

# Konstruktionsübung: Candela, Restaurant „Los Manantiales“, HP-Dach

## 1. Restaurant „Los Manantiales“, Xochimilco, Mexiko-Stadt, Mexiko, 1957-1958, Felix Candela

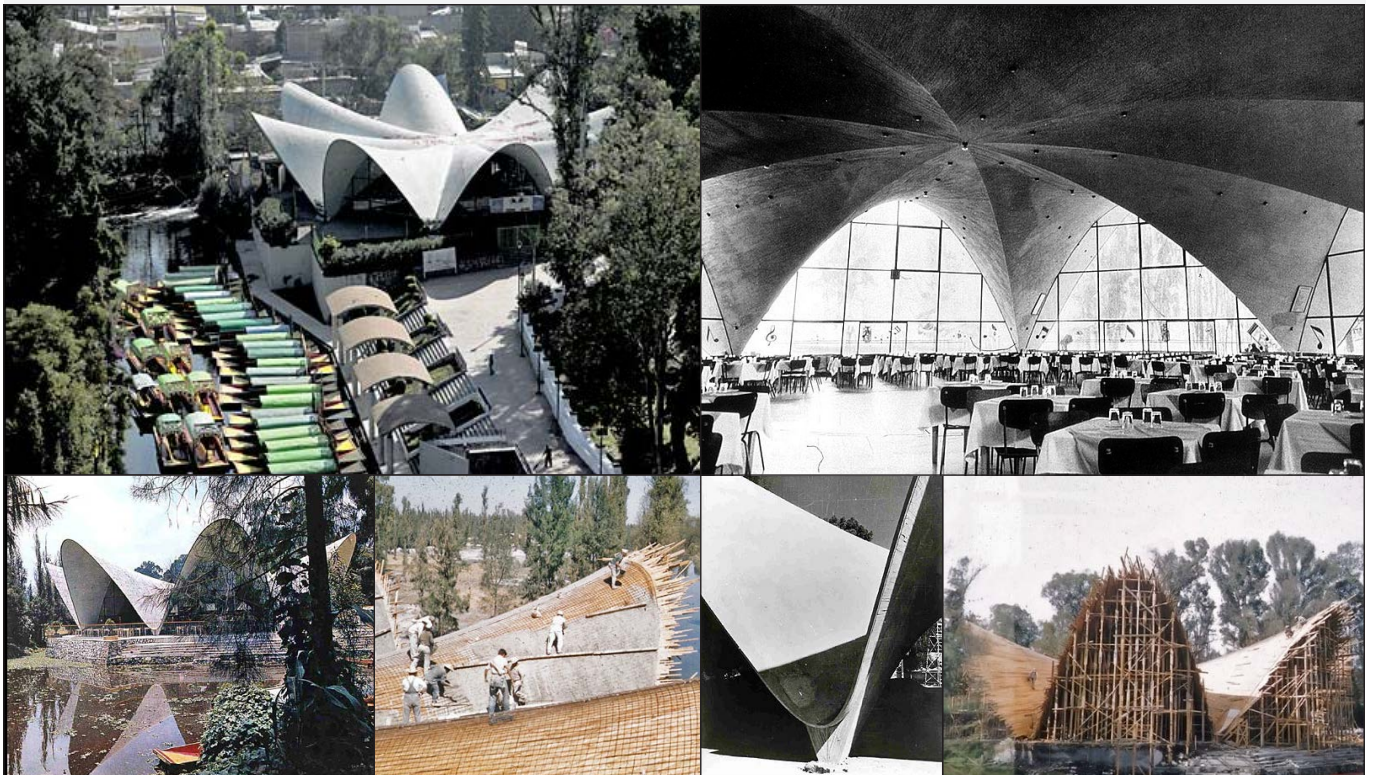
Dieses Beispiel stellt nicht nur eine zusätzliche Serie von Candelas Projekte dar, die durch die Durchdringung von mehreren Hyparen gekennzeichnet wird, sondern gilt auch als ein Fixpunkt in Candelas Schaffen, wo er eine besondere Verfeinerung seiner Bauten erreichte. Symbol dieser Verfeinerung ist der so genannte „freie Rand“. Dieses konstruktive Detail verleiht seinen Bauwerken ein elegantes Aussehen.

Das mit Joaquín Álvarez Ordóñez geplante Restaurant „Los Manantiales“ wurde auf einer von Kanälen umgebenen Halbinsel erbaut (Abb. 3.22). Es ersetzte ein durch Feuer zerstörtes hölzernes Restaurant. Das lotusförmige und 42 m breite Gebäude bietet 1000 Personen Platz und bildet sich aus vier sich durchdringenden Hyparen auf einem runden Grundriss. Die 4 cm dicken Kronblätter weisen im Zentrum des Gebäudes eine Höhe von 5,90 m auf und erreichen an ihren Außenkanten 8,25 m. Die Spannungen der Schale werden in die verstärkten Grate (= Außenkanten) geleitet, deren Dicke für den Betrachter auf geschickte Weise verborgen wurde, sodass dieser nur dünne Ränder wahrnimmt. Da die ganze Struktur lediglich auf acht Punkten ruht, strahlt das Gebäude eine gewisse Schwerklosigkeit und Transparenz aus. Auf diese Weise besteht eine

ständige Verbindung zwischen innen und außen. Die Auskragungen der Schale schützen die Fenster des Restaurants vor der Witterung und der direkten Sonneneinstrahlung.

Ein „freier“ Rand kann, statisch betrachtet, keine Spannungen aufnehmen. Aus diesem Grund müssen innerhalb einer Konstruktion andere starre Elemente vorhanden sein, die die unausgeglichenen Spannungen aufnehmen können. Diese Elemente können je nach Ausbildung sichtbar oder unauffällig (unsichtbar) sein. Die Schalenkonstruktion des Restaurants besteht aus vier sich durchdringenden hyperbolischen Paraboloiden. Die Ränder in Form von Hyperbeln wurden durch schneidende Flächen erzeugt, die schräg nach außen geneigt sind. Die Spannungen am Rand werden durch die geraden Erzeugenden auf die Grate übertragen. Da die Schale symmetrisch ist, liegen die resultierenden Kräfte an den Enden der Grate. Die Außenkanten (Grate) funktionieren wie Dreigelenkbögen. Die vertikalen Lasten werden von Schirmfundamenten aufgenommen. Über ein ringförmiges Zugband sind die Fundamente untereinander verbunden. Das Zugband gleicht die aus der Schale resultierenden Schubkräfte (horizontal wirkende Kräfte) aus.

Quelle: 2010 Lehrstuhl Bautechnikgeschichte und Tragwerkserhaltung | Prof. Dr.-Ing. Werner Lorenz, great-engineers.de



Quelle: greatbuildings.com, Wikipedia, great-engineers.de

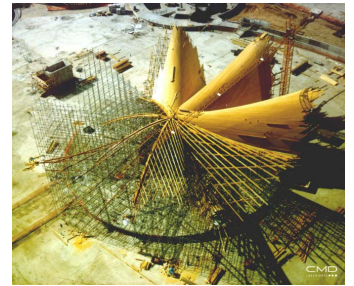
## 2. Regelflächen und doppelte Regelflächen (HP-Flächen = hyperbolische Paraboloiden)

Zylinder, Kegel, einschalige Hyperboloide und hyperbolische Paraboloiden sind Flächen, die Scharen von Geraden tragen. Daher können sie auch durch Bewegung einer Geraden im Raum erzeugt werden. Diese Flächen werden als Regelflächen bezeichnet. Diese und speziell der Sonderfall der HP-Flächen (hyperbolische Paraboloiden) werden im Schalenbau gerne verwendet. Besondere statische Eigenschaften (die vor allem bei lotrechter Achse der HP-Flächen auftreten) erlauben die Konstruktion von Schalen mit grossen Spannweiten und vergleichsweise geringer Schalendicke. HP-Flächen sind leicht zu benutzende Grundelemente für den architektonischen Entwurf und vielfältig im Design einsetzbar.

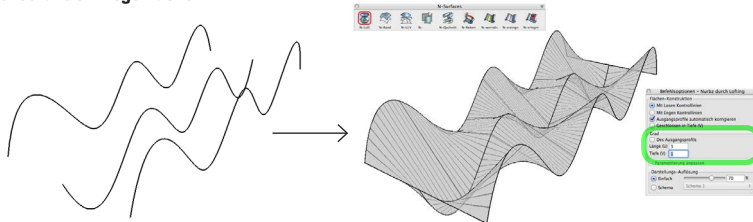
# Konstruktionsübung: Candela, HP-Dach

Regelflächen können mit einer Schar von Geraden (Dachlatten) erzeugt werden, die entlang zwei beliebigen Leitkurven geführt werden. Im Sonderfall der HP-Flächen, kann man sie mit zwei Scharen von Geraden erzeugen, die einander schneiden. HP-Flächen können aus zwei Geraden als Leitkurven gebildet werden. Die Scharen von Geraden liegen parallel zu den zwei sog. Richtebenen, die die Fläche umschliessen. Somit können HP-Flächen (so wie die einschaligen Hyperboloide) als **doppelte Regelflächen** bezeichnet werden.

Quelle: Architekturgeometrie, H. Pottmann, Bentley Institute Press

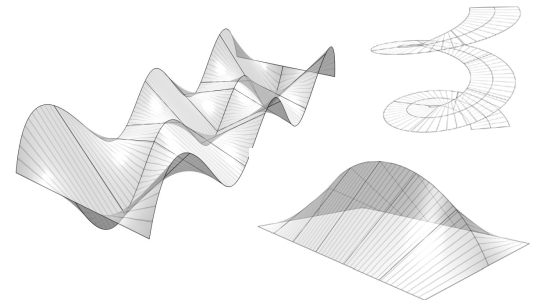


## Grundkonstruktion Regelflächen



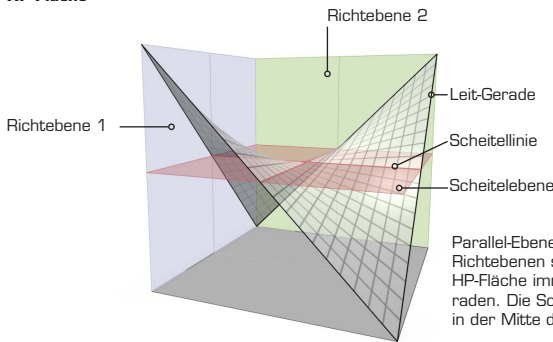
Zwei oder mehr Leitkurven zeichnen

Mit dem NurbZ-Tool eine Nurb-Fläche erzeugen. Wichtig: der Tiefegrad (V) der Fläche muss 1 betragen, damit die Leitkurven linear verbunden werden.

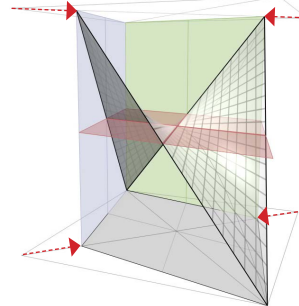


Beispiele Regelflächen

## HP-Fläche

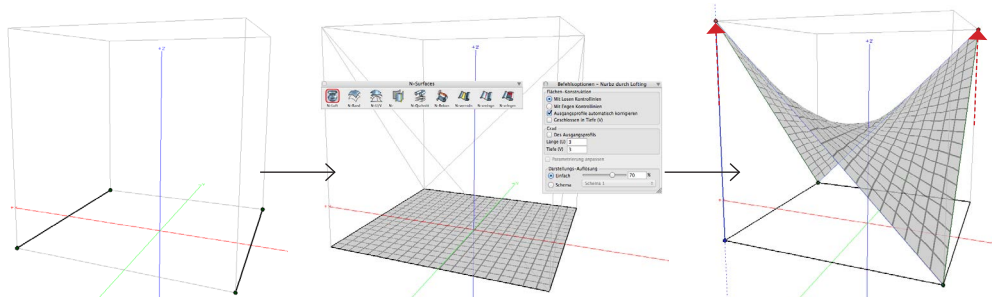


Parallel-Ebenen zu den Richtebenen schneiden, die HP-Fläche immer in einer Geraden. Die Scheitellinien liegen in der Mitte der Leitgeraden



Die Eigenschaften der HP-Fläche bleiben erhalten auch wenn die Fläche in eine beliebige Richtung skaliert wird. Candela HP-Dachelement ist eine in die 45° Richtung geschrumpfte Fläche. Die Scheitellinien liegen dann in einem spitzen Winkel zueinander.

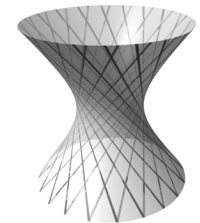
## HP-Grundkonstruktion 1



Zwei Geraden zeichnen (man kann auch direkt mit zwei windschiefen Geraden anfangen...)

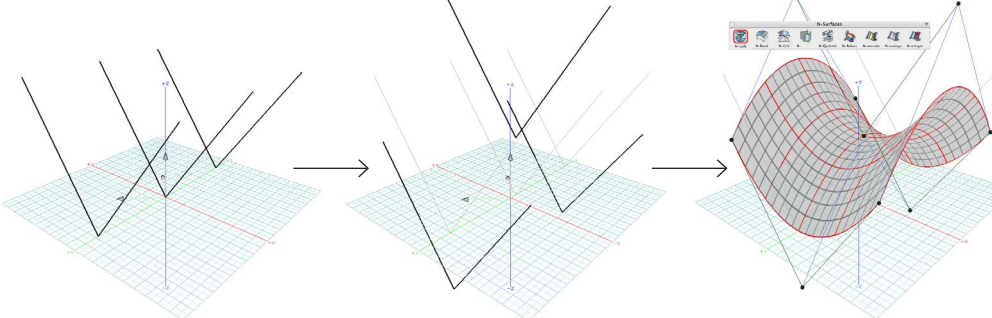
Die Geraden mit NurbZ Tool in eine NURB-Fläche verwandeln

Kontrollen einblenden (Rechtsklick auf Objekt). Zwei Kontrollpunkte nach oben bewegen.



Auch die einschalige Hyperboloide (=Kartwerk-Kühlturm) kann mit zwei Scharen von Geraden erzeugt werden.

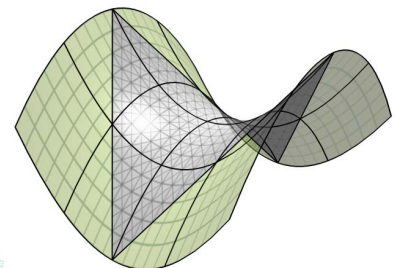
## HP-Grundkonstruktion 2



Ein V-Linienobjekt zeichnen und 3x kopieren.

Die V-Linien nach oben und unten verschieben.

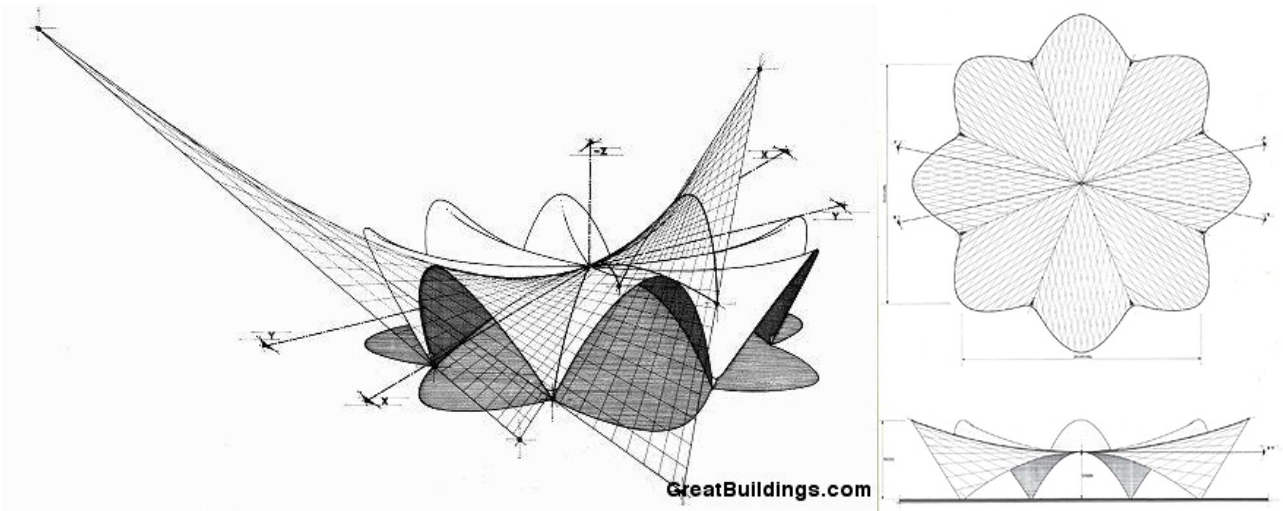
NurbZ Tool und nacheinander mit der Umschalttaste die drei Linienobjekte auswählen und in eine NURB-Fläche verwandeln. Diese Fläche kann man auch als Schiebfläche (Sweep-) erzeugen: eine Hyperbolkurve als Profil wird entlang einer zweiten als Pfad gezogen...



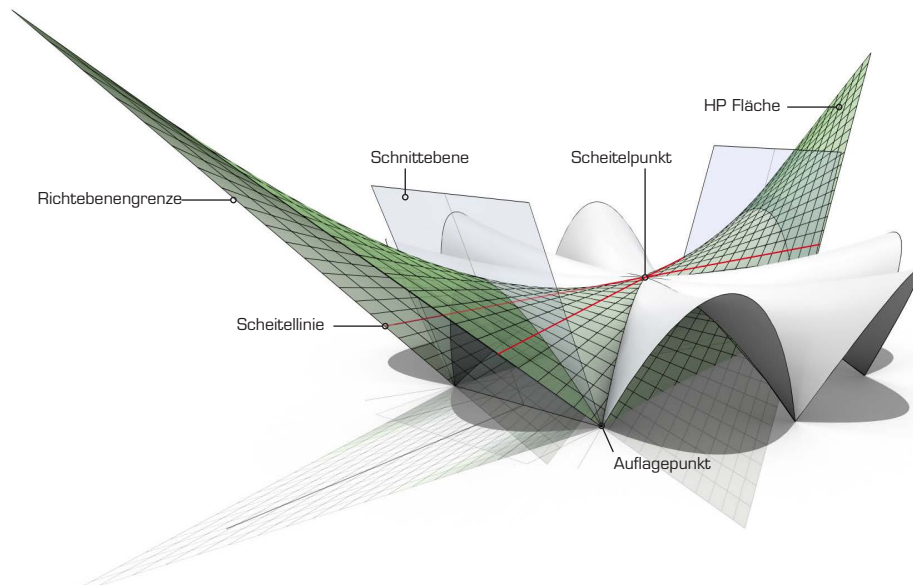
Mit entsprechenden Parameter führen beide Konstruktionen zur gleichen HP-Flächen.

# Konstruktionsübung: Candela HP-Dach

## 3. Geometrische Analyse

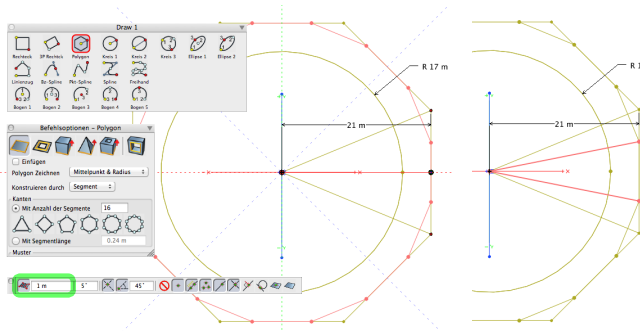


Aus diesen Darstellungen wird schnell klar, dass Candelas Dachkonstruktion auf einer HP-Fläche basiert. Auf der GR-Darstellung rechts sind die Scheitellinien der Fläche abgebildet (mit einem Winkel von  $22.5^\circ$  oder  $360^\circ/16\dots$ ). Die Kreuzung der Scheitellinien liegt in der Mitte vom Gebäude auf 5.90 m. Die Auflagepunkte sind auf der Richte ebene der HP-Fläche und liegen auf den Ecken eines Achtecks von ca. 34 m Durchmesser. Aus diesen Angaben kann man die HP-Fläche geometrisch nachkonstruieren.

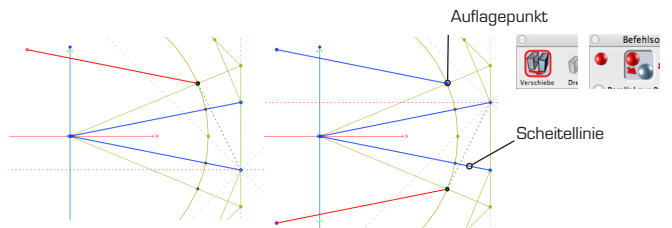


## 4. Konstruktion Candela HP-Dachflächen

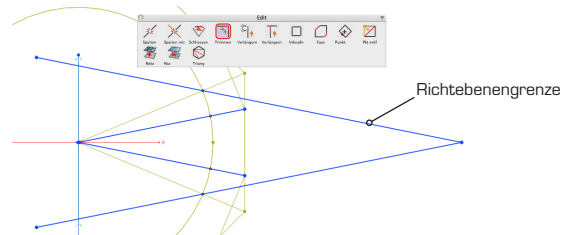
### Basiskonstruktion



Fangraster auf 1m einschalten.  
Mit dem Polygon-Tool ein 8-Eck und ein 16-Eck zeichnen mit einem Radius von 21m (Option «Konstruieren durch Segment» aktivieren). Radien einzeichnen. Ein Kreis mit Radius 17m zeichnet im Schnittpunkt mit dem 8-Eckradius die Auflagepunkte des Dachsegmentes. Die Radien des 16 Eckes sind die Projektion der Scheitellinien der HP-Fläche...

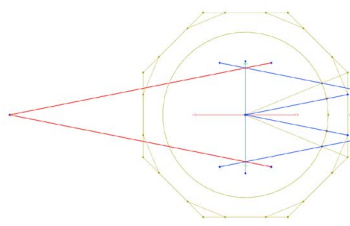


Objektfang «Schnittpunkt» aktivieren. Scheitellinien kopieren und auf die Auflagepunkte setzen. Diese Linien sind die Projektion der Richte ebene der HP-Kurve.

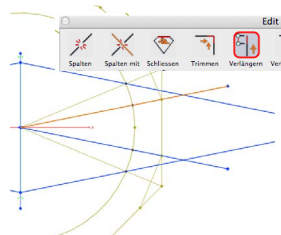


Mit dem Trim-Tool die Linien trimmen: nacheinander auf die Seite der Linie klicken wo die Linie verlängert werden soll...

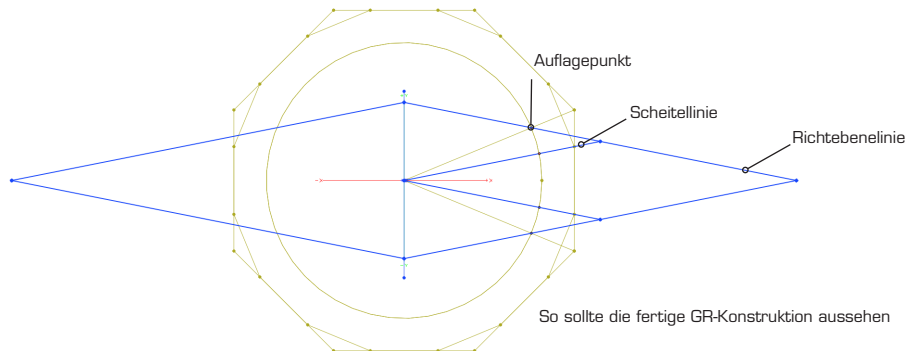
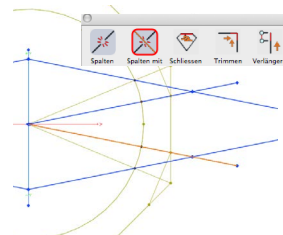
# Konstruktionsübung: Candela HP-Dach



Die Richtebenenlinien um die Y-Achse kopiert spiegeln.  
Linien gegenseitig trimmen

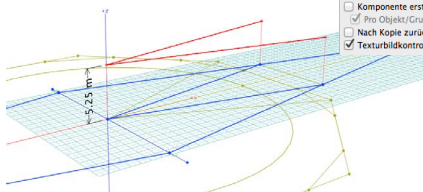
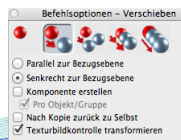


Die Scheitellinien verlängern und mit der Richtebenen-  
Linien schneiden.

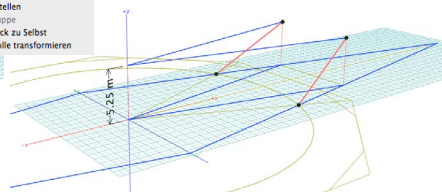


So sollte die fertige GR-Konstruktion aussehen

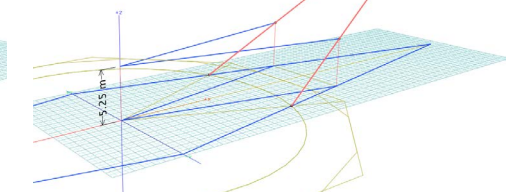
Leitlinien für die HP-Fläche zeichnen



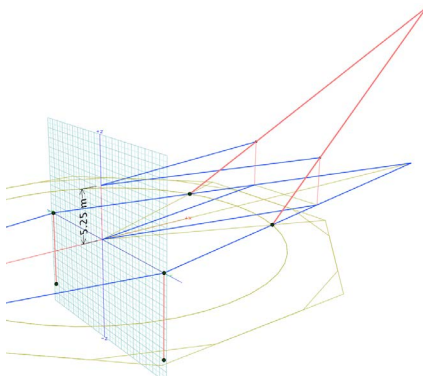
In die perspektivische Ansicht wechseln. Die Scheitel-  
linien um 5,25m in die Z-Richtung kopieren. Option  
«Senkrecht zur Bezugsebene»



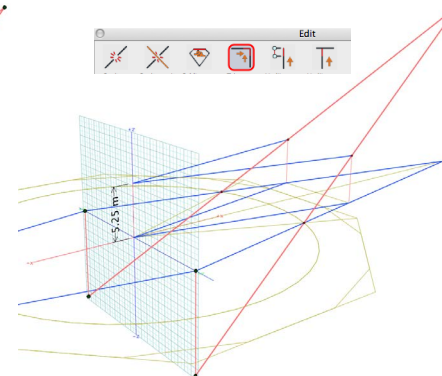
Linie zeichnen zwischen Ende Scheitellinie und Auflage-  
punkt. Diese Linien werden die Leitlinien der HP-Fläche  
sein.



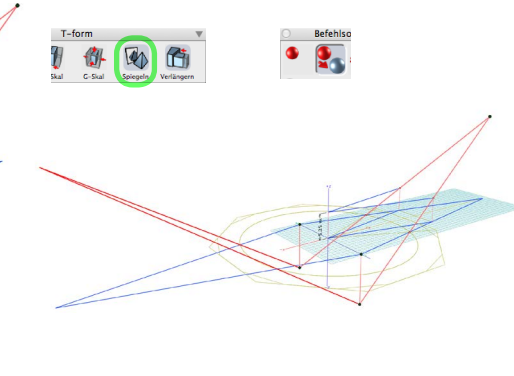
Leitlinien mit dem Trimm-Tool trimmen. Nacheinander  
auf die Seite der Linie klicken wo die Linie verlängert  
werden soll...



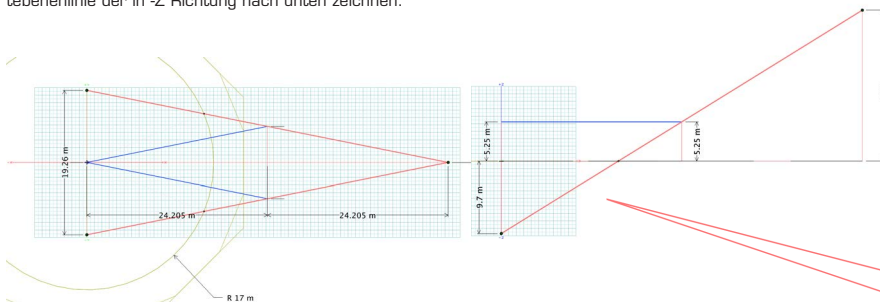
Bezugsebene auf YZ stellen. Linie am Ende der Rich-  
tebenenlinie der in -Z Richtung nach unten zeichnen.



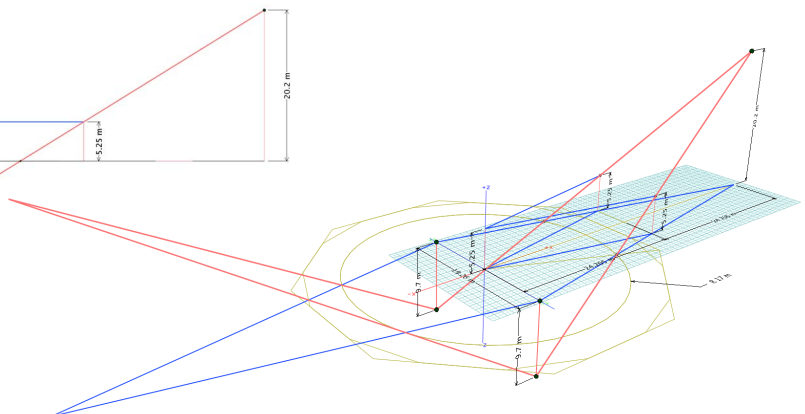
Diese Linien mit der Leitlinien trimmen.



Leitlinien entlang der Y-Achse gespiegelt kopieren.

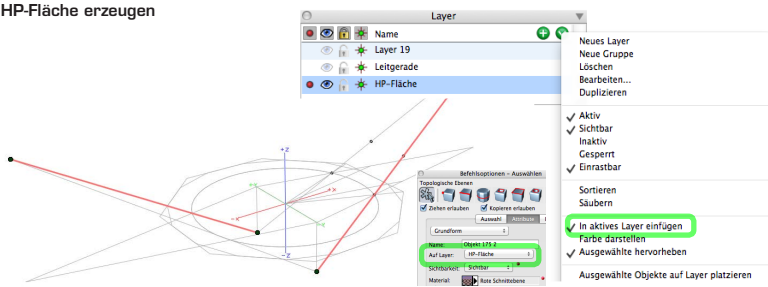


So sollte das fertige HP-Flächen-Gerüst aussehen.  
Hier zur Kontrolle die vermasste Zeichnung

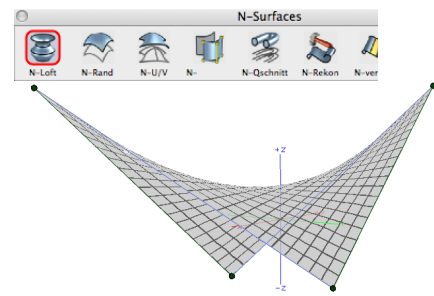


# Konstruktionsübung: Candela HP-Dach

## HP-Fläche erzeugen

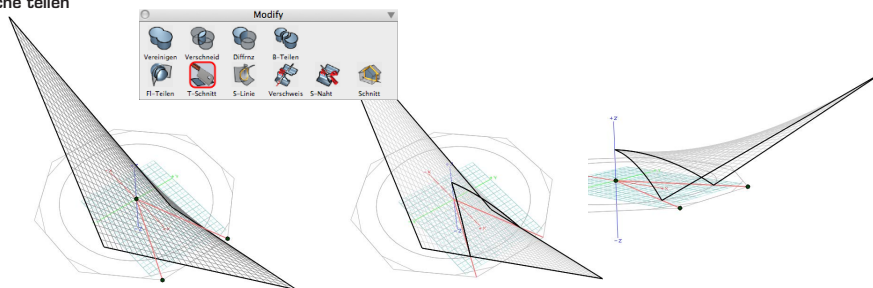


Mit Kopieren/Einfügen die zwei Leitlinien auf ein neues Layer setzen. Vorher die Layer-Option «In aktives Layer einfügen» aktivieren. Das Layer eines Objektes kann auch unter seinen Attributen zugewiesen werden.

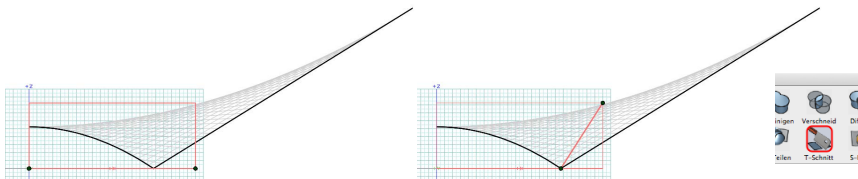


Mit dem N-Loft Tool eine Nurb-Fläche zwischen den Linien aufspannen. Voilà, fertig ist die HP-Fläche. Jetzt muss sie noch geschnitten werden.

## HP-Fläche teilen

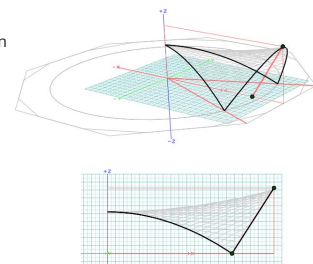


Konstruktions-Layer einblenden und mit dem Polyline-Tool eine V-Linie nachzeichnen (Ecke 8-Eck und Mittelpunkt). Mit dem T-Schnitt Tool die HP-Fläche teilen und Reststück löschen.



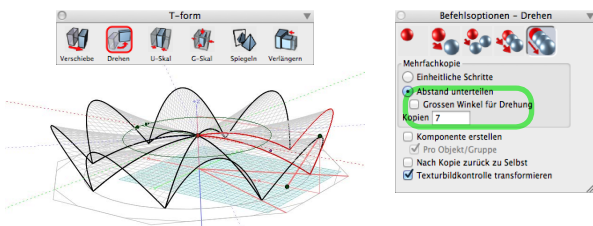
Im SR ein Rechteck 21 x 8.25 m zeichnen

Schnittgerade zeichnen zwischen Auflagepunkt und Rechteck-Ecke.

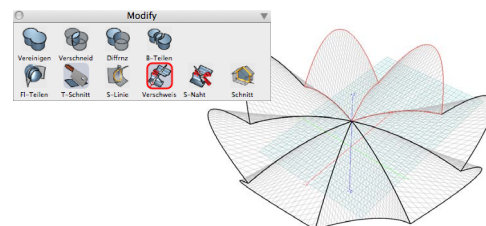


Mit dem T-Schnitt Tool die Fläche teilen und Reststück löschen.

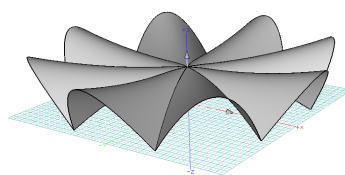
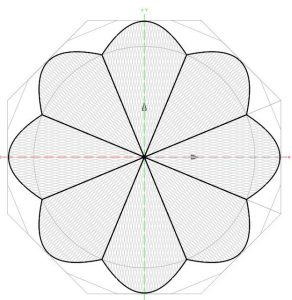
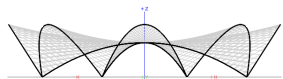
## Rondell Dachfläche erzeugen



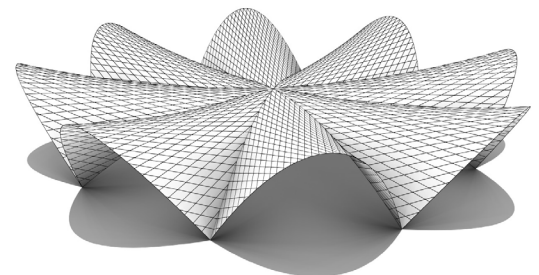
Dachelement 7 Mal im Kreis kopieren (Mehrfachkopie, Abstand unterteilen, 360°)



Mit Verschweis-Tool nacheinander die einzelnen Dachelemente zu einem Flächen-Objekt verschweissen.

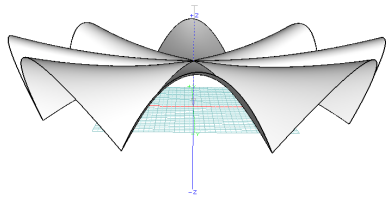


So sollte die fertige Dachfläche aussehen.

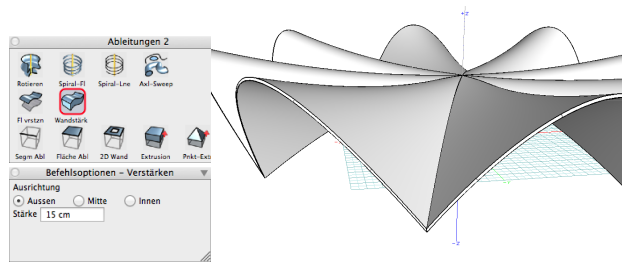


# Konstruktionsübung: Candela HP-Dach

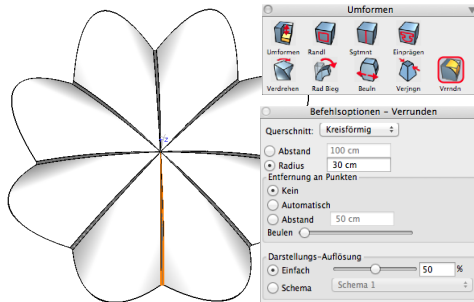
Dach als Volumenkörper konstruieren



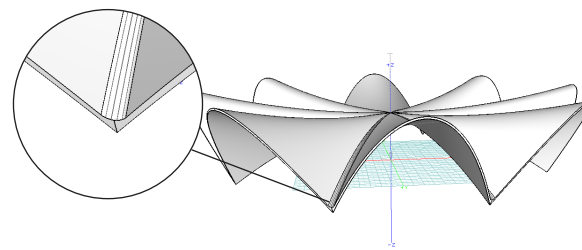
Eine Kopie des Dachflächenobjektes (wir brauchen es noch) auf ein neues Layer setzen.



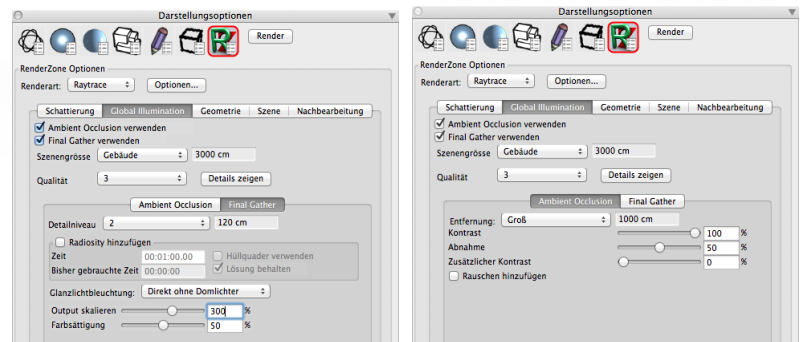
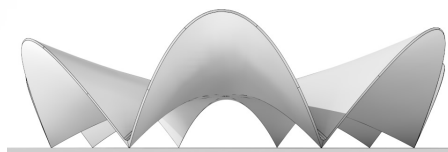
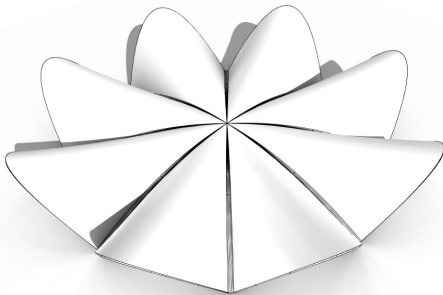
Mit dem Wandstärke-Tool das Flächenobjekt in einen Volumen-Körper verwandeln. Option Aussen, Stärke 15 cm (dicker als das Original, weil es sonst zu dünn erscheint auf den Renderings...)



Mit Verrunden-Tool nacheinander die zentralen Dachsegmente mit einem Radius von 30 cm verrunden: mit einem Befehl-Klick die einzelnen Segmente nacheinander auswählen und verrunden. Bei mir hat der Versuch nicht geklappt alle Segmente auf einmal zu verrunden. Verrundung mit kleineren Werten versuchen, falls es mit 30 cm nicht klappt.



Voilà, das Dachmodell ist fertig. Candelas Konstruktion versinkt etwas im Boden, um eine genügend grosse Auflagefläche zu bilden. Man kann das Dachmodell um ein paar cm nach unten bewegen, um dies zu simulieren.

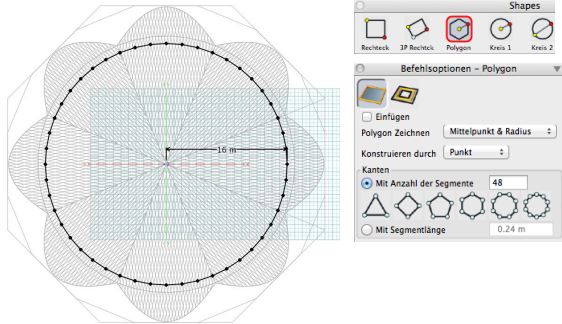


Testrenderings mit «Ambient Occlusion» und «Final Gather», Einstellungen beachten. Diese Optionen verlängern die Renderzeit um bis zu 8x!

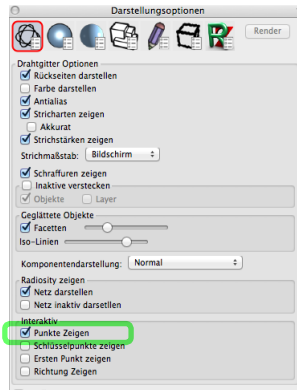
# Konstruktionsübung: Candela HP-Dach

## 5. Konstruktion Glasfenster-Fassade

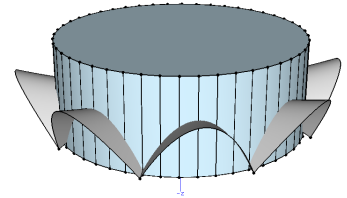
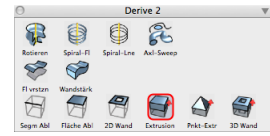
### Grundkörper zeichnen



Im GR ein 48-Eck mit Radius 16 m zeichnen. Option «Mittelpkt & Radius». Die Glasfassade ist etwas zurückversetzt gegenüber den Dachauflagepunkten.

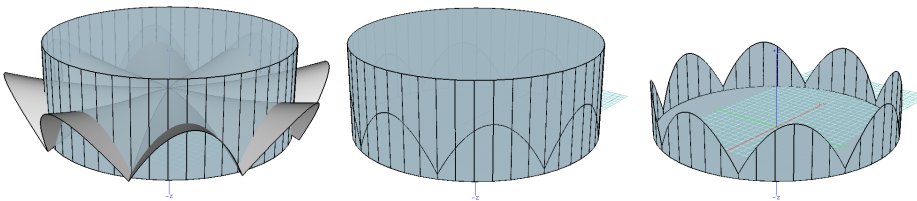


Tipp: In der Palette «Darstellungsoptionen» kann man z.B. in der Draht-Gitter Darstellung die Option «Punkte Zeigen» aktivieren, um Objektpunkte besser sehen zu können...



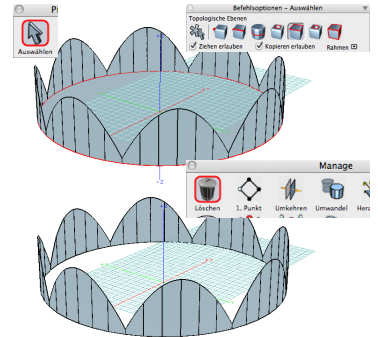
48-Eck kopieren (wir brauchen es noch) und auf ein neues Layer setzen. Mit Extrusion-Tool extrudieren - hoch genug, um die Dachfläche zu überragen.

### Glasflächen zeichnen



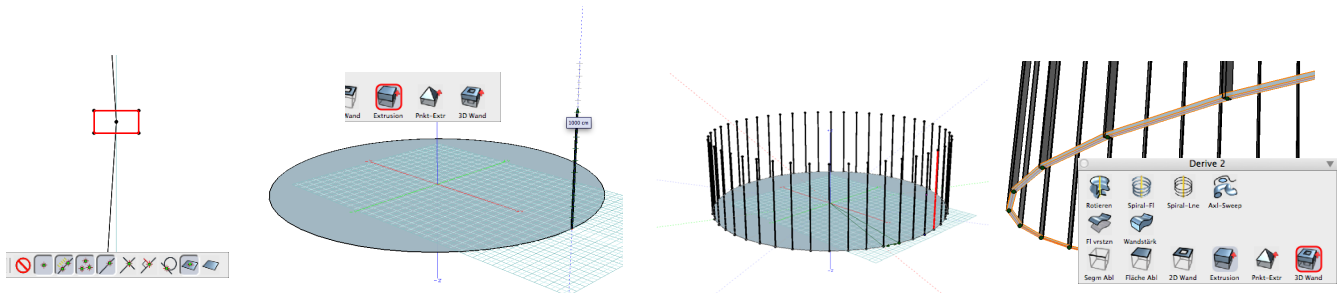
Eine Kopie vom 48-Eck Körper und der Dachfläche auf ein neues Layer setzen (wir brauchen beide Objekte noch!).

Eine Kopie vom 48-Eck Körper und der Dachfläche auf ein neues Layer setzen (wir brauchen beide Objekte noch).



Innenfläche markieren: Mit dem Pick-Tool ein Befehl-Klick auf die Fläche (Alternativ kann man in die Topologie die Option «Seitenfläche» wählen). Mit der Löschtaste (oder Papierkorb-Tool) löschen.

### Fensterrahmen zeichnen

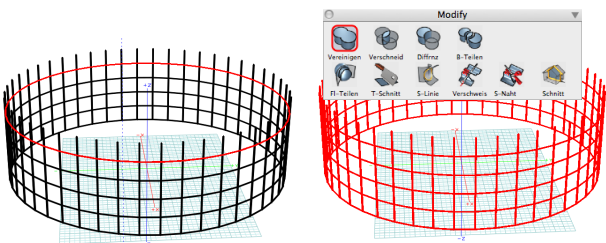


Ein Rechteck von ca. 8 x 4 cm zeichnen. Bei der Objektfangpalette die Option «auf Mittelpunkt einrastern» aktivieren. Rechteckmitte präzise auf die Ecke des 48-Eckes setzen.

Rechteck extrudieren (ca. 10m reicht)

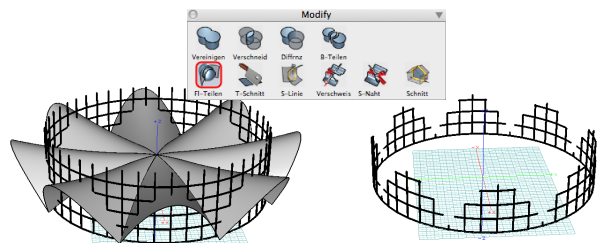
Extrusionskörper 47 Mal im Kreis kopieren.

48-Eck-Fläche mit dem 3D-Wand-Tool in ein Wand-Objekt verwandeln: Wanddicke 8 cm, Höhe 4 cm



Wandobjekt in 2 m Schritten in die Höhe kopieren.

Alle Objekte auswählen und mit dem Vereinigen-Tool zu einem Objekt verschmelzen.

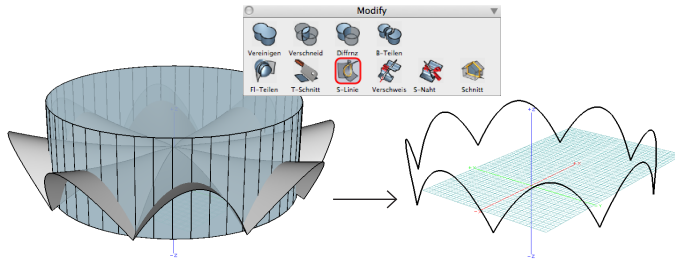


Eine Kopie der Dachfläche einfügen. Mit dem Flächen-Teilen-Tool Fensterlatten-Objekt mit der Dachfläche teilen (nacheinander in dieser Reihenfolge auswählen). Geduld: es kann etwas dauern...

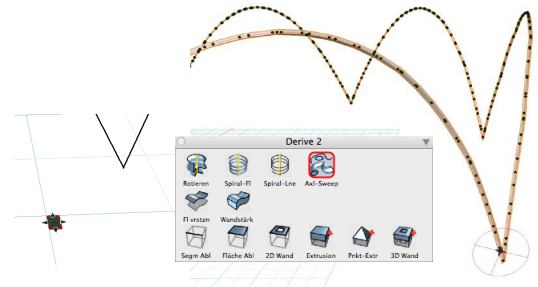
Oberteil löschen. Fertig sind die orthogonale Fensterlatten. Es fehlen noch die Dachanschlussprofile.

# Konstruktionsübung: Candela HP-Dach

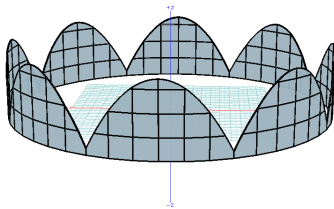
## Dachanschlussprofile konstruieren



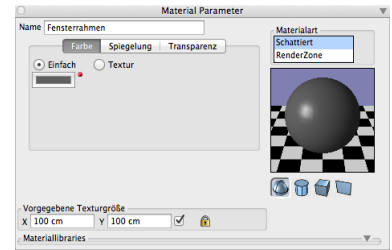
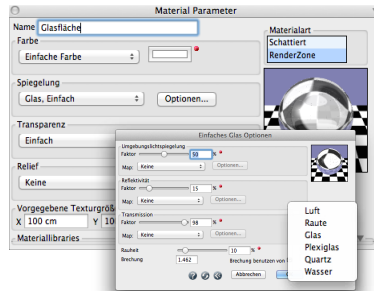
Eine Kopie vom 48-Eck Körper und der Dachfläche auf ein neues Layer setzen. Mit dem S-Linie-tool die Schnittlinie der beiden Körper erzeugen.



Ein Rechteck von ca. 10 x 5 cm zeichnen. Mit dem Axial-Sweep-Tool das Dachanschlussprofil-Objekt erzeugen - Ausrichtung des Rechteck-Profiles nach Bedarf ändern.

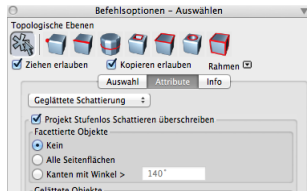


Layers einblenden mit dem Glas-Flächen-Objekt und den Fensterrahmen. Fertig ist die Glasfenster-Fassade. Zeit die Materialien zuzuweisen.



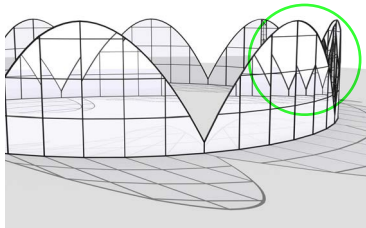
Die Glasflächen erhalten ein Glas Einfach Material. Doppelklick auf ein Material um die Material-Parameter zu bearbeiten. RenderZone-Optionen öffnen und unter Spiegelung «Glas, Einfach» wählen. In den Optionen die Spiegelung auf 15% setzen und Transmission auf ca 98%. Unter Brechungsindex den Wert auf 1 (Luft) setzen (s. unten). Unter Farben kann man ein blasses Weiss/Blau wählen (sehr zurückhaltend Farben einsetzen!). Material mit Drag&Drop auf das Fenster-Objekt ziehen.

Die Fensterrahmen erhalten einen antrazitfarbigen Anstrich. Farbe: dunkelgrau, Spiegelung: Plastik

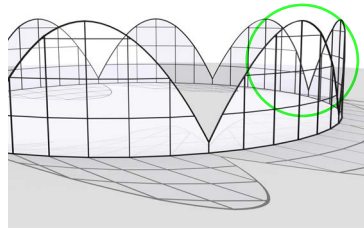


Beim Glas-Flächen-Objekt unter Attributen/Gelglättete Schattierung die Option «Kein» aktivieren. So werden die Fensterflächen facettiert gerendert - sonst würde das Programm die Flächen automatisch geglättet rendern (bei einem Winkel von über 140° zwischen den Facetten)

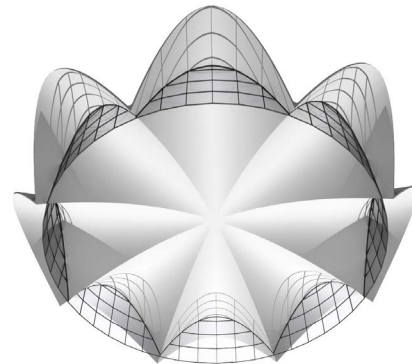
Fensterglas muss in den meisten Fällen keine Dicke besitzen, das führt nur zu langen Renderzeiten ohne merkbare Qualitätsverbesserung. Aber Achtung: bei Glas auf einseitigen Flächen sollte man den Brechungsindex auf 1 (Luft) setzen, sonst kann es zu unnatürlich wirkenden Lichtbrechungen kommen:



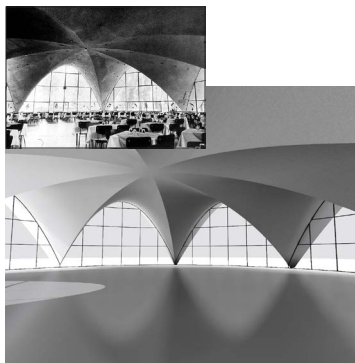
Testrendering einseitiges Fensterglas mit Brechungsindex 1.4 (Glas)



Testrendering einseitiges Fensterglas mit Brechungsindex 1 (Luft)



Fensterfront und Dach einblenden, Lichtrichtung bestimmen und mit RenderZone rendern.



Innenraum: man kann die Position vom Fotografen im 3D Modell rekonstruieren.



Fertig :-)