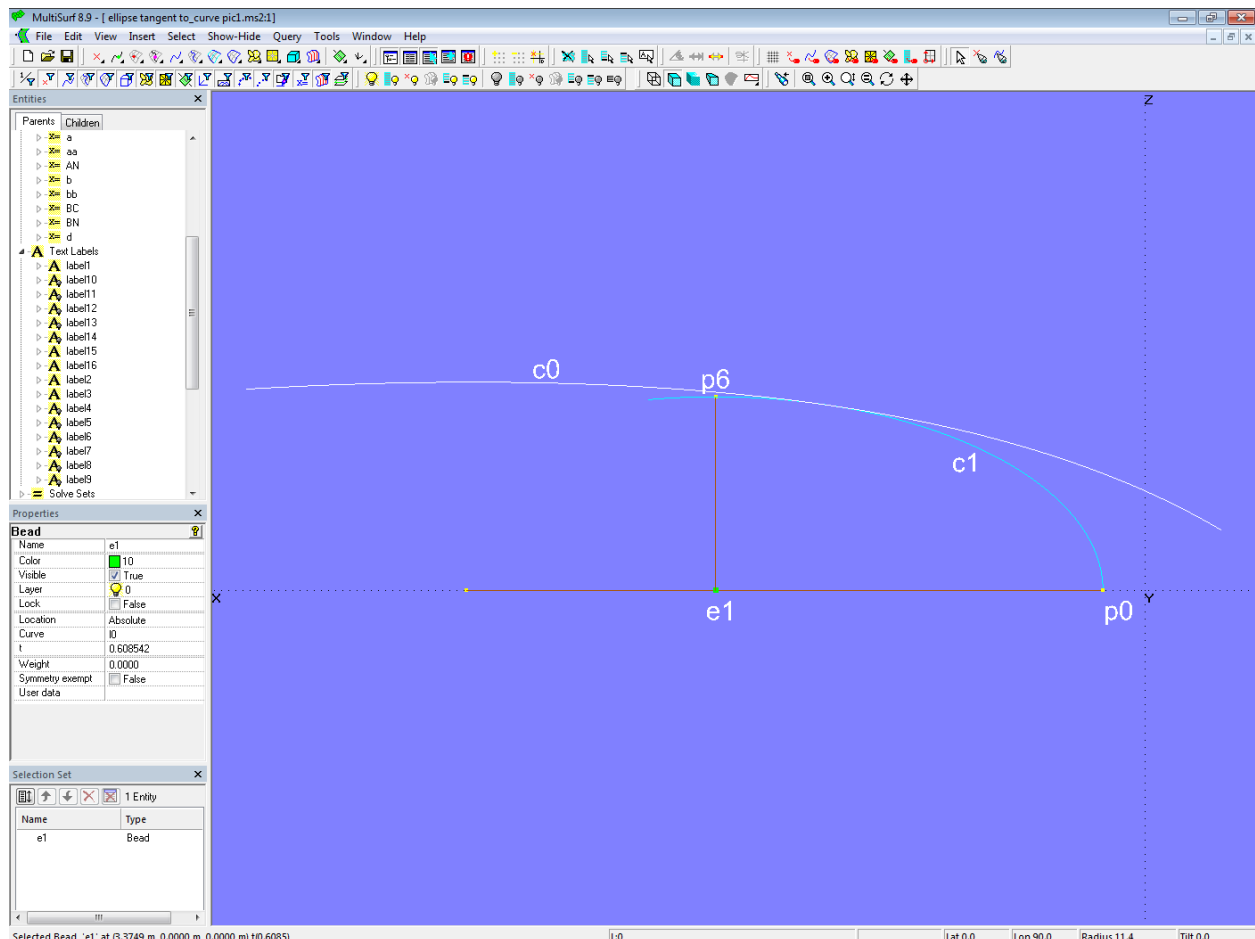
Im Modell *ellipse\_tangent\_to\_curve.ms2* gibt es die Kurve **c0**. Diese soll von der Ellipse **c1** (Conic Section, Type = 1. Ellipse) berührt werden. Point **p0** legt ihren Hauptscheitel fest. Die Strecke **p0-e1** ist die große Halbachse, die kleine Halbachse ist die Strecke **e1-p6**. Das Längenverhältnis zwischen beiden Achsen bestimmt Variable **b**.





Modell *ellipse\_tangent\_to\_curve.ms2* – gesucht ist die Position des Beads  $e1$ , so dass der Ellipsenbogen  $c1$  die Kurve  $c0$  berührt. Hier ist die große Halbachse (Distanz  $p0-e1$ ) noch zu kurz.

Durch Verschieben von Bead  $e1$  kann man manuell die Position des Mittelpunktes finden, bei dem die Ellipse  $c1$  die Kurve  $c0$  berührt.

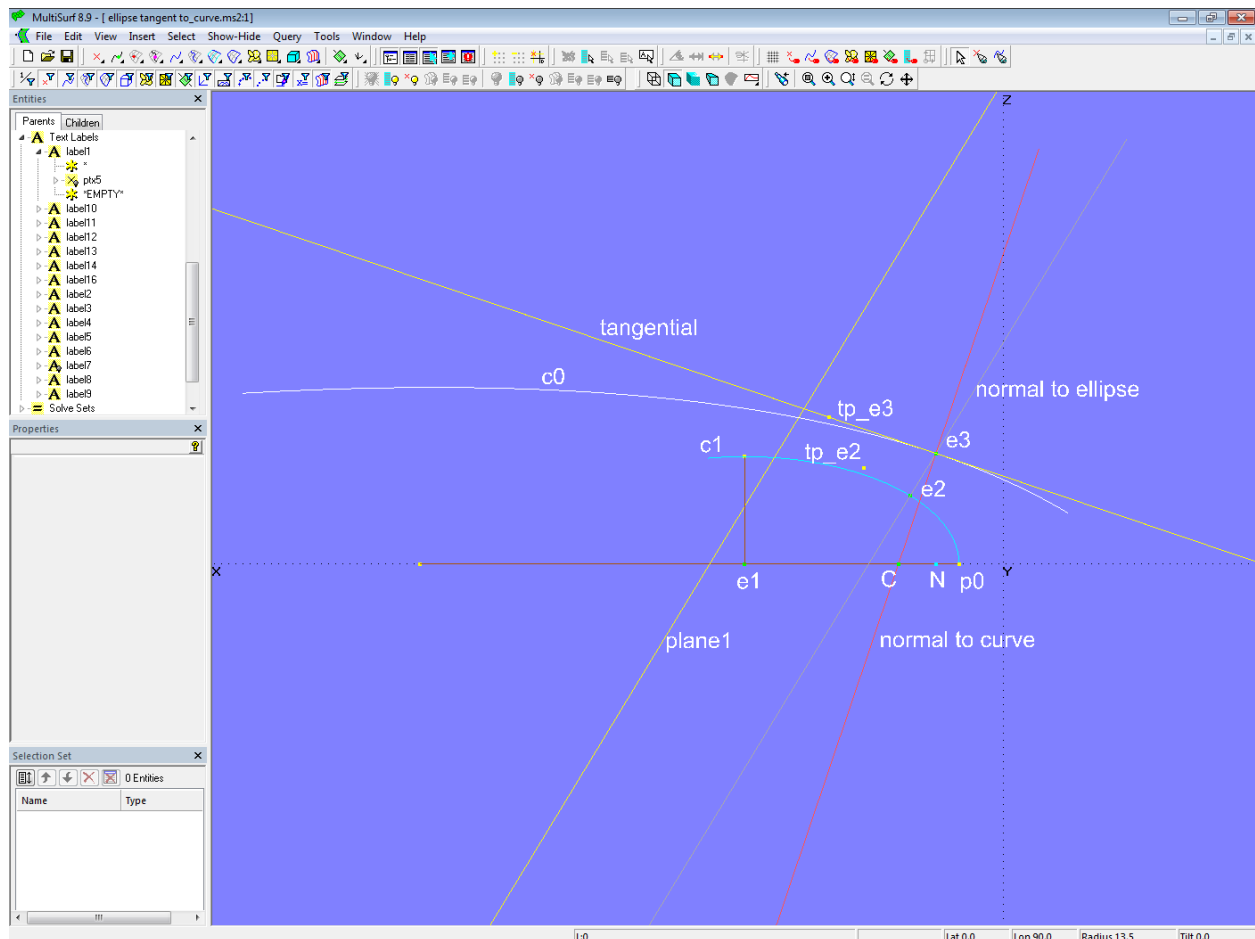


Modell *ellipse\_tangent\_to\_curve.ms2* – manuell ermittelte Position von *e1*, so das der Ellipsenbogen die Kurve berührt.

Soll die Berührung der Kurve durch den Ellipsenbogen eine dauerhafte Eigenschaft des Modells sein, muß ein Solve Set-Objekt verwendet werden.

### Lösung mit Solve Set

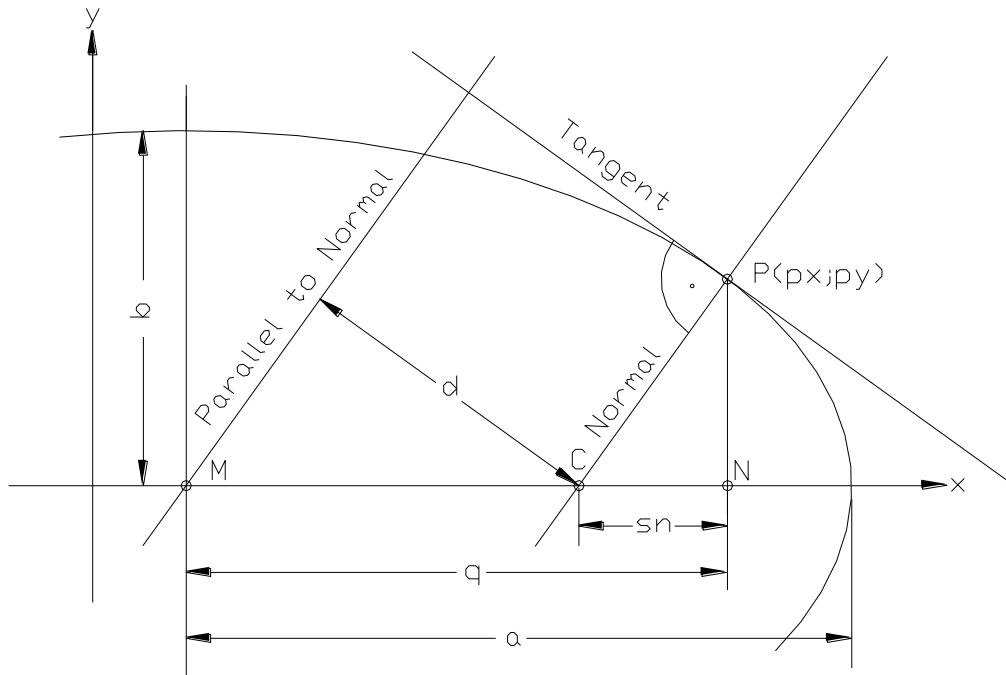
Modell *ellipse\_tangent\_to\_curve.ms2* weist Ähnlichkeiten zum Modell *arc\_tangent\_to\_curve.ms2* auf. Auf dem Ellipsenbogen *c1* (Conic Section, Type = 1. Ellipse) liegt Bead *e2*. Davon abhängig ist Tangent Point *tp\_e2*. Mit beiden Punkten ist die 2-point Plane *normal\_to\_ellipse* bestimmt (Normale der Ellipse im Punkt *e2*). Diese Ebene schneidet die Kurve *c0* im Intersection Bead *e3*. Dieser ist Support für den Tangent Point *tp\_e3*. Mit beiden Punkten ist die 2-point Plane *normal\_to\_curve* definiert (Normale der Kurve *c0* im Punkt *e3*). Diese Ebene schneidet Line *l0* im Intersection Bead *C*. Mit *e3* und *C* ist die 2-point Plane *tangential* erzeugt (Tangente der Kurve *c0* im Punkt *e3*).



Modell ellipse\_tangent\_to\_curve.ms2 – Solve Set *solve\_touch\_curve* inaktiv

Beim Kreis-Problem war die Bedingung für die Normale der Kurve **c0** im Bead **e3**, dass sie durch den Kreismittelpunkt (Bead **e1**) geht. Dann ist sie gleichzeitig auch Normale an den Kreis. Beim Ellipsen-Problem verläuft die Normale aber nicht durch den Mittelpunkt, sondern schneidet auf der großen Halbachse die Subnormale **sn** ab. Darum gibt es zusätzlich die Offset Plane **plane1**, die durch den Ellipsenmittelpunkt  $M(m_x; m_y)$  verläuft. Sie ist um den Offset-Wert  $d$  parallel zur 2-point Plane **normal\_to\_ellipse**.

Mit Hilfe der Beziehung für die Subnormale **sn** im Punkt  $P(p_x; p_y)$  lässt sich der Abstand  $d$  für diese Offset Plane ermitteln.



*Ellipse – die Normale verläuft nicht durch den Mittelpunkt.*

Für die Subnormale sn gilt:

$$sn = b^2 / a^2 * q$$

mit:

a – Länge große Halbachse

b – Länge kleine Halbachse

q – Abstand zwischen Punkt N und Mittelpunkt M

Desweiteren gilt:

$$d / MC = PN / PC$$

mit:

MC – Abstand zwischen Punkt C und Mittelpunkt M

PN – Abstand zwischen den Punkten P und N

PC – Abstand zwischen den Punkten P und C

Damit folgt:

$$d = PN / PC * MC$$

$$MC = q - sn$$

$$MC = q (1 - b^2 / a^2)$$

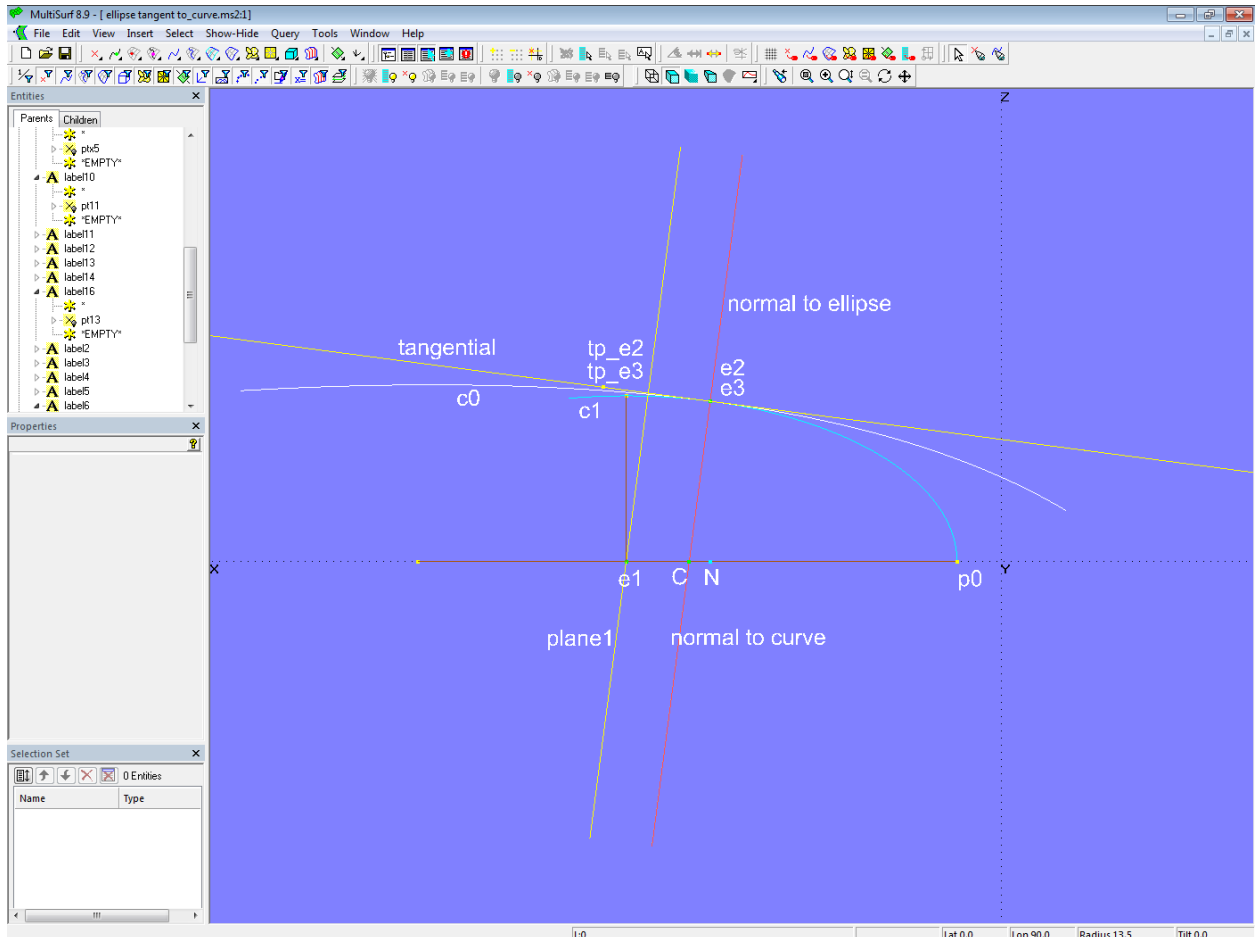
Also:

$$d = PN / PC * q (1 - b^2 / a^2)$$

Der Offset-Wert d für die Offset Plane [plane1](#) wird mit Hilfe von Formula-Objekten berechnet.

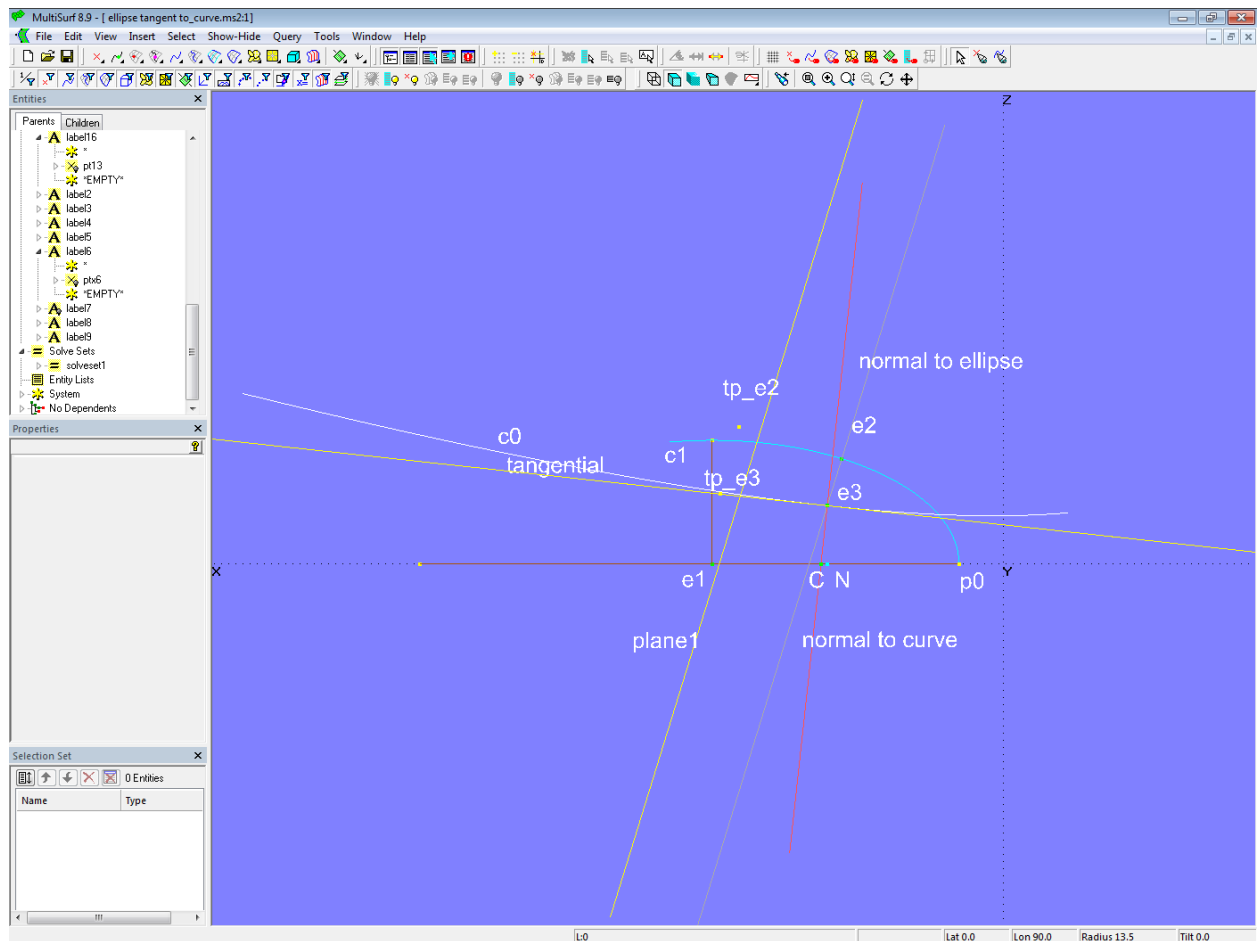
Die freien Objekte des Solve Set-Objekts **solve\_touch\_curve** sind die Beads **e1** und **e2**. Hat das freie Objekt Bead **e1** von der Offset Plane **plane1** den Abstand Null (Lösungsbeding 1), und gleichzeitig das andere freie Objekte Bead **e2** von der Ebene **tangential** auch den Abstand Null (Lösungsbedingung 2), dann stimmen die Normalen überein und die Kurven berühren sich.

Folglich lautet die Liste der für die Lösung erforderlichen Objekte des Solve Set **solve\_touch\_curve**: {**e1**; **e2**; **e1**; **plane1**; **e2**; **tangential**}.

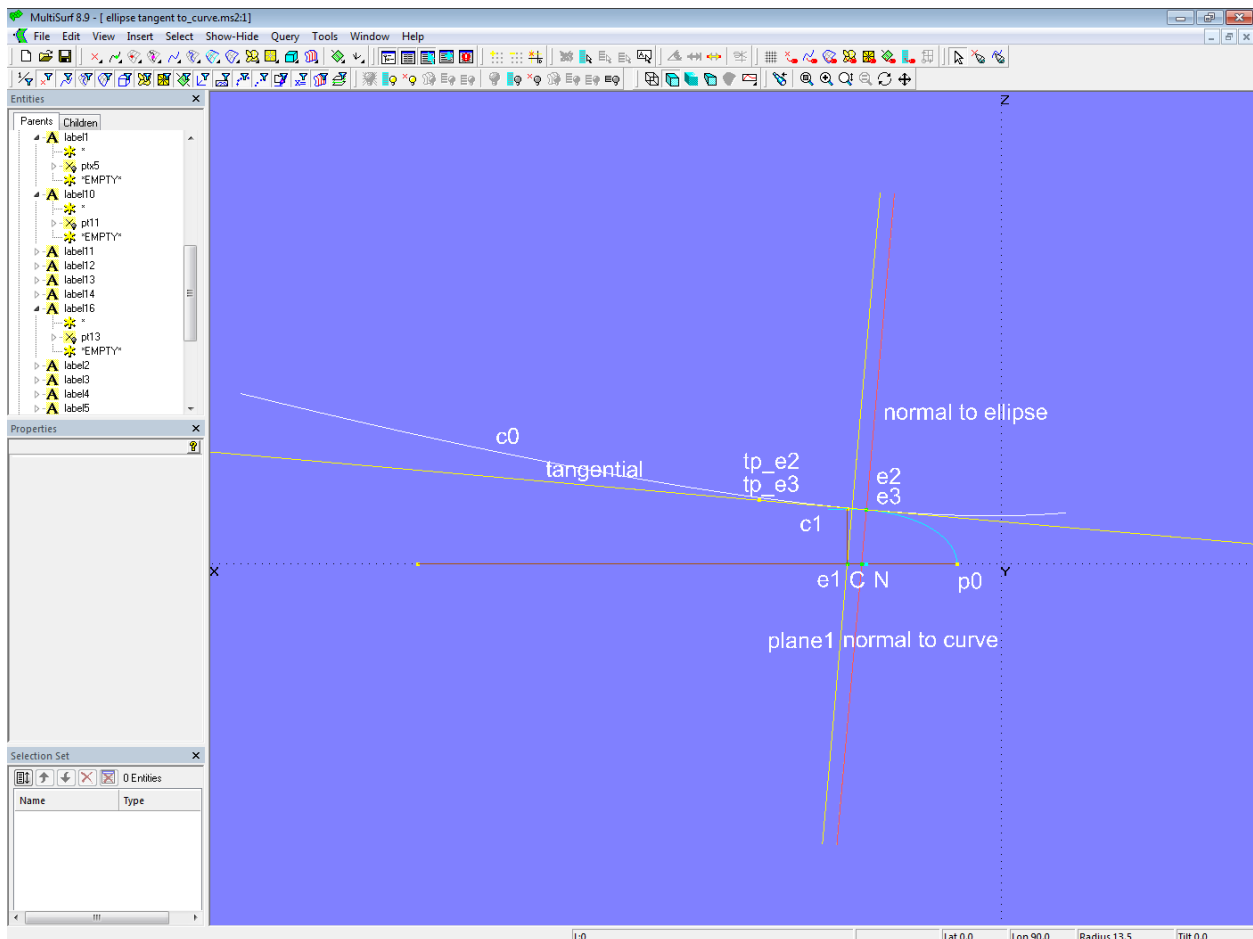


Modell ellipse\_tangent\_to\_curve.ms2 – Solve Set **solve\_touch\_curve** aktiv

Wird die Kurve **c0** geändert, findet der Solve Set automatisch den passenden Ellipsenmittelpunkt (Bead **e1**).



Modell ellipse\_tangent\_to\_curve.ms2 – Solve Set *solve\_touch\_curve* inaktiv



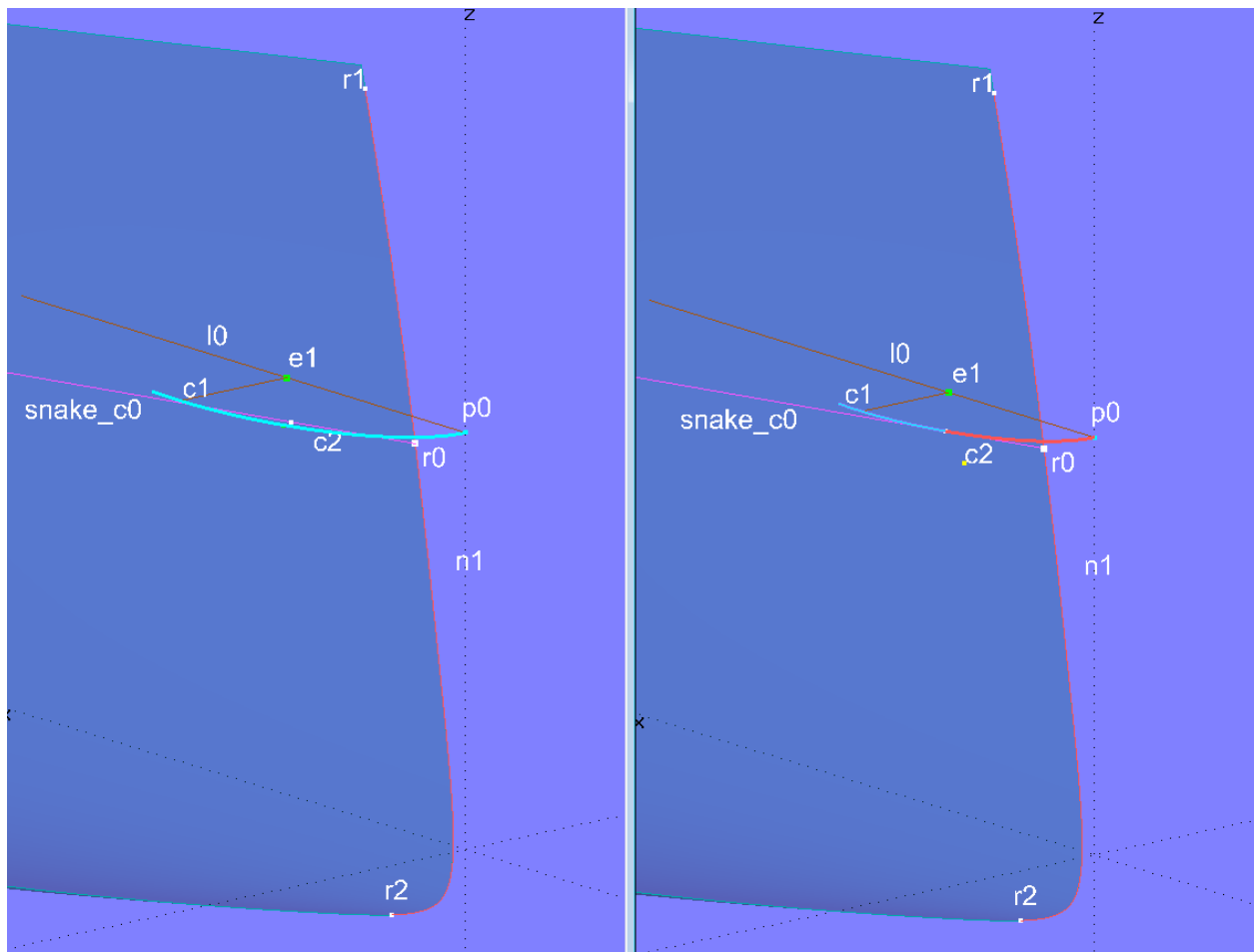
Modell ellipse\_tangent\_to\_curve.ms2 – Solve Set [solve\\_touch\\_curve](#) aktiv

## Bugrundung mit Ellipsenbögen

Modell [sy15-elliptical\\_bowround.ms2](#) zeigt, wie mit der vorstehend gezeigten Methode der Vorsteven eines Rumpfes elliptisch abgerundet werden kann.

Entlang der Vorstevenkontur der Rumpffläche [hull\\_0](#) verläuft die EdgeSnake [n0](#). Auf dieser liegen die Ringe [r1](#) und [r2](#) und bestimmen die SubSnake [n1](#). Auf [n1](#) liegt Ring [r0](#). Die Wasserlinie auf der Höhe von [r0](#) ist die Intersection Snake [snake\\_c0](#). Diese soll von der Ellipse [c1](#) (Conic Section, Type = 1. Ellipse) berührt werden.

Der Aufbau der Berührkonstruktion ist im Prinzip der gleiche wie im Modell [ellipse\\_tangent\\_to\\_curve.ms2](#), aber nun liegen [snake\\_c0](#) und Ellipse [c1](#) parallel zur XY-Ebene. Ring [r0](#) wird auf die Mittschiffsebene projiziert als Projected Point [p0](#) und ist Scheitel der Ellipse. Von [p0](#) abhängig ist Line [l0](#), auf der Bead [e1](#) als Ellipsenmittelpunkt liegt.

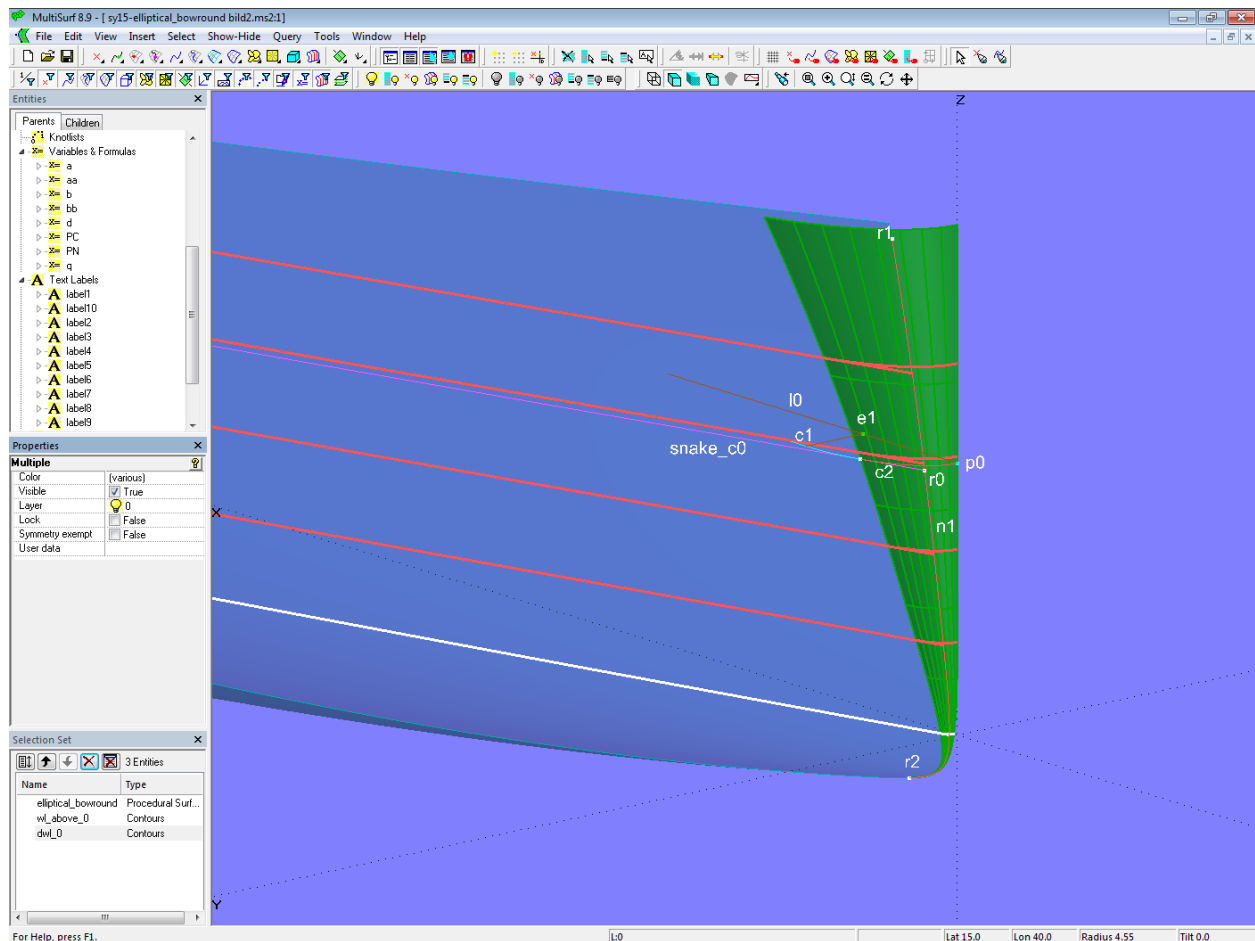


Modell sy15-elliptical\_bowround.ms2 – elliptische Bugabrundung. Links: Solve Set [solve\\_touch\\_wl](#) inaktiv. Rechts: Solve Set [solve\\_touch\\_wl](#) aktiv.

Der Solve Set [solve\\_touch\\_wl](#) ermittelt die Position von [e1](#), bei der Ellipse [c1](#) die Wasserlinie [snake\\_c0](#) berührt. Dieser Berührungspunkt ist auf [c1](#) der Bead [e2](#), mit dem das Kurventeil bis zum Scheitel als SubCurve [c2](#) definiert ist. Damit ist die elliptische Abrundung der Wasserlinie auf Höhe von [r0](#) gefunden.

Verschiebt man Ring [r0](#), verschiebt sich diese gesamte Konstruktion in Z-Richtung und SubCurve [c2](#) überstreicht eine Fläche. Die Procedural Surface [elliptical\\_bowround](#) erzeugt diese Fläche.



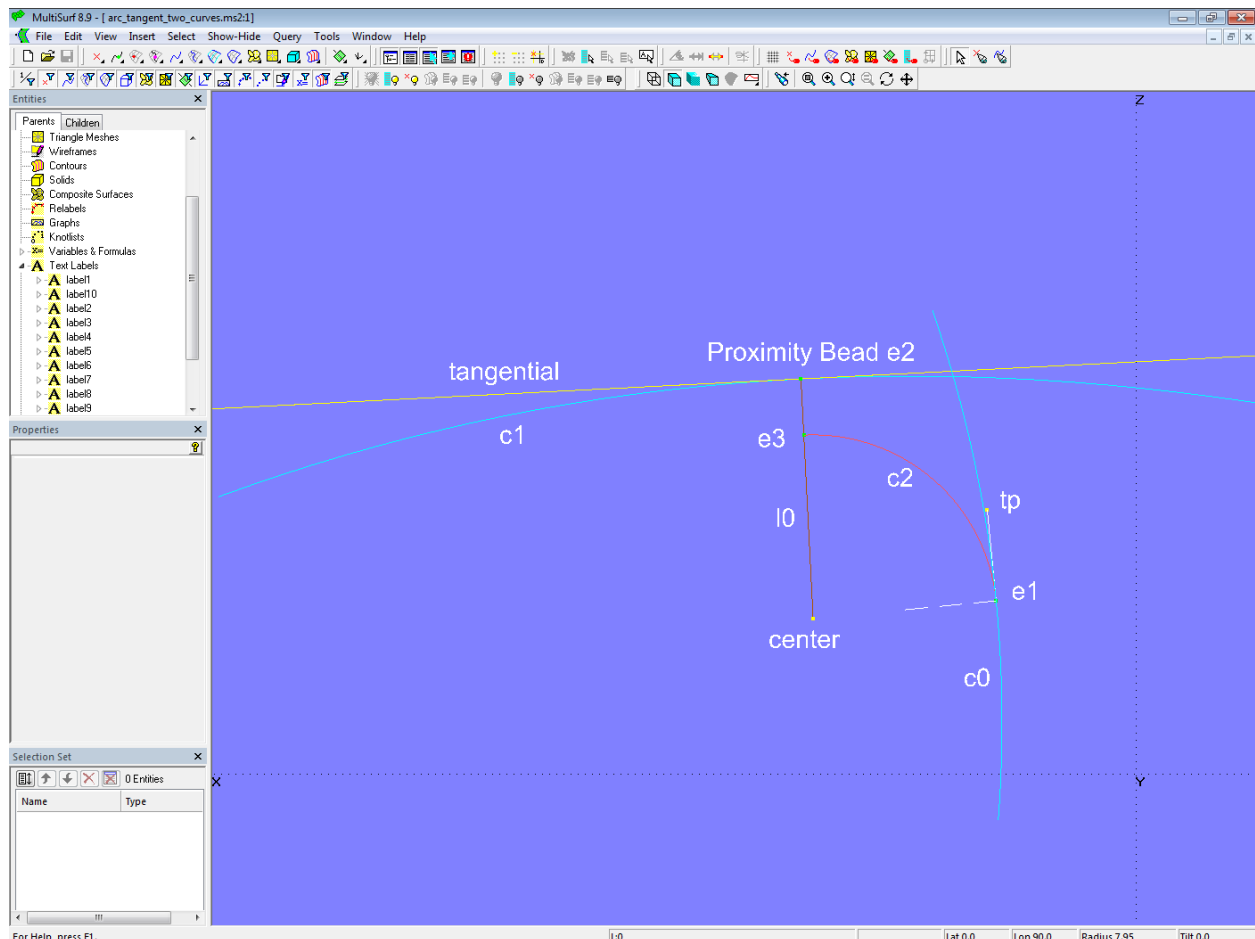


Modell sy15-elliptical\_bowround.ms2 – elliptische Bugabrundung. Solve Set [solve\\_touch\\_wl](#) ist aktiv.

## Weitere Solve Set-Anwendungen

### Proximity Bead – Kreisbogen berührt zwei Kurven

Modell [arc\\_tangent\\_two\\_curves.ms2](#) zeigt, wie sich zwei Kurven mit einem Kreisbogen mit gegebenem Radius ausrunden lassen. Dafür muß der Anfangspunkt des Kreisbogens Berührungspunkt auf der einen Kurve sein, der Endpunkt des Kreisbogens Berührungspunkt auf der anderen Kurve. Dies erfordert zwei freie Objekte, die so positioniert werden müssen, dass diese Bedingungen erfüllt sind.



Modell arc\_tangent\_two\_curves.ms2 –Kreisbogen  $c2$  soll beide Kurve berühren; Solve Set *solve\_touch\_curves* nicht aktiv

Auf Kuve  $c0$  liegt als Anfangspunkt des Kreisbogens Bead  $e1$  (freies Objekt 1). Von  $e1$  hängen Tangent Point  $tp$  und Point  $px$  (relativ zu  $e1$  in Y-Richtung versetzt) ab. Mit diesen drei Punkten ist der 3-point Frame *frame1* definiert. Die X-Achse von *frame1* zeigt in Richtung des Tangent Point  $tp$ , ist also Tangente der Kuve  $c0$  im Punkt  $e1$ . Die Z-Achse zeigt in Richtung der Normalen. Auf dieser Z-Achse, also der Normalen, liegt Point *center*, sein dz-Wert entspricht den Radius des Rundungsbogens.

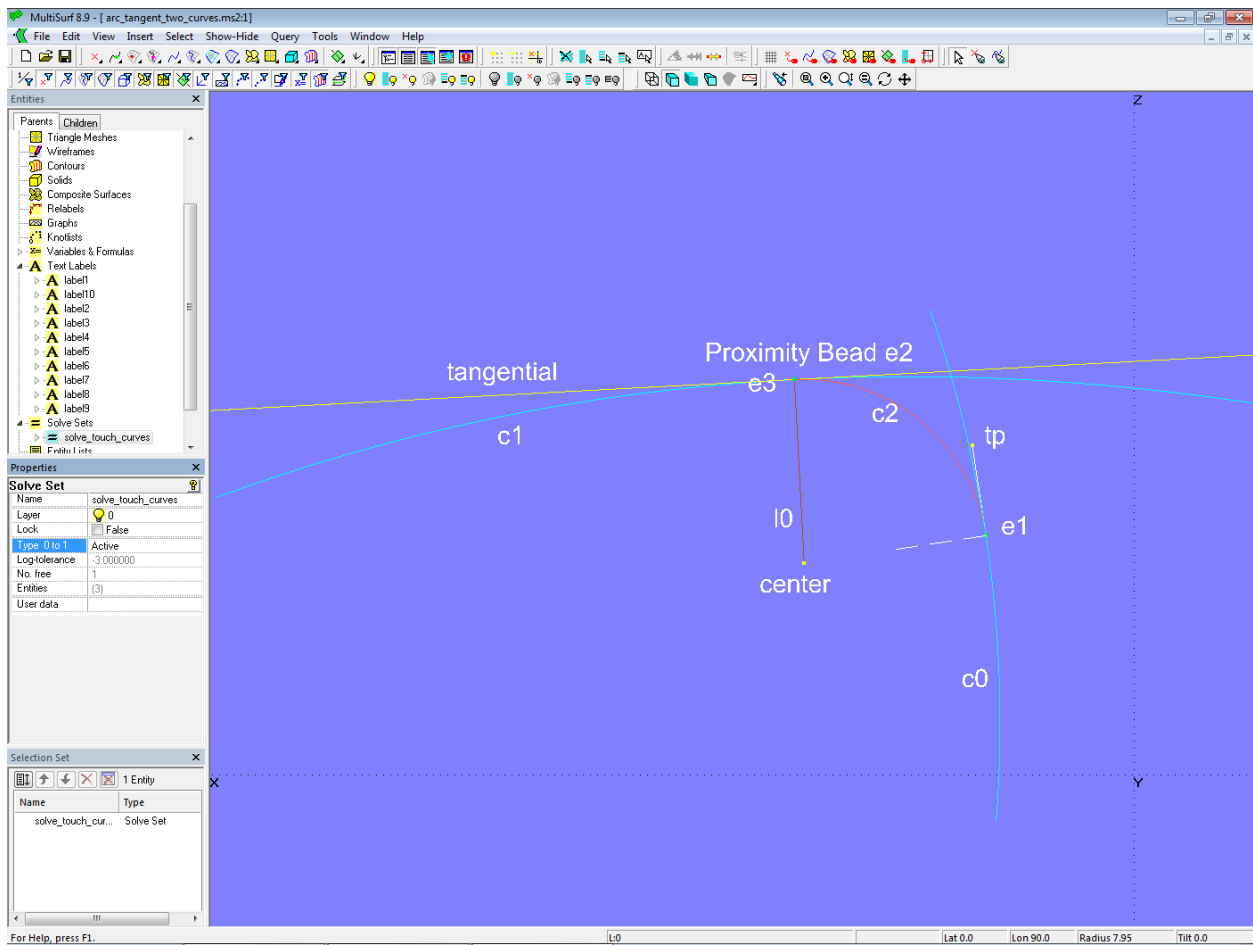
Als Endpunkt des Kreisbogens liegt auf Kurve  $c1$  der Punkt  $e2$ . Die Linie *center-e2* ist Radiuslinie, also Normale der Kurve  $c1$  im Punkt  $e2$ . Folglich muß Punkt  $e2$  so positioniert sein, das er von *center* den kleinsten Abstand hat (freies Objekt 2). Mit einer speziellen Kurvenpunktart, dem Proximity Bead, läßt sich dieser Punkt einfach erzeugen. Ein Proximity Bead bestimmt denjenigen Punkt auf einer Kurve, der von einem außerhalb liegenden Punkt den kleinsten bzw. größten Abstand hat (je nach Einstellung).

Das freie Objekt 2 wird also durch den Proximity Bead festgelegt. Im vorliegenden Fall muß der Proximity Bead  $e2$  vom Point *center* den kleinsten Abstand haben. Man kann auch sagen, der Proximity Bead  $e2$  ist der Fußpunkt des Lots, das von *center* auf Kurve  $c1$  gefällt wird. Mit den beiden Punkten *center* und  $e2$  wird dann die 2-point Plane *tangential* erzeugt, also die Tangente der Kurve  $c1$  im Punkt  $e2$ .

Line  $l0$  verbindet *center* und Proximity Bead  $e2$ . Auf Line  $l0$  liegt der Intersection Bead  $e3$ . Er hat von *center* den Abstand des Radius des Kreisbogens. Mit  $e1$ , *center* und  $e3$  wird dieser Kreisbogen als Arc  $c2$  erzeugt (Type = 2).

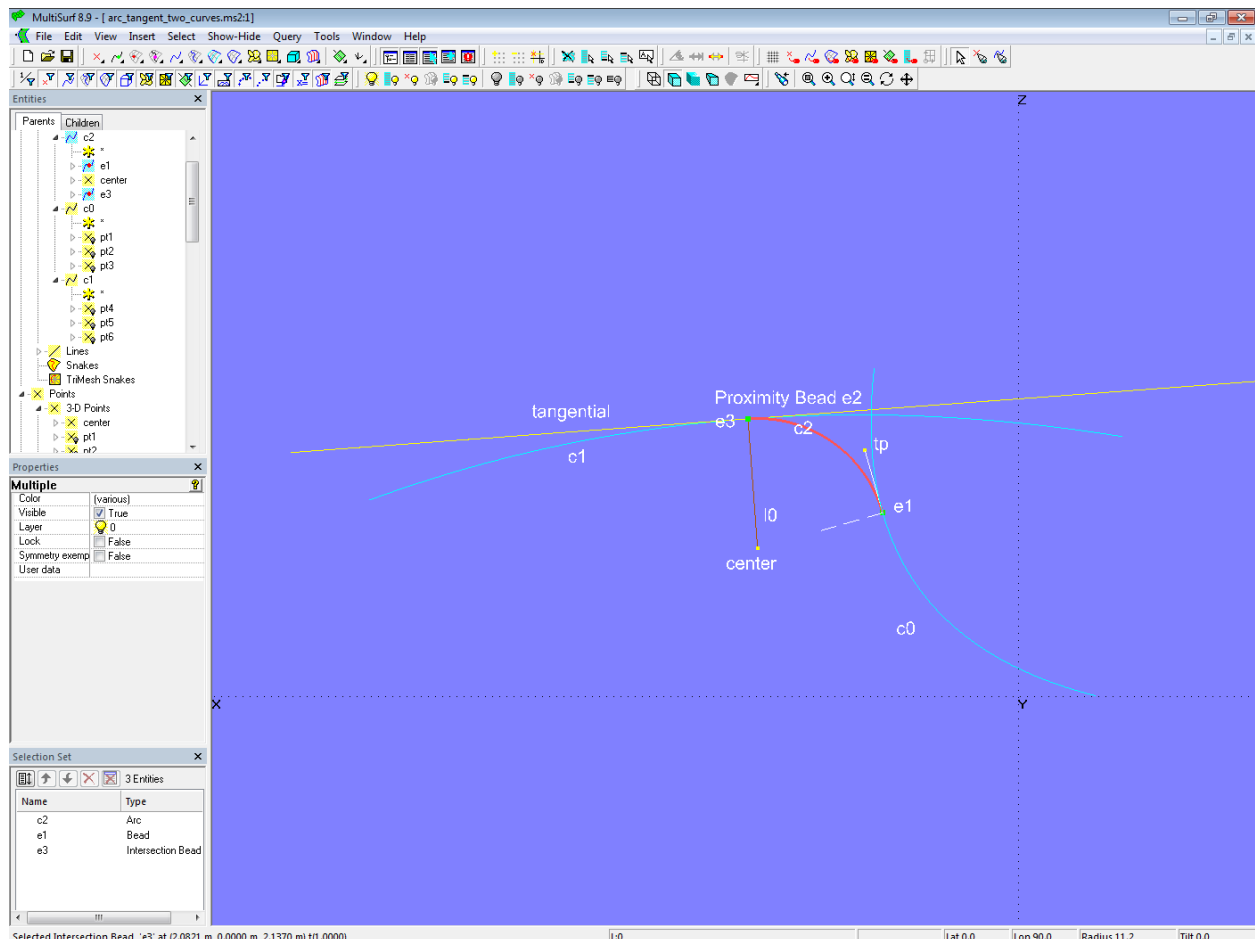
Gesucht ist nun die Position von  $e1$  derart, dass der Abstand zwischen  $e3$  und der Tangente *tangential* gleich Null ist, also der Kreisbogen  $c2$  die Kurve  $c1$  berührt. Zur Bestimmung dieser Position wird der Solve Set *solve\_touch\_curves* verwendet. Das freie Objekt ist Bead  $e1$ , das Objektpaar der Lösungsbe-

dingung ist **e3** und **tangential**. Folglich lautet die Liste der für die Lösung erforderlichen Objekte des Solve Set **solve\_touch\_curves**: {**e1**; **e3**; **tangential**}.



Modell **arc\_tangent\_two\_curves.ms2** – Solve Set **solve\_touch\_curves** aktiv; Kreisbogen **c2** berührt beide Kurven.

Ändert sich die Form der Kurven, findet das Solve Set-Objekt automatisch den neuen Mittelpunkt der Ausrundung sowie Anfangs- und Endpunkt. Ebenso bei Änderung des Radius des Rundungskreisbogens.



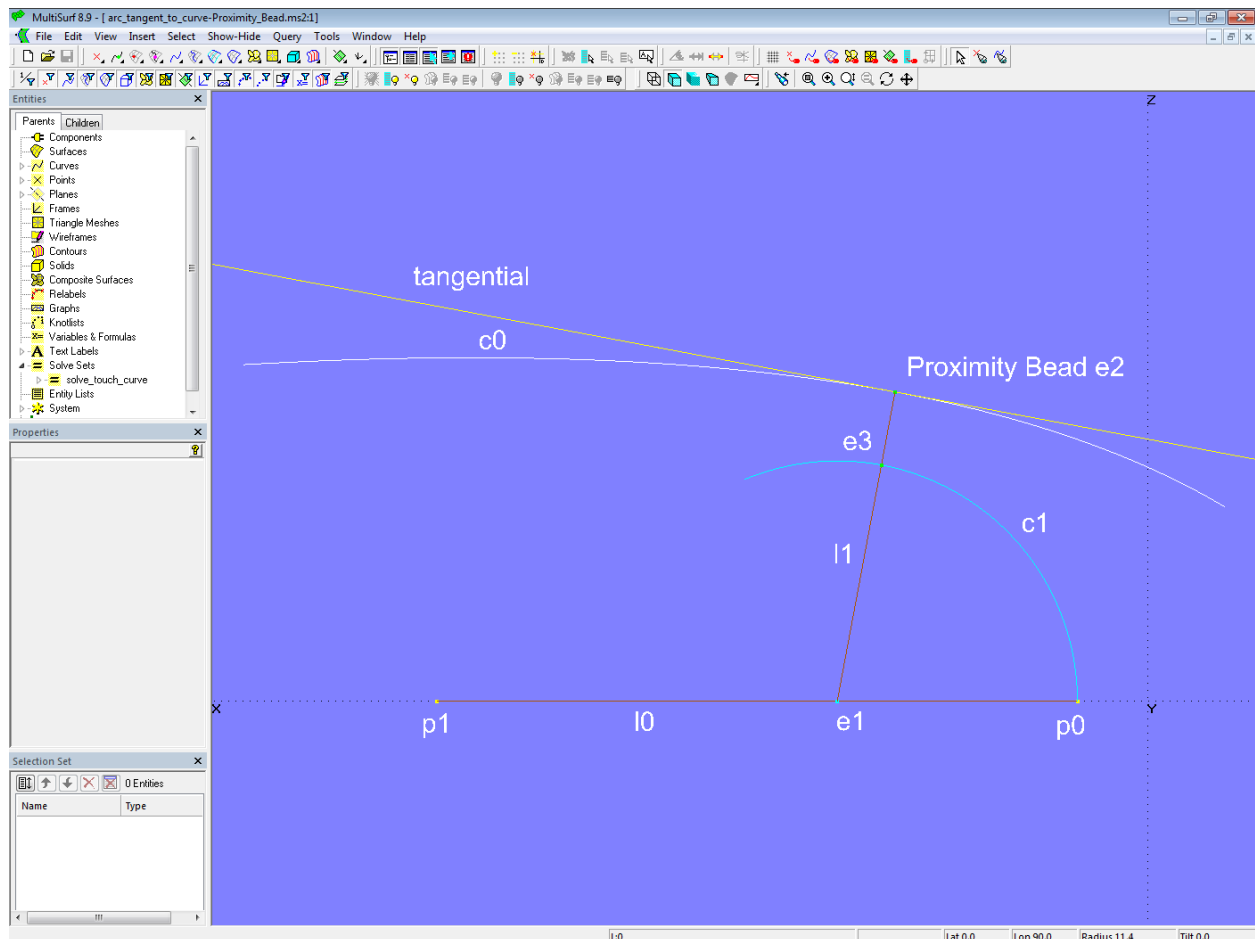
Modell *arc\_tangent\_two\_curves.ms2* – Solve Set *solve\_touch\_curves* aktiv; Kreisbogen *c2* berührt beide Kurven.

Zwar lässt sich die hier gezeigte Konstruktion der Ausrundung auch ohne einen Proximity Bead durchführen, aber seine Verwendung macht das Modell einfacher und übersichtlicher. Mit dem Proximity Bead wird automatisch eines der beiden freien Objekte bestimmt.

## Kreisbogen berührt Kurve – Version mit Proximity Bead

Wie sich auch die Konstruktionsaufgabe 3 – Kreis berührt Kurve – mit dem Objekt Proximity Bead vereinfachen lässt, ist in Modell *arc\_tangent\_to\_curve-Proximity\_Bead.ms2* gezeigt. Es ist deutlich zu sehen, dass das Modell weniger Objekte erfordert.

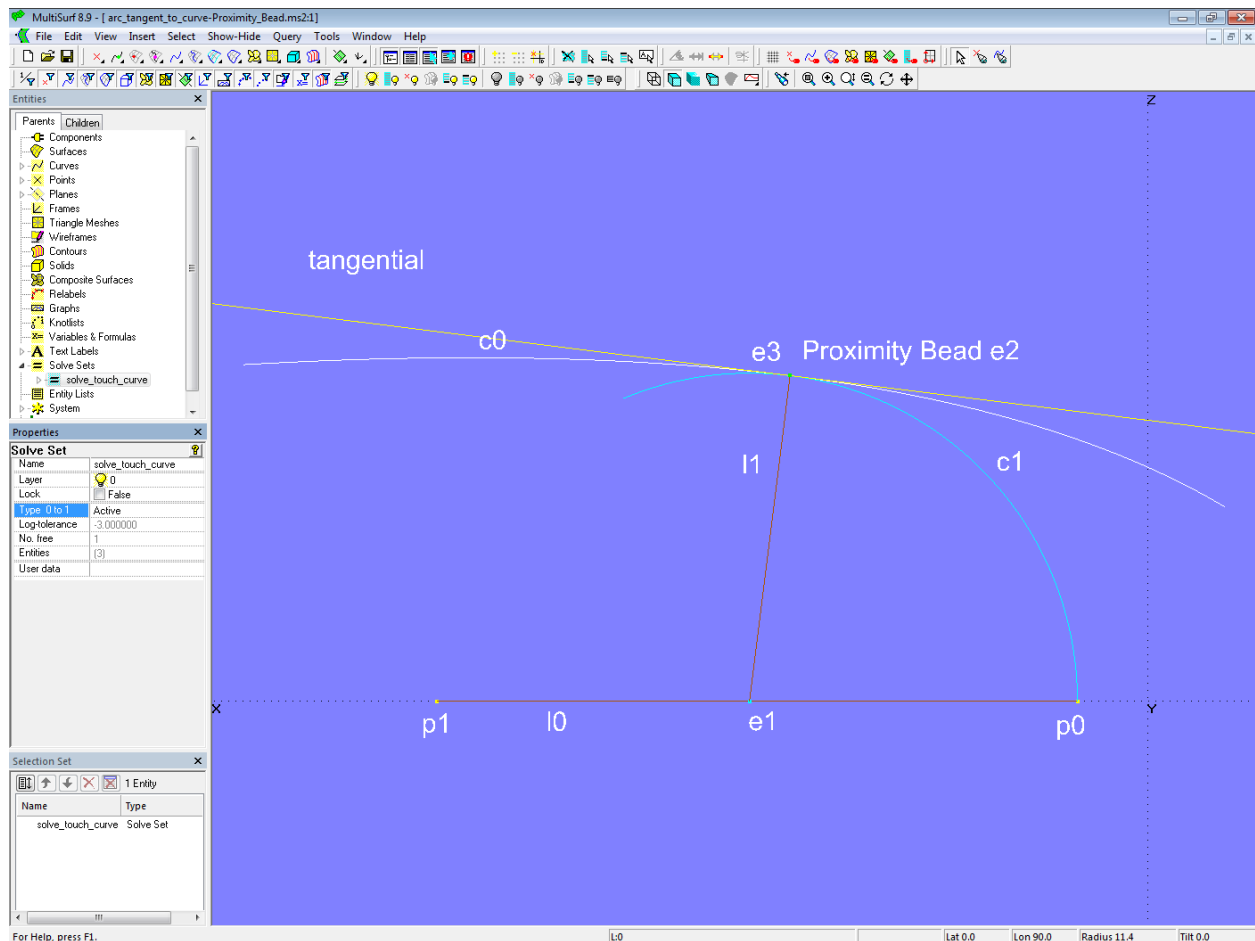
Mittelpunkt des Kreisbogens *c1* ist Bead *e1* (freies Objekt 1). Davon abhängig ist der Proximity Bead *e2* auf der Kurve *c0*; er hat von *e1* den geringsten Abstand (freies Objekt 2). Line *l1* verbindet *e1* und *e2*, sie ist Radiuslinie des Kreisbogens und damit Normale der Kurve *c0* im Punkt *e2*. Mit den beiden Punkten *e2* und *e1* wird dann die 2-point Plane *tangential* erzeugt, also die Tangente der Kurve *c0* im Punkt *e2*. Der Kreisbogen *c1* schneidet Line *l1* im Intersection Bead *e3*.



Modell arc\_tangent\_to\_curve-Proximity\_Bead.ms2 – Solve Set `solve_touch_curve` nicht aktiv

Die Position von **e1** und damit der Radius (= Distanz  $p_0-e_1$ ) muß so gewählt werden, dass der Abstand zwischen **e3** und der Tangente **tangential** Null ist, also der Kreisbogen **c1** die Kurve **c0** berührt.

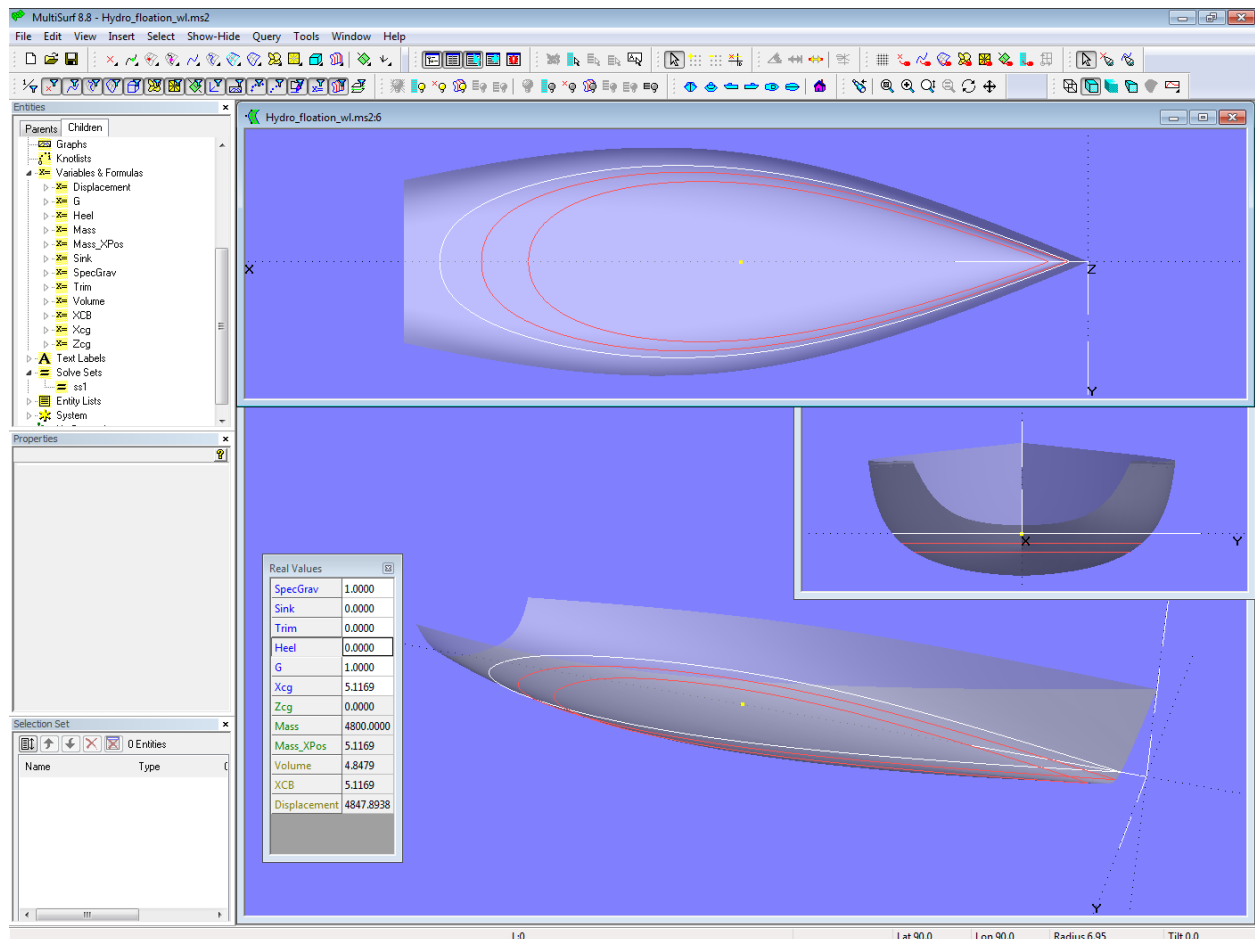
Zur Bestimmung dieser Position wird der Solve Set `solve_touch_curve` verwendet. Freies Objekt ist Bead **e1**, Objektpaar der Lösungsbedingung ist **e3** und **tangential**. Die Liste der für die Lösung erforderlichen Objekte des Solve Set `solve_touch_curve` lautet also: {**e1**; **e3**; **tangential**}.



Modell *arc\_tangent\_to\_curve-Proximity\_Bead.ms2* – Solve Set *solve\_touch\_curve* aktiv

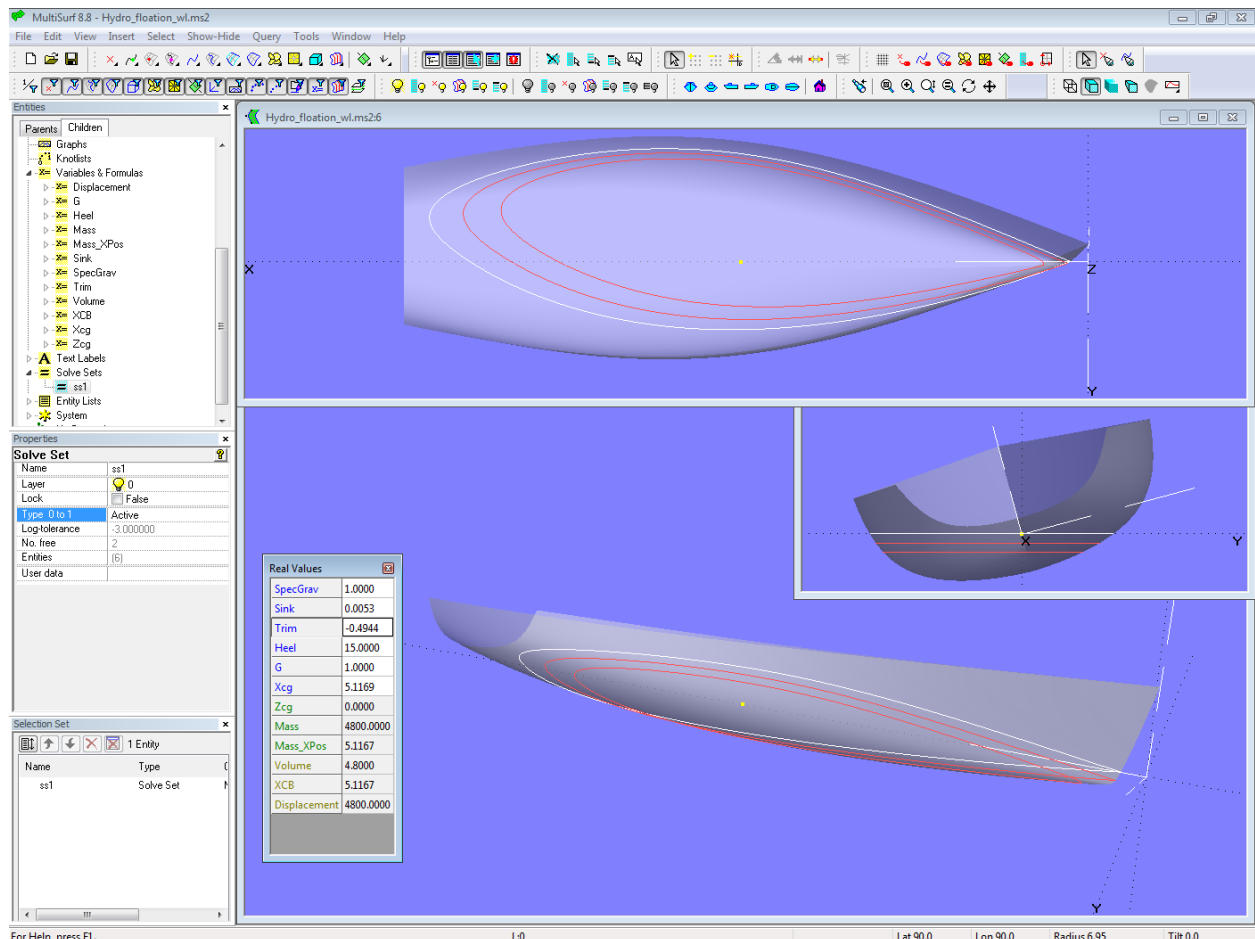
## Hydrostatik – freie Schwimmelage

Im Tutorium 14, „*Rechnende Modelle in MultiSurf*“, wird an Hand des Modells *Hydro\_free\_floating.ms2* detailliert gezeigt, wie man mit dem Objekt Solve Set in Kombination mit Hydrostatic Reals die Frage beantworten kann, welche Schwimmelage ein Bootsrumpf bei vorgegebenem Gewicht und Schwerpunkt einnehmen wird. Dazu ändert das Solve Set-Objekt *solve\_free\_float* systematisch Tauchung (Sink) und Trimm (Trim), bis ein Gleichgewicht zwischen den Kräften und Momenten von Gewicht und Auftrieb besteht.



Modell *Hydro\_free\_floating.ms2* – freie Schwimmelage bei Gleichgewicht von Gewicht und Auftrieb

Das Modell *Hydro\_free\_floating.ms2* kann auch die Schwimmelage bei Krängung ermitteln. Das ermöglicht die Beurteilung der asymmetrischen Form der Wasserlinien oder die Beantwortung der Frage, ob der Spiegel frei von der Wasseroberfläche bleibt oder bereits eintaucht. Krängung bei festgehaltener Tauchung und Vertrimmung führt zu falschen Ergebnissen, da das verdrängte Volumen zunimmt. Um realistische Antworten zu erhalten, muß das Boot bei Krängung frei schwimmen.



Modell Hydro\_floatation.ms2 – freie Schwimmelage bei Krängung

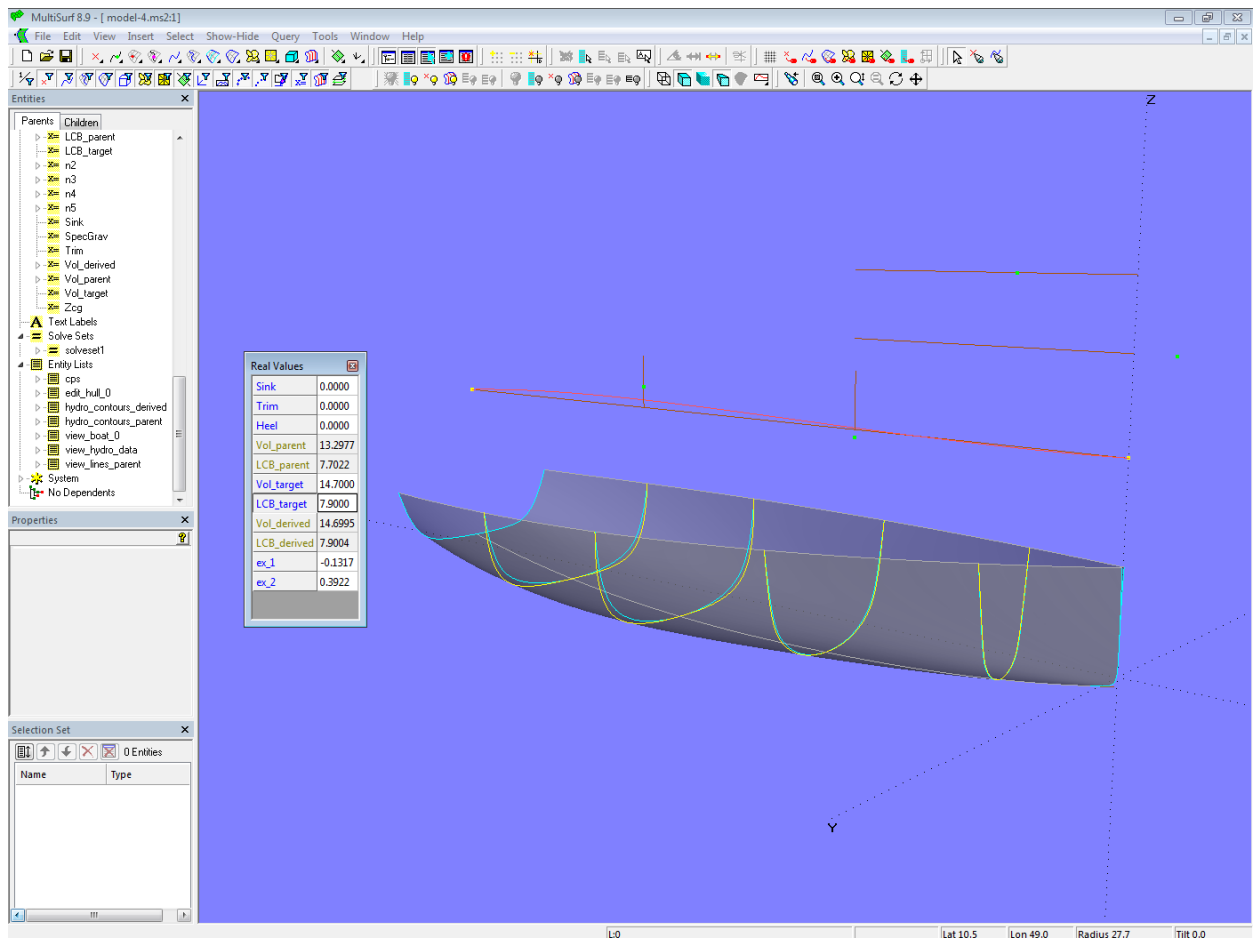
## Automatische Variation der Rumpfform

Tutorium 16, „Automatische Variation der Rumpfform“, befaßt sich mit der Problematik, dass beim Entwurf einer Rumpfform der Zeitpunkt erreicht wird, wo die Form den Vorstellungen entspricht, nur das Verdrängungsvolumen könnte beispielsweise ein wenig größer sein, und es wäre auch gut, wenn das LCB noch ein paar Zentimeter achterlicher wäre. Die Kontrollpunkte der Masterkurven müssen dann hier und da nur um wenige Millimeter verschoben werden, und neben den Hydrostatikwerten muß auch der Strak dauernd überprüft werden. Diese Feinarbeit ist zeitraubend.

Der im Tutorium 16 beschriebene Ansatz ermöglicht es, aus den Masterkurven eines vorhandenen Rumpfes automatisch neue Masterkurven zu generieren, so dass Sollwerte von Volumen und LCB erreicht werden. Dabei bleiben Strak, Außenkonturen des Rumpfes und Formcharakter der Mcs erhalten.

Im Modell *formvariation\_model-4.ms2* wird mit Hilfe des Solve Set-Objekts *solve\_V\_LCB* die Verschiebungskurve für die abgeleiteten Mcs automatisch so angepaßt, dass Volumen und Längenschwerpunkt der neuen Rumpfform den Vorgabewerten entsprechen.





Modell formvariation\_model-4.ms2 – größeres Volumen und LCB nach achtern verschoben