

Ein Tragwerk für freischwingende Architektur im

SeeBA LuADo



- Lebens- und ArbeitsDorf -



Formfindung & Modell
Tragwerksidee & -entwicklung

Atelier für
Lebensraumgestaltung



www.karamulis.de

Modell-Digitalisierung



www.trimetric.de

Flächenrückführung
CAD-Bearbeitung



www.jobob.de

FEM-Belastungs-Simulation
Tragwerks-Statik



www.dynatec.de

im Auftrag der

SeeBA LuADo



SeeBA LuADo GmbH & Co. KG

in Partnerschaft mit der



www.seeba-online.de
www.luado.de

Inhalt

Das Vorhaben Seite 3

Die Geschichte / Der Anspruch Seite 4

Formfindung Seite 5

Täumen - Machen - Leben Seite 6

Projektziele Seite 7

Die Vorteile - Freischwingende Formen in der Architektur Seite 8

Die Segmentierung des Tragwerks Seite 9, 10

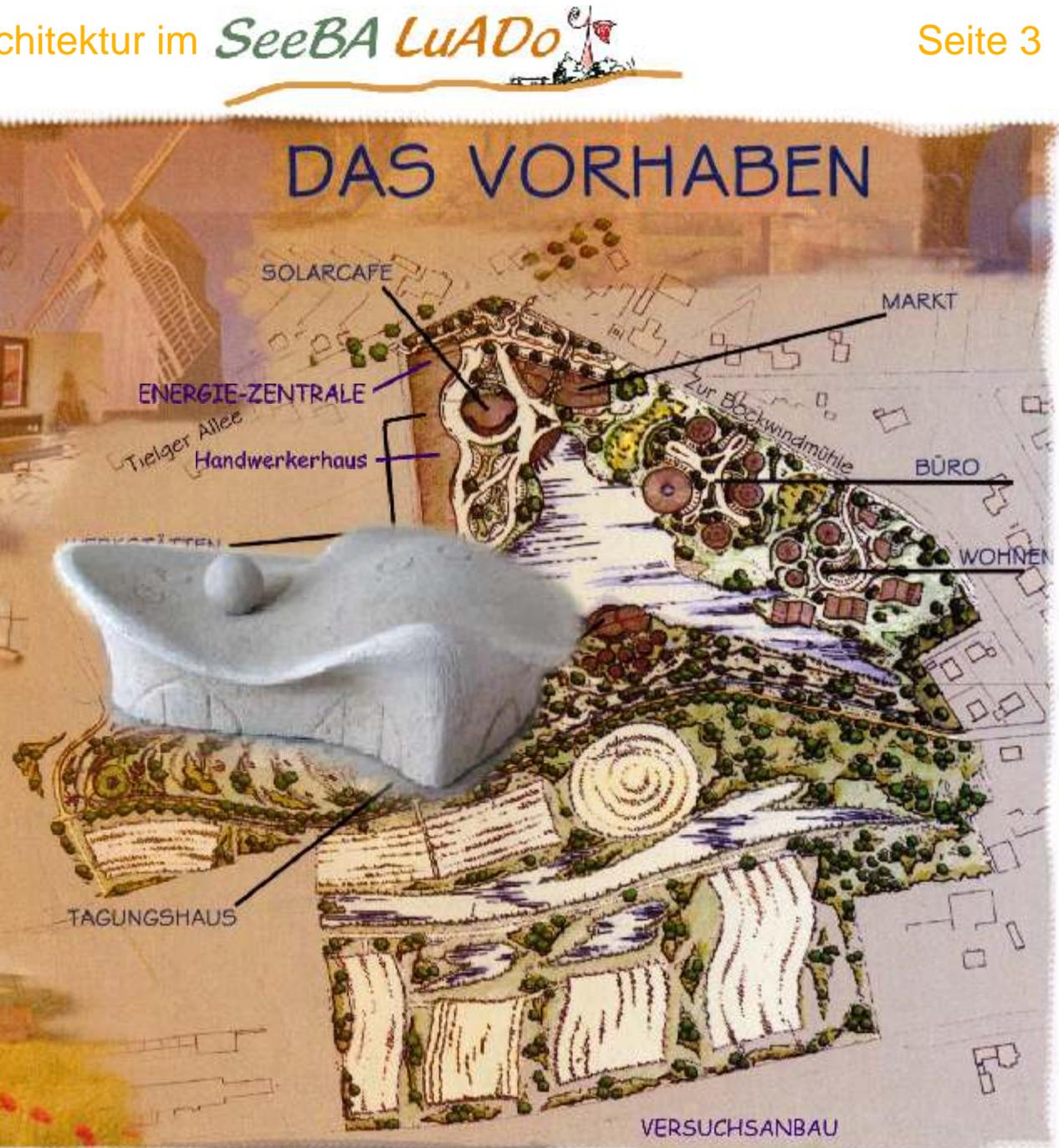
Digitalisierung und CAD-Bearbeitung Seite 11, 12

FEM-Bearbeitung Seite 13 - 16

Vorläufige Ergebnisse Seite 17

Beteiligte Firmen / Berater Seite 18

Im äußersten Norden von NRW wird eine Architektur der besonderen Art entstehen. Im Rahmen des LuADo-Projekts (Lebens- und Arbeitsdorf) der Firma SeeBa Energiesysteme GmbH in Stemwede ist die Errichtung von ca. 30 Gebäuden unterschiedlichster Art geplant. Hier sollen neue zukunftsorientierte Bauweisen erprobt werden, welche den ökologischen und sozialen Ansprüchen unserer Zukunft gerecht werden sollen. KARAMULIS - Atelier für Lebensraumgestaltung - hat hierfür „freischwingende Architektur“ entworfen. Diese naturnahen Formen sollen in Zukunft mit neu entwickelten Methoden leicht, schnell und ökologisch zu errichten sein. Dies soll durch den Einsatz modernster Techniken erreicht werden.



Die Geschichte

Landschaftsangepasste, geschwungene Formen wünschte sich der Initiator und Vater des LuADo-Projekts Bernd Klinksieck - einer der Geschäftsführer der SeeBa Energiesysteme GmbH - eine Architektur, die sich am richtigen Ort im Einklang mit der Umgebung auch zu einer „Landmarke“ hervorheben darf - eine Architektur, die sich mit der Landschaft verbindet. Die Baumeister wollen sich dazu einiges von der Natur anschauen. Hier befinden sich SeeBa-Chef Bernd Klinksieck und der Bildhauer und Lebensraumgestalter Herbert Antweiler (KARAMULIS) auf einer „Wellenlänge“.

Wellen der Urzeitmeere haben vor langer Zeit das Gelände geformt, auf dem das Projekt LuADo entstehen soll.

Wellen sind der schwungvolle Ursprung aller Materie. In Zukunft sollen auf diesem „Urzeitstrand“ die Gebäudeformen fließen und „frei schwingen“ können. Sie werden sich von einfachen Konstruktionsgeometrien lösen und alle Vorteile einer gewachsenen Raumaufteilung nutzen. Der ästhetische Anspruch und die Funktionalität der Bauwerkskonstruktion werden hier gleichwertig behandelt. Beide Ansprüche unterstützen sich gegenseitig. Die naturnahe Ästhetik ist eine der besten Voraussetzungen für Funktionalität.

Der Anspruch

Eine individuelle und schwungvolle Formgebung der Architektur soll sich in Zukunft weniger als bisher auf die Kosten niederschlagen, da ein erheblicher Teil des Konstruktionsaufwandes automatisiert werden soll. Stereometrische Formerfassung, rechnergestützte Bauwerkskonstruktion und Statikerfassung, eröffnen neue Möglichkeiten, dieses Ziel zu erreichen. Die fließenden Formen des Bauwerks werden sich in einer homogenen Tragwerkskonstruktion der gesamten Gebäudehülle widerspiegeln. Problematische Verbindungen unterschiedlicher Bauwerksmaterialien sollen nach Möglichkeit entfallen.

Die wirtschaftliche Planung und Umsetzung von effizienten, der Natur nachempfundenen Bauwerksformen ist ein wesentliches Ziel des Projekts LuADo. Visionäre, Formgestalter, Handwerker, Architekten und Bauingenieure ziehen hier an einem Strang.

Die bevorzugte Verwendung nachwachsender Rohstoffe für Baumaterial und Energiegewinnung ist hier ebenso ein Indikator für ökologisches Handeln wie auch die Formgebung der Gebäude. Die Beziehung der Architektur zu Ihrer natürlichen Umgebung wird nicht nur durch die Art der verwendeten Baustoffe beschrieben, sondern auch durch die ästhetische Wirkung der Formen auf ihre Umgebung. **Ökologie hat auch eine ästhetische Komponente!**

Das LuADo-Projekt soll vorhandene Kräfte bündeln, Erfahrung, Idee und Vision zusammenführen. Hier werden neue Wege beschritten.

Formfindung

“Nur dem, der träumen kann,
werden die Ideen geschenkt ...”



Bernd Klinksieck beauftragte KARAMULIS, verschiedene Formentwürfe für die LuADo-Werkstätten zu entwickeln. Die “freischwingenden” Varianten, vor allem die des 2. Hauses, des “Handwerkerhauses”, begeisterten so sehr, dass er sich entschloß, KARAMULIS die Aufgabe anzuvertrauen, Ideen für die wirtschaftliche Verwirklichung dieser Entwürfe zu formulieren, mit fachlicher Unterstützung zu prüfen und weiterzuentwickeln.

träumen

zulassen
wahrnehmen
benennen
handeln

visionen
erkennen
entfalten
entwickeln

machen

ökologisch handeln

möglichkeiten
entdecken
ausprobieren
verwirklichen

leben

impulse setzen
synergien nutzen
ganzheitlich denken

möglichkeiten aufzeigen
anstösse geben

zusammen leben
im einklang mit der natur

Projektziele

Ziel des Projekts ist es, eine landschaftsangepasste, freischwingende Architektur mit hohem Gestaltungsspielraum nach ökologischen Prinzipien auf möglichst einfache und preiswerte Weise als Einzelgebäude herstellen zu können.

- Hierzu muss für das Tragwerk eine universelle Konstruktionsweise gefunden werden, welche auf möglichst viele freischwingende Gebäudeformen anwendbar ist.
- Die Konstruktionsweise soll eine einfache Übertragbarkeit der Modellform auf die Bauelemente ermöglichen. Die im Modell entwickelte Form der Außenhaut, wie auch die der Innenräume soll durch die Form computergestützt hergestellter Tragwerksrippen oder anderer tragender Bauelemente exakt dargestellt werden. Wenn tragende Teile nicht für diese Formdarstellung ausreichen, werden sie durch nichttragende Bauelemente ergänzt.
- Die Möglichkeit der Freiformgestaltung erlaubt eine intuitive überprüfbare Statikoptimierung nach dem Vorbild der Bauformen in der Natur. Besonders beanspruchbare Werkstoffe werden nur dort eingesetzt, wo ihre Eigenschaften effektiv erforderlich sind!
- Nachwachsenden Rohstoffe werden als Baustoffe bevorzugt.
- Die Beziehung der Architektur zu Ihrer natürlichen Umgebung soll deutlich werden: Die ästhetische Ökologie. Sie wird nicht nur durch die Art der verwendeten Baustoffe beschrieben, sondern auch durch die ästhetische Wirkung der Formen auf ihre Umgebung.
- Ein möglichst gleichartiger, homogener Aufbau der gesamten Außenhülle (Außenwände, wie auch Dachbereich) soll eine vereinfachte Erfüllung verschiedener Anforderungen an die Bauplanung ermöglichen wie zum Beispiel:
 - Materialoptimierter Wandaufbau
 - Materialoptimierte Statik
 - Materialoptimierter Wärmeschutz
 - Universelle Nutzbarkeit der Innenraums
 - Vereinfachte Montage

Die Vorteile - Freischwingende Formen in der Architektur

Funktionale Auswirkungen

Seelische und energetische Auswirkungen

Der Innenraum freischwingender Architektur folgt dem Wirkungsradius der Menschen, die darin leben und arbeiten.

Die „tote Ecke“ fehlt.

Der Raum wirkt offen und unbegrenzt.

Ein Lebensraum - der individuell ausgefüllt werden kann.

Durch die Kurvenführung und Flächenspannung können gewölbte Flächen und Körper bestimmte seelische Befindlichkeiten erzeugen, bzw. widerspiegeln.

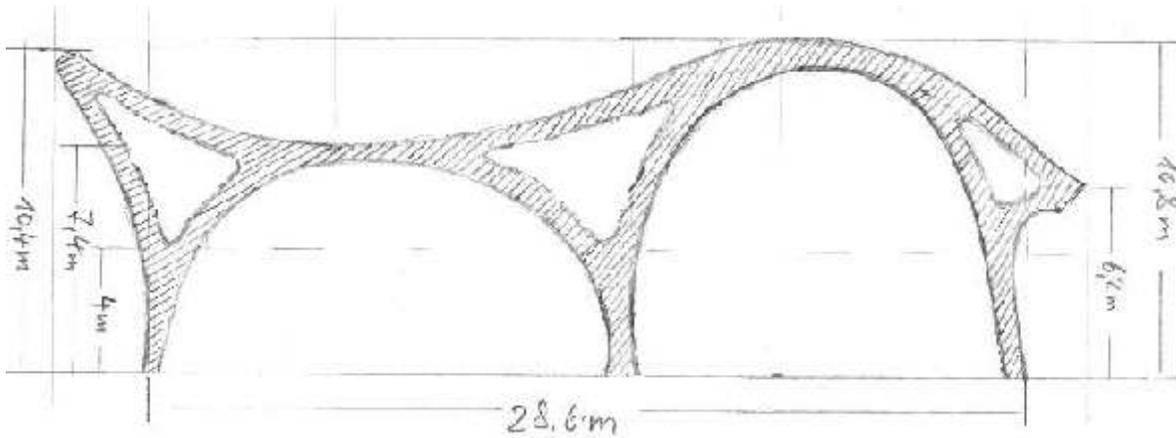
Schwungvoll gestaltete Räume und Objekte offenbaren eine in ihrer Art und Wirkung beschreibbare Formensprache.

Die Formensprache eines Raumes und der darin gestalteten Objekte beeinflusst die energetische Verfassung des Raumes. Sie bewirkt in wesentlichem Maße die „Atmosphäre“ des Raumes.

Zusätzlich wirkt die seelische Befindlichkeit der Menschen, die sich im Raum aufhalten, auf den Raum zurück.

Sehr gute Möglichkeiten nutzungsorientierter Raumaufteilung, günstige Verhältnisse von Verkehrs- und Nutzfläche sowie von Raumvolumen und Oberfläche, Fehlen von unhygienischen „Ecken“, gute konstruktive Verbindung von Decken und Wandflächen, Möglichkeiten günstiger Traglastableitungen, effizienter Einsatz statisch wirksamer und wärmeschutz-technischer Baumaterialien, nahtlose Verarbeitung großer Flächen.

Die Segmentierung des Tragwerks

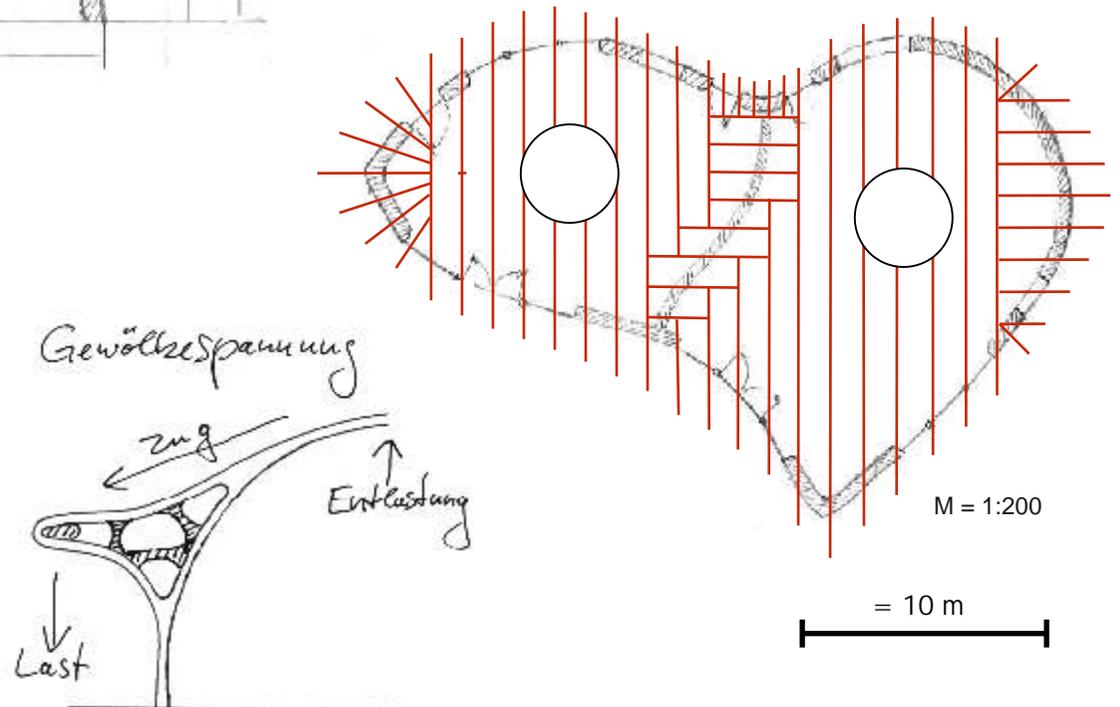


Die Idee war, ein einfach aufzubauendes Tragwerk "aus einem Guß" zu entwickeln, welches aus einem möglichst einfachen Werkstoff zu errichten ist. Für die zunächst angestrebte Konstruktionsweise eines Exoskelett-Tragwerks in Schichtholzausführung waren Prinzipien der Tragwerksegmentierung zu entwickeln, welche die Übertragung der Formentwürfe vom Modell in den 1:1 Maßstab ermöglichen würden.

Das Tragwerk soll eine einfache und auch nachträgliche Verlegung von Haustechnikleitungen ermöglichen, für den Fenster- und Türeinebau in geschwungenen Wänden sollen praktische unkonventionelle Lösungen entwickelt werden.

Die Fragestellung war zunächst, in welche Bauelemente das Gesamttragwerk segmentiert werden kann, um eine günstige Struktur für Statik und Montage zu erhalten.

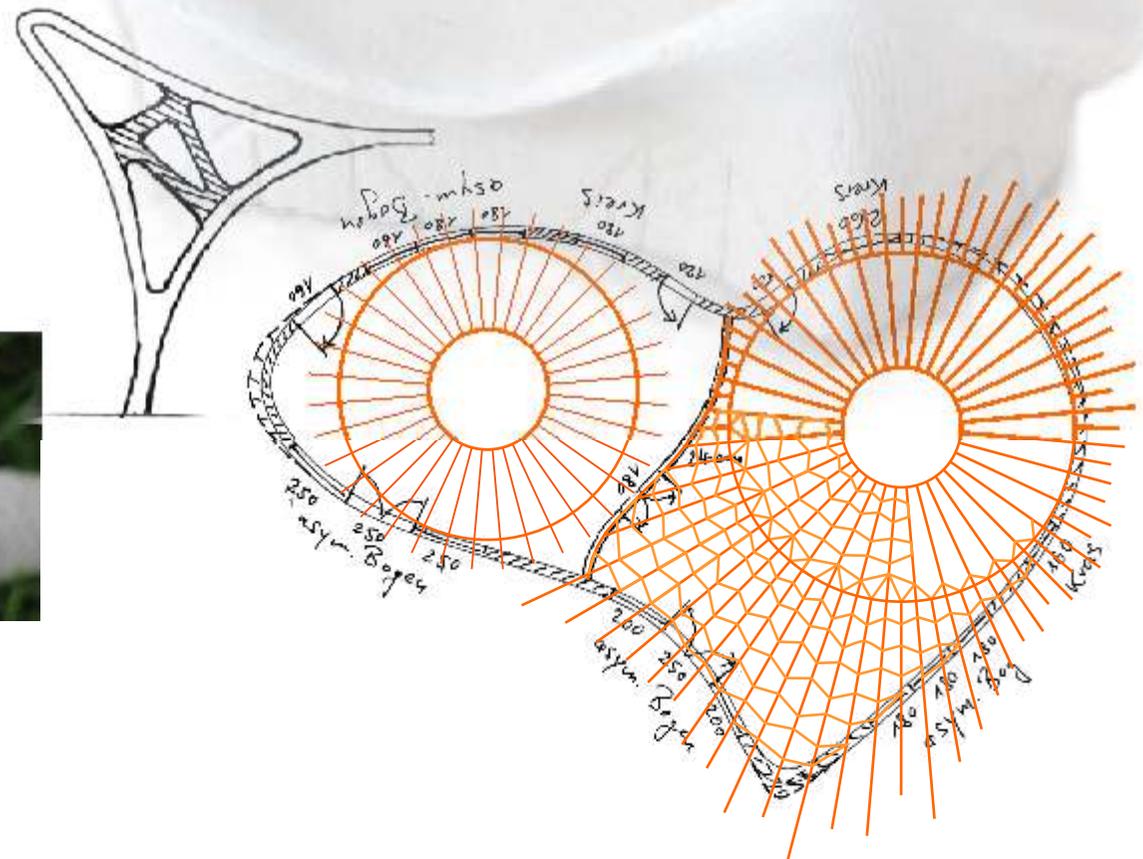
Dem intuitiv wirkenden Gleichgewichts-Sinn, der bei der Formfindung eine Rolle spielt, folgt ein intuitives Statikkonzept. Die hieraus resultierenden Lastabtragungskurven sollten durch die Segmentierung



Die Segmentierung des Tragwerks



Die kuppelförmigen Hallen des Handwerkshauses legten eine radiales Aufteilungsprinzip nahe. Die Entscheidung für eines der möglichen Segmentierungsprinzipien wurde von der nebenstehenden Konstruktion eines "primitiven" Unterwasserbewohners nicht unwesentlich beeinflusst. Ein im Holzbau mit Furnierschichtholz realisierbares Verfahren stellt die radiale Anordnung rechnerkonfektionierter Tragwerksrippen um einen zentralen Druckring dar, welcher gleichzeitig eine große Lichtöffnung bilden sollte.



Fotos: Herbert Antweiler
15. Mai 2004

Digitalisierung & CAD-Bearbeitung

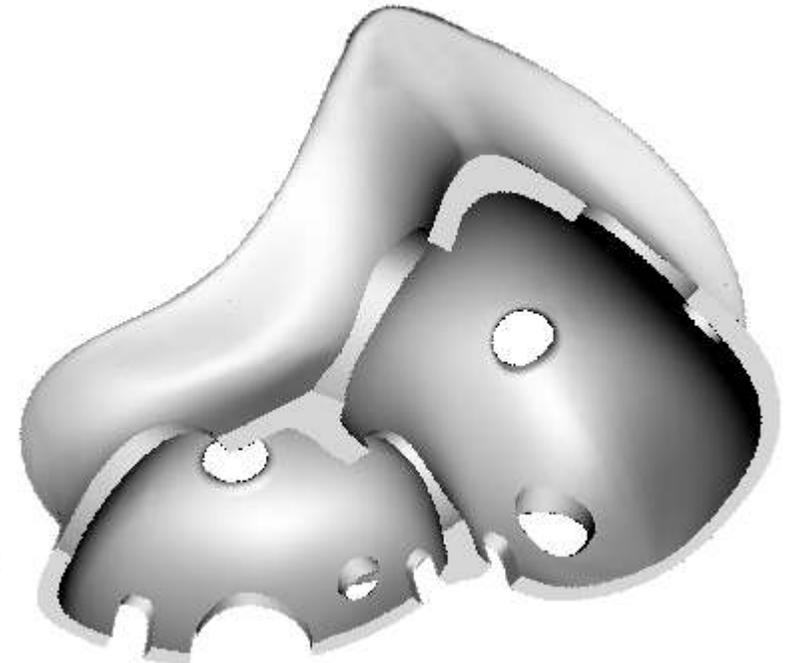
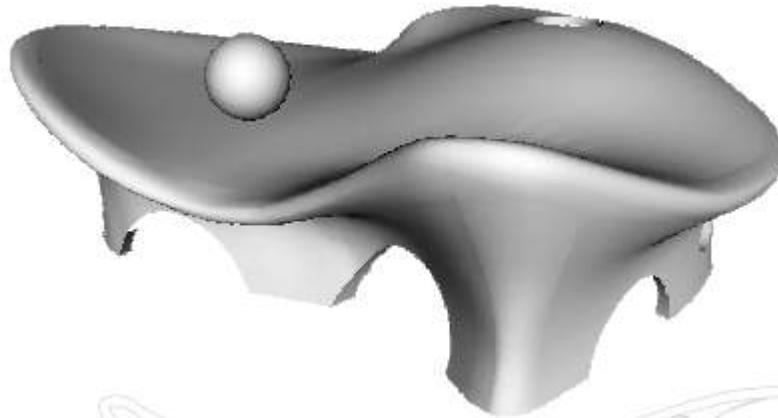
Um den modellierten Formentwurf für weitergehende Bearbeitungen mit "computergestützter Design-Software" (CAD) bearbeiten zu können, ist die Darstellung der Form in digitalen Datensätzen erforderlich. Hierzu werden mit einer 3D-Vermessungsvorrichtung (unten links) ca. 30 bis 40 Stereobilder aufgenommen. Dabei werden mehrere Millionen Punkte eingemessen, welche dann auf etwa 500.000 heruntergerechnet werden können. Diese Punktwolke wird mit Hilfe der sogenannten Flächenrückführung geglättet und in höherwertige CAD-Datensätze umgerechnet - sogenannte Nurbs-Flächen. Die Oberfläche der Form wird hier nicht mehr durch eine Punktwolke, sondern durch Formeln definiert, wodurch die Datenmenge erheblich reduziert wird.



Der Datensatz repräsentiert nun die Außenhaut des Modells. Von dieser Basis aus können Innenräume, Fenster und Türen, die Tragwerkskonstruktion bis hin zum transportfähigen Fertighauselement konstruiert, statisch überprüft und dimensioniert werden. Es können auch Photopolymerisationsverfahren zur Modellreproduktion (hier im Maßstab 1:500) gesteuert werden.



CAD-Bearbeitung



Bevor der CAD-Datensatz in die Konstruktionbearbeitung und Statiküberprüfung gehen kann, muß das Bauwerksvolumen genau definiert sein. Mit der Innenhaut, welche über verschiedene Schnittdarstellungen dimensioniert werden kann, sowie den Öffnungen und Zwischenwänden werden Wandstärken und -flächen festgelegt.



Die nicht geometrisch definierbaren freischwingenden Formen lassen sich in der CAD-Bearbeitung nur sehr bedingt korrigieren: Der darstellende Bildschirm bleibt zweidimensional, die Werkzeuge zu ungenau, das Ergebnis einer Korrektur nicht wirklich "faßbar". Der Bearbeiter hat die Form nicht mehr "in der Hand". Für eine wesentliche Korrektur in diesem Bereich muß der 3D-Datensatz "ausgedruckt", handbearbeitet, neu eingescannt, bzw. vermessen werden.



FEM-Bearbeitung

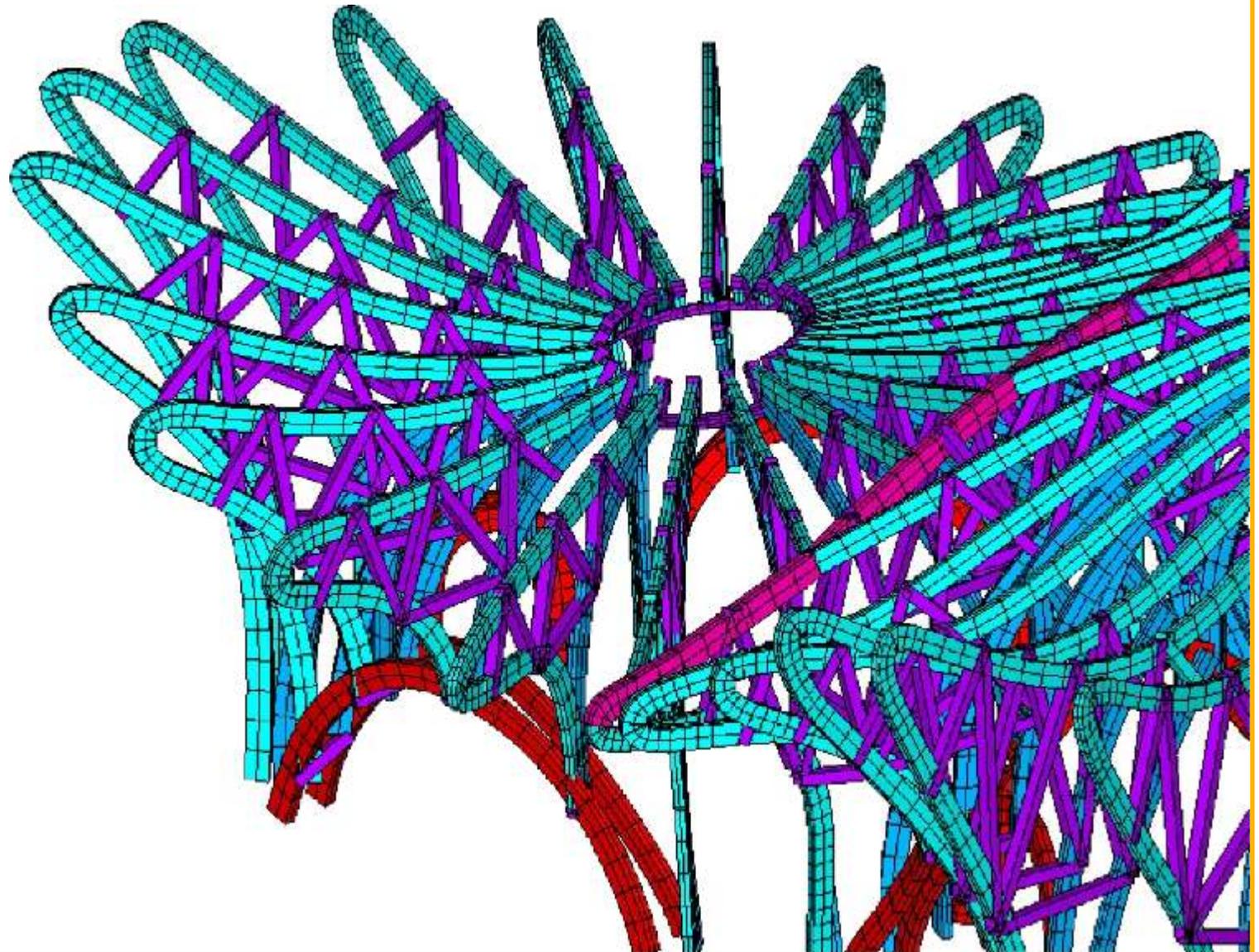
Mit der sogenannten “Finite Elemente Methode” ist die realitätsnahe Belastungssimulation von Tragwerken bestimmter Form und Dimension im Rechner möglich.

In den Darstellungen werden Kräfteverhältnisse dargestellt, nicht genaue Werkstoffabmessungen. In einigen Diagrammen sind einzelne Tragwerksteile (wie z.B. die Fachwerkstäbe) aus Übersichtsgründen in der Darstellung weggelassen.

Hier wurde die zugrundegelegte Tragwerksidee übernommen und zusammen mit dem Bildhauer weiterentwickelt.

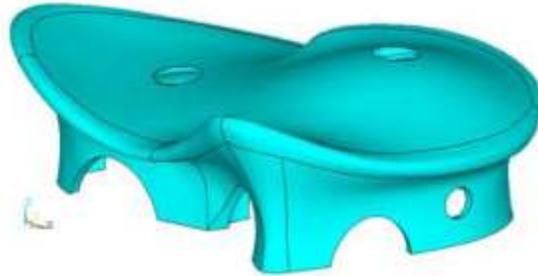
Die FEM-Berechnungen werden nachweisen, ob die dem Modell zugrundeliegenden statischen “Annahmen” zutreffen oder nicht.

Eine FEM-Analyse wird auch Grundlage sein für eine genehmigungsfähige Statik.

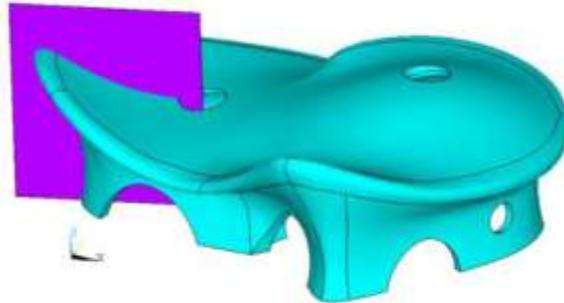


FEM-Bearbeitung

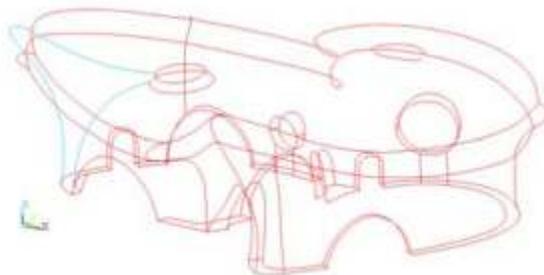
Ausgangspunkt
Flächenmodell



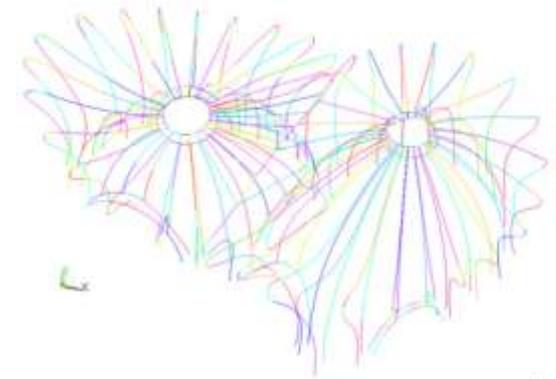
Schritt 1
Festlegen einer
Schnittebene



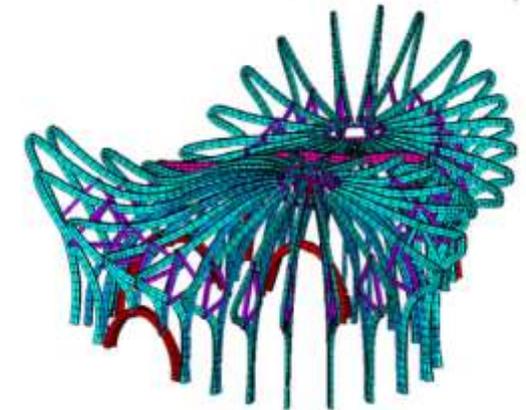
Schritt 2
Erzeugen von
Schnittlinien durch
Verschneiden der
Begrenzungsflächen
mit der Schnittebene



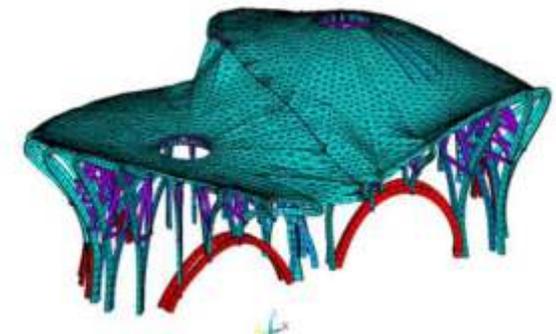
zu Schritt 2
Erzeugen sämtlicher
Schnittlinien (48) durch
Verschneiden der
Begrenzungsflächen



Schritt 3
Zuweisen von
Materialkennwerten
und Querschnitts-
abmessungen an die
Schnittlinien
- FE-Modellierung



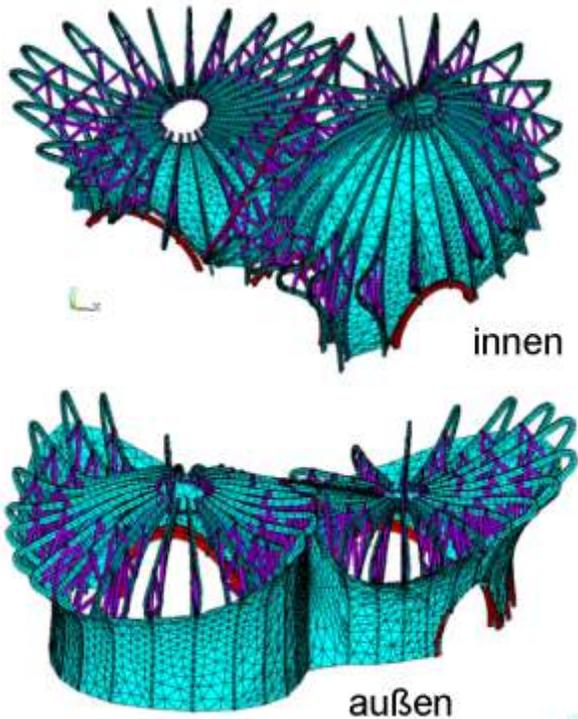
Schritt 4
Modellieren einer
Dachfläche zur
Lastaufbringung
(Gründach, Schnee)



FEM-Bearbeitung

Schritt 5

Modellieren der Beplankung (2x10mm) zur Aussteifung des Gebäudes

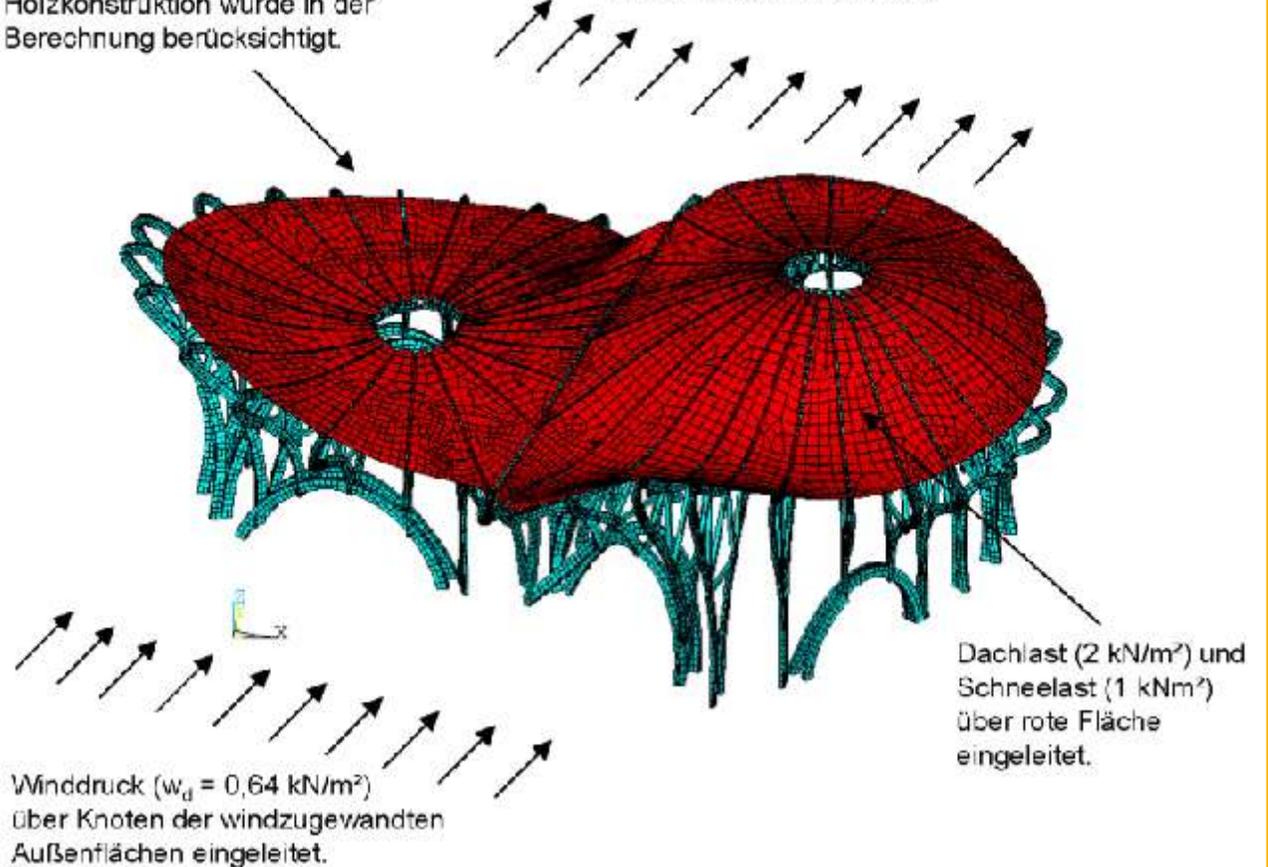


Schritt 6

Aufbringen der Lasten und Randbedingungen

Das Eigengewicht der gesamten Holzkonstruktion wurde in der Berechnung berücksichtigt.

Windsog ($w_s = 0,40 \text{ kN/m}^2$) über Knoten der windabgewandten Außenflächen eingeleitet.



Winddruck ($w_d = 0,64 \text{ kN/m}^2$) über Knoten der windzugewandten Außenflächen eingeleitet.

Dachlast (2 kN/m^2) und Schneelast (1 kNm^2) über rote Fläche eingeleitet.

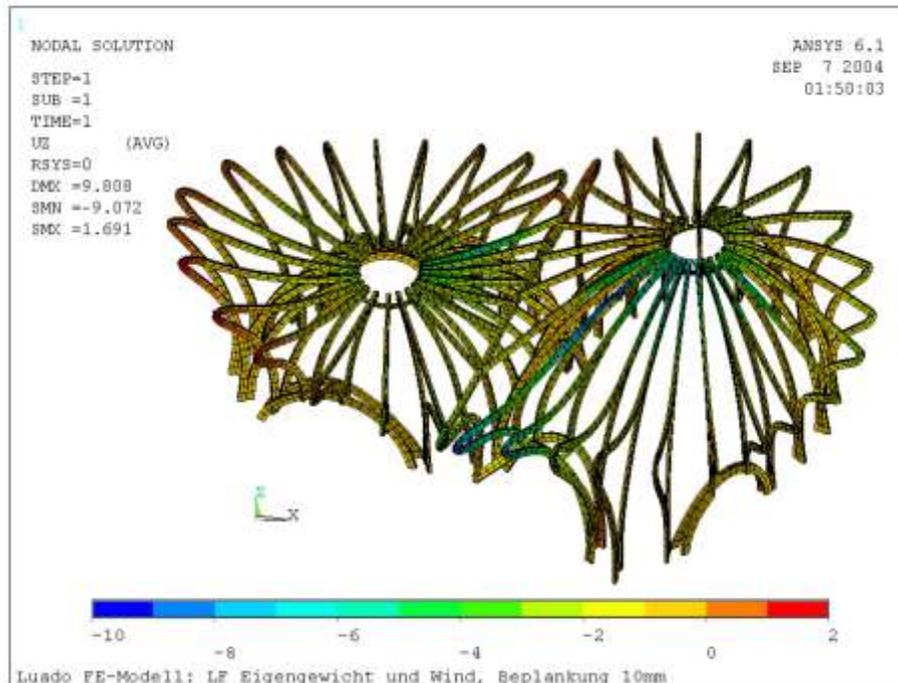
FEM-Bearbeitung

Schritt 7

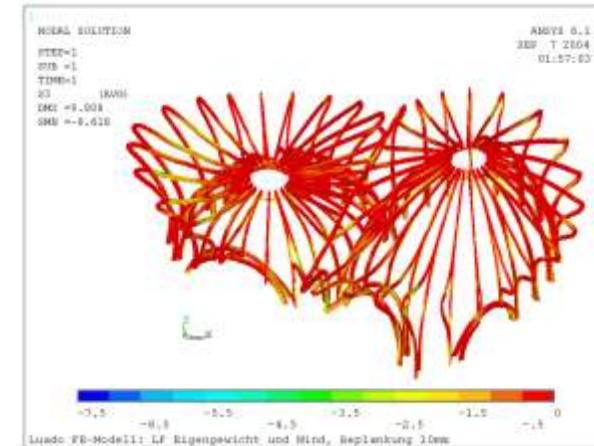
Darstellung der Belastungsergebnisse in der Simulation

Das Durchbiegungs-Diagramm zeigt, dass auch im vereinfachten Tragwerksmodell in den meisten Bereichen die Durchbiegung nur -1 bis -4 mm betrug.

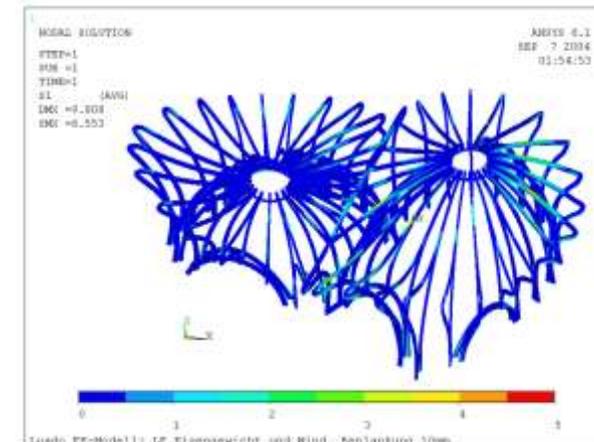
Lediglich an einer Rippe wurde ein "Spitzenwert" von 9,8 mm erreicht, was jedoch leicht durch eine Nachbesserung der Deckenstärke ausgeglichen werden kann.



Hauptdruckspannung (Toleranz 15 N/mm²):
rot bis orange = 0 bis -1,5 N/mm²
max. -8,6 N/mm² (Einzelfälle)



Hauptzugspannung (Toleranz 15 N/mm²):
blau bis hellblau = 0 bis 1,5 N/mm²
max. 6,6 N/mm² (Einzelfälle)



Vorläufige Ergebnisse

Form und Tragwerks-Segmentierung des Formentwurfes zum Handwerkerhaus sind im Holzbau mit Furnierschichtholz umsetzbar.

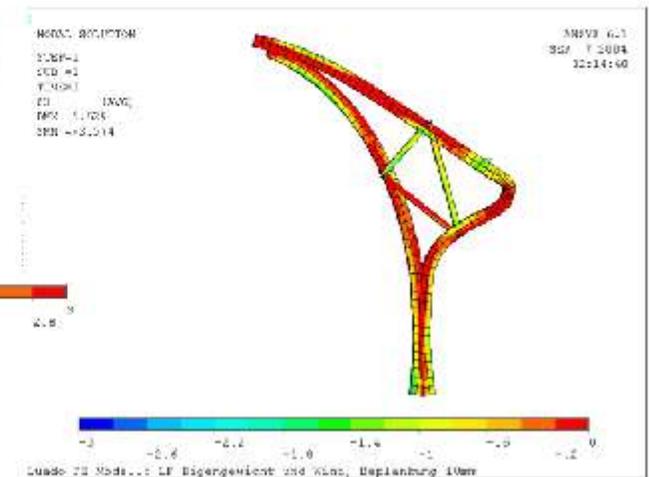
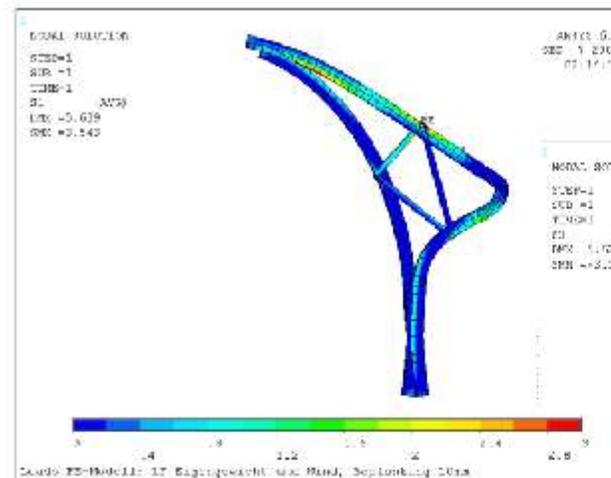
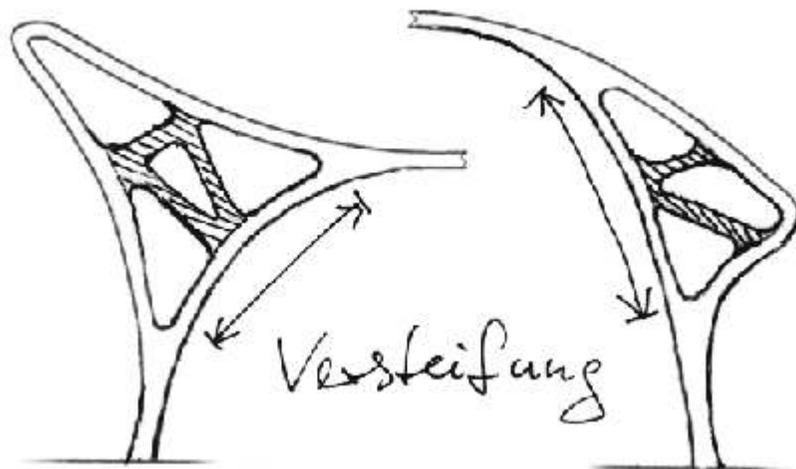
Die Verwendung von gefrästem, kostenaufwendigen Furnierschichtholz konnte auf ein Minimum begrenzt werden.

Auch bei der im FEM-Modell noch verhältnismäßig einfachen Fachwerkversteifung der Rippenträgerkonstruktion zum Handwerkerhaus ergaben sich bei der Belastung Werte, welche weit innerhalb der Toleranz lagen.

Die ursprüngliche "intuitive Statik" und die darauffolgenden Annahmen (siehe z.B. unten links) wurden damit bestätigt.

Die Umsetzung der Modellform in den 1:1 Maßstab ist mit der Holz-Rippenträgerkonstruktion möglich, aber noch aufwändig.

An der Entwicklung weiterer Ideen zur Vereinfachung der Konstruktion und der Montagetechniken wird zur Zeit noch gearbeitet.



Balenbach, den 24. September 2004

Beteiligte Firmen:

Formfindung & Modell
Tragwerksidee & -entwicklung

Atelier für
Lebensraumgestaltung



www.karamulis.de

Eitorf/Sieg
+49 (0)2243-2852

Modell-Digitalisierung



www.trimetric.de

Hannover
+49 (0)511-3574697

Flächenrückführung
CAD-Bearbeitung



www.jobob.de

Braunschweig
+49 (0)531-2504716

FEM-Belastungs-Simulation
Tragwerks-Statik



www.dynatec.de

Braunschweig
+49 (0)531-3804251

Berater:

Sven Rehagel, Architekt, Hennef/Sieg,
+49 (0)2242-9331934 rehagel@rfplus.de

Carl-Maria von Spiegel, Zimmerei, Preußisch Oldendorf
+49 (0)5742-920636 Zimmerei.von.Spiegel@t-online.de

Peter Lindemann, Tischler, Handel mit ökolog. Bauwaren, Stemwede
+49 (0)5474-205902 www.oekobau-stemwede.de

Gustav Bohrenkämper, Dipl. Ing., Bünde,
+49 (0)5223-130889 www.holzverbindung.de

Herr Buhr, Herr Logemann, Zimmerei Sieveke - Ing. Holzbau, Lohne,
+49 (0)4492-9282-0 www.sieveke.de

Wolfgang Müll, Holzbau Amann GmbH, Weilheim
+49 (0)7755-9201-0 www.holzbau-amann.de

Josef Schulze-Sutthoff, Marketing, Braunschweig,
+49 (0)531-2406600 www.leolight.de

im Auftrage der



SeeBA LuADo GmbH & Co. KG

in Partnerschaft mit der



Stemwede
+49 (0)5773-9120

www.seeba-online.de
www.luado.de