



Wolfram Kübler
Walt + Galmarini AG
Zürich, Schweiz

Freiformschale Elefantentpark Zoo Zürich: Statische Formfindung und Konstruktion

Freiformschale Elefantenpark Zoo Zürich: Statische Formfindung und Konstruktion

Projektbeschreibung

Nutzungsanforderungen

2008 wurde ein internationaler Planungswettbewerb ausgeschrieben. Insgesamt wurden 50 Arbeiten eingereicht. Die Vorgaben für die Elefantenhaltung umfassen im klimatisch bedingt grossen Innenbereich zwei landschaftlich gestaltete Anlagen für Kühe (auch bullentauglich) sowie – für die Besucher nicht einsehbar – zwei Anlagen für Bullen, eine Quarantänestation und je einen Managementbereich für Kühe und Bullen.

Ein Badebecken soll dem Besucher zudem einen Unterwassereinblick ermöglichen. Im Aussenbereich sind drei Anlagen vorgegeben, eine davon primär für Bullen, die anderen beiden zur gemischten Nutzung. Eine Vergesellschaftung der Elefanten mit Huftieren wird angestrebt. Hierfür steht ein Huftierstall mit einem für Elefanten nicht zugänglichen Vorbereich zur Verfügung.

Mit Ausnahme der Quarantäne- und der Managementbereiche, die einen Hartboden erhalten, werden die Anlagen im Innen- wie Aussenbereich mit Sand- und einem verdichteten Erde-Sand-Boden, der sogar mit Lastwagen befahren werden kann, ausgestattet. Für das Komfortverhalten werden nebst Sand auch Totholzstämme, Felsen, Lehmsuhlen, Bassins und Duschvorrichtungen zur Verfügung stehen. Die Elefanten sollen künftig mehr Zeit und dies über einen längeren Zeitraum in die Futterbeschaffung investieren müssen. Eine ganze Reihe von Fütterungseinrichtungen, die zum Teil über Zeitschaltuhren gesteuert werden, sind vorgesehen.

Die neue Anlage ist für ein bis zwei Bullen und vier adulte Weibchen mit ihrem Nachwuchs konzipiert. Soweit möglich, sollen die Tiere frei wählen können, ob sie sich auf der Innen- oder Aussenanlage aufhalten möchten. Um die Elefanten den Besuchern näher zu bringen, sind Einrichtungen für Präsentationen vorgesehen, wo zum Beispiel das Training oder Pflegemassnahmen demonstriert werden können. Das bereits erwähnte Badebecken mit Unterwassereinblick trägt diesem Aspekt ebenfalls Rechnung.

Bei allen grösseren Neubauprojekten versucht der Zoo Zürich, eine Verbindung der exsitu-Haltung im Zoo mit einem insitu-Projekt im Verbreitungsgebiet der betreffenden Art herzustellen. Bei den Asiatischen Elefanten wurde eine Partnerschaft mit einem von der Wildlife Conservation Society (WCS) betreuten Projekt im thailändischen Nationalpark Kaeng Krachan eingegangen. In diesem Projekt geht es im Wesentlichen um die Entschärfung des Konflikts Mensch-Elefant. Dieser entsteht in erster Linie durch Übergriffe der Elefanten auf die Kulturen, der am Rande des Parks wohnenden Bevölkerung.

Im Mai 2011 fand der Spatenstich für den Kaeng Krachan Elefantenpark statt. Die veranschlagten Kosten dieses Projekts belaufen sich auf ca. 41 Mio. Schweizer Franken. Der Bezugstermin ist für Ende 2013, die Eröffnung für Frühjahr 2014 vorgesehen.

Architektonischer Entwurf und Umsetzung



Abbildung 1 Besuchereinblick auf Aussenanlage mit Elefantenhaus im Hintergrund

Das charakteristische Element des neuen Elefantenhauses ist seine Dachstruktur. Das Dach duckt sich als flache, freigeformte Holzschale in die Landschaft, so dass die beträchtliche Grösse der Dachschale kaum in Erscheinung tritt und sich dezent zurücknimmt.

Auch tritt das Dach nicht als geschlossene Schale in Erscheinung, sondern löst sich auf in eine netzartig transparente Struktur, die in ihrer organischen Gestalt Bezüge zum umgebenden Wald herstellt.



Abbildung 2 Besuchereinblick auf Innenanlage mit Dachtragwerk und transparenten Oblichtern

Erst im Innenraum entfaltet das Dach seine volle Wirkung: Wie durch ein Blätterdach filtert das Licht durch die filigrane Dachstruktur und lässt Lichtpunkte über den Tagesverlauf wandern. Dieses Licht- und Schattenspiel sorgt für sich ständig verändernde Lichtstimmungen und schafft spannungsvolle Kontraste zwischen eher dämmrigen Bereichen und hell erleuchteten Flächen.

Die Dachstruktur überspannt die Landschaft des Innengeheges, um das der abwechslungsreiche Besucherrundweg herumführt, und nimmt die Besucherlodge, die Arena sowie die Stallungen auf.

Randbedingungen an das Tragwerk

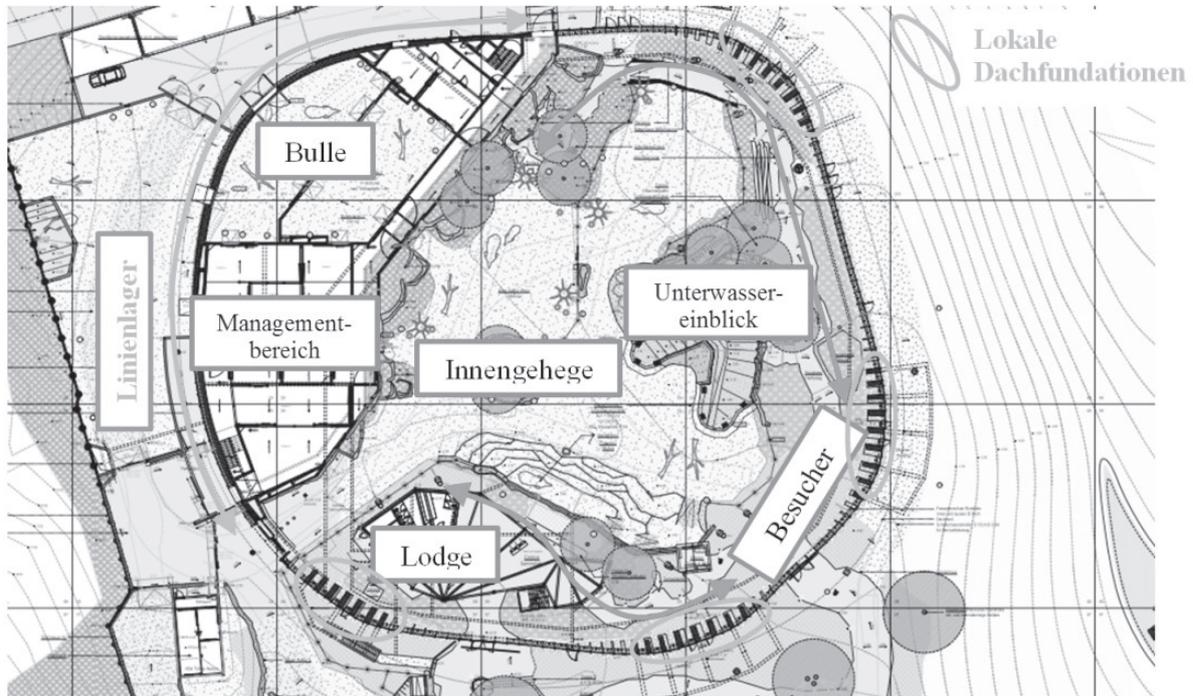


Abbildung 3 Überblick

Aus der architektonischen Organisation der Nutzung ergeben sich die für das Tragwerk zu berücksichtigenden Randbedingungen wie beispielsweise die Platzierung der vertikal abtragenden Elemente. Dabei wurde darauf geachtet möglichst ohnehin erforderliche Bauteile zu verwenden wie beispielsweise die runde Aussenwand der Stallungen als lineares Auflager. In den unterirdisch verlaufenden Medienkanal wurden Regenwasserzisternen integriert und als lokale „Dachfundationen“ ausgebildet.

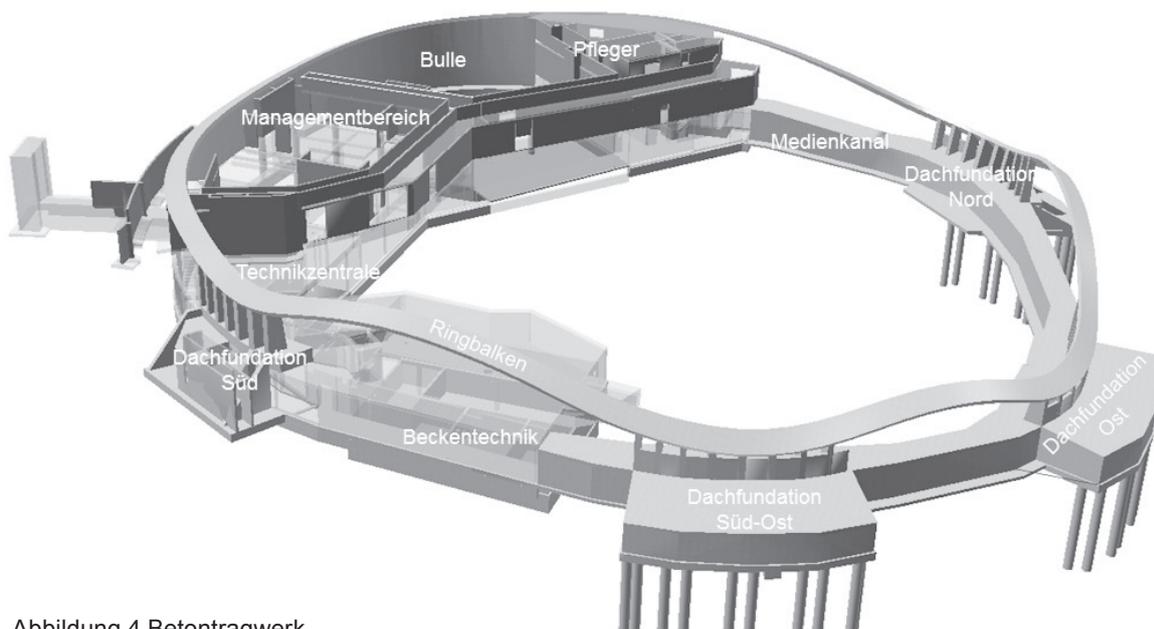


Abbildung 4 Betontragwerk

Tragwerksentwurf und Formfindung

Das Projektareal liegt an einem Hang, weshalb sich das Gebäude mit seinem Untergeschoss hangseitig eingräbt und die Bodenplatte der Technikzentrale auf Fels zu liegen kommt, während talseitig die lokalen Dachfundationsbereiche teilweise gar keinen Aushub erfordern und auf wenig tragfähigen und setzungsempfindlichen Schichten zu liegen kommen.

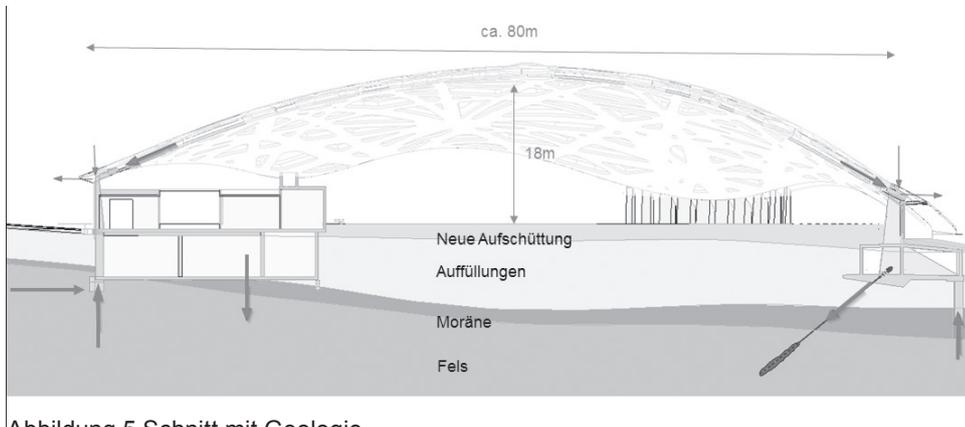


Abbildung 5 Schnitt mit Geologie

Der geometrische Verlauf des Schalenrandes definiert sich aus den „Angriffshöhen“ durch die Elefanten, Sichtbezüge zwischen Innen und Aussen für die Besucher, Durchfahrtshöhen von Toren.

Das Öffnungsbild des Daches wird beeinflusst durch die statische Anordnung der die Widerlager und die Stallungsaussenwand verbindenden Hauptstrahlen, das Tageslichtkonzept – um ausreichende Mengen für die Bepflanzung aber auch für die Szenografie sicherzustellen – sowie gestalterischen Überlegungen der Architekten.

Für die statische Formfindung dient ein ebenes Lochbild mit einem Öffnungsanteil von ca. 30% als Grundlage. Die eigentliche Formfindung als elastische Deformation in negativer Eigengewichtsrichtung ist in diesem Fall als iterativer Prozess zu verstehen: Neben einschränkender maximaler Gebäudehöhe waren vor allem die für die Fassadenplanung zu berücksichtigenden Verformungen der Bogenbereiche zwischen den lokalen Dachfundationen bestimmend. Durch Annäherung dieser Verläufe an die Stützlinien konnten die Verformungen wesentlich beeinflusst und minimiert werden.

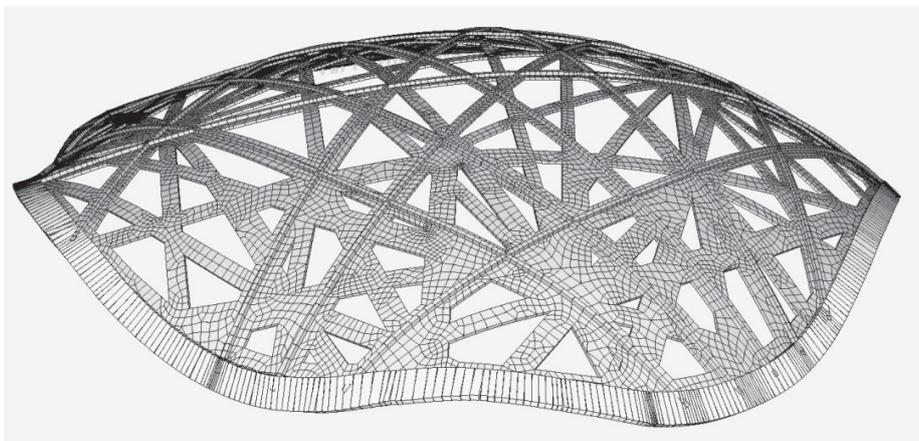


Abbildung 6 „eingefrorenes“ Schalenmodell des Formfindungsprozesses

Auch Stabilitätsuntersuchungen sowie erste Sensitivitätsanalysen bzgl. Einflüsse des Betontragwerkes und der Foundationen wurden an diesem einschichtigen Schalenmodell mit exzentrisch angeordneten Stäben als Verstärkungsrippen durchgeführt.

Holztragwerk und Konstruktionsprinzip Schale

In alle Richtungen gleich linear elastisches Schalenholz?

Holz ist prinzipiell als anisotroper und inhomogener Baustoff nicht naheliegend für ein echtes Schalentragwerk mit 271 Oblichtöffnungen beliebiger Geometrie. Bei Mehrschichtplatten handelt es sich um einen Werkstoff, der sich leicht bearbeiten und auf der Baustelle in die gewünschte Form bringen lässt. Warum sollte man also nicht die Schalung, die es auch für eine Betonschale brauchen würden gleich tragen lassen?

Mehrschichtige Platten aus Nadelholz, sogenanntes Brettsperrholz haben in den letzten 10 Jahren eine enorme Entwicklung und Verbreitung erfahren. Sie sind bis ca. 4m Breite und Längen > 15m am Markt erhältlich. Die Aufbauten können 3-, 5- und 7schichtig bis zu einer Gesamtstärke von > 30cm mehr oder weniger beliebig gewählt werden.

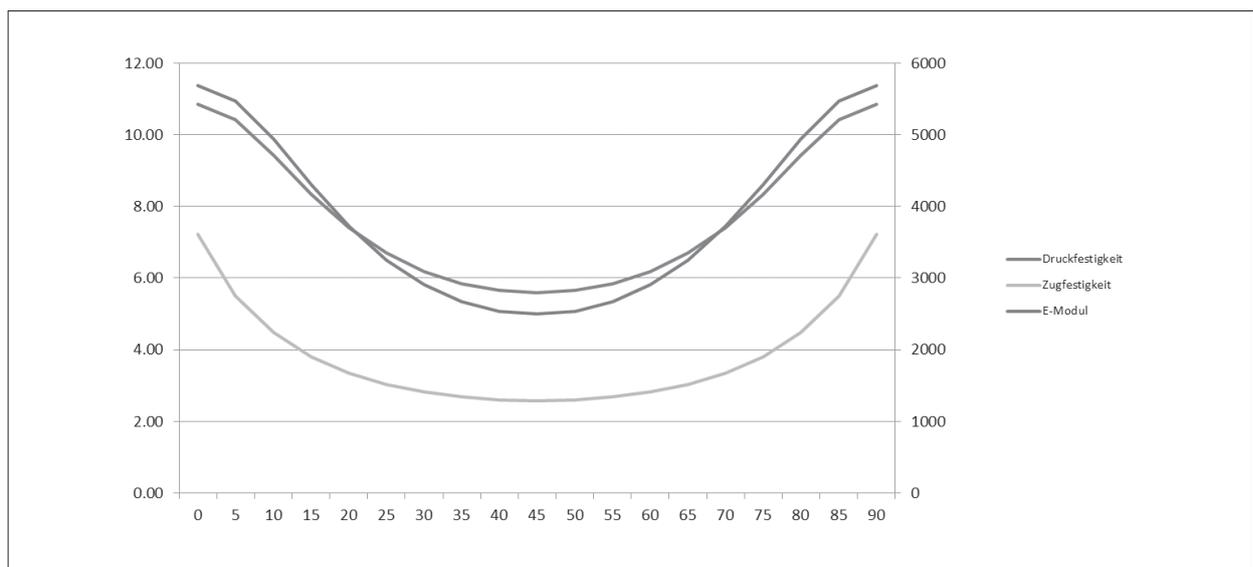


Abbildung 7 Kraft-Faser-Abhängigkeit der Eigenschaften von Mehrschichtplatten aus Holz

Üblicherweise werden für diese mittels Zulassungen geregelten Bauprodukte die relevanten statischen Eigenschaften jeweils parallel und senkrecht zur Decklage angegeben. Dies ist für ein Schalentragwerk mit beliebiger Kraft-Faser-Beanspruchung nicht ausreichend.

Holz weist senkrecht zur Faser nur ca. 3% Steifigkeit, 20% der Druckfestigkeit und nur 1% der Zugfestigkeit auf. Für Mehrschichtplatten ergibt sich deshalb eine nichtlineare Abhängigkeit der Materialeigenschaften zum Kraft-Faser-Winkel.

D.h. jedes Element eines Modells müsste sich bei jeder Lastkombination in Abhängigkeit des Kraftfaserwinkels überlegen, welche Steifigkeit und Festigkeiten es dann gerade aufweisen muss.

Gewählter Schalenaufbau

Aufgrund obiger Überlegungen war nicht erwünscht, dass die Mehrschichtplatten an ihren Stößen die Kräfte direkt über Kontakt übertragen können. Es werden 3 Lagen mit 80mm dicken 3SP so angeordnet, dass sie jeweils ausgehend von einem Dachfundationsbereich aus zur Stal-lungswand laufen. Ein sehr bewährtes und einfaches Verbindungsmittel zwischen zwei und mehr Holzbauteilen stellt der Nagel auf Abscheren dar. Das Tragverhalten einer solchen Verbindung ist, bis es zur Ausbildung von Fließgelenken kommt, linear elastisch.

Schliesst man über genügend grosse Stossfugen eine direkte Kraftübertragung aus, erfolgt die Kraftübertragung zwischen den Platten ausschliesslich über die Nägel – eine zwar weiche, aber zuverlässig abbildbare Konstruktion.

Insgesamt ergibt sich, um Wärmedämmung und Installationen unterzubringen sowie eine ausreichende Biegesteifigkeit zu erhalten, ein achteiliger nachgiebiger Verbundquerschnitt.

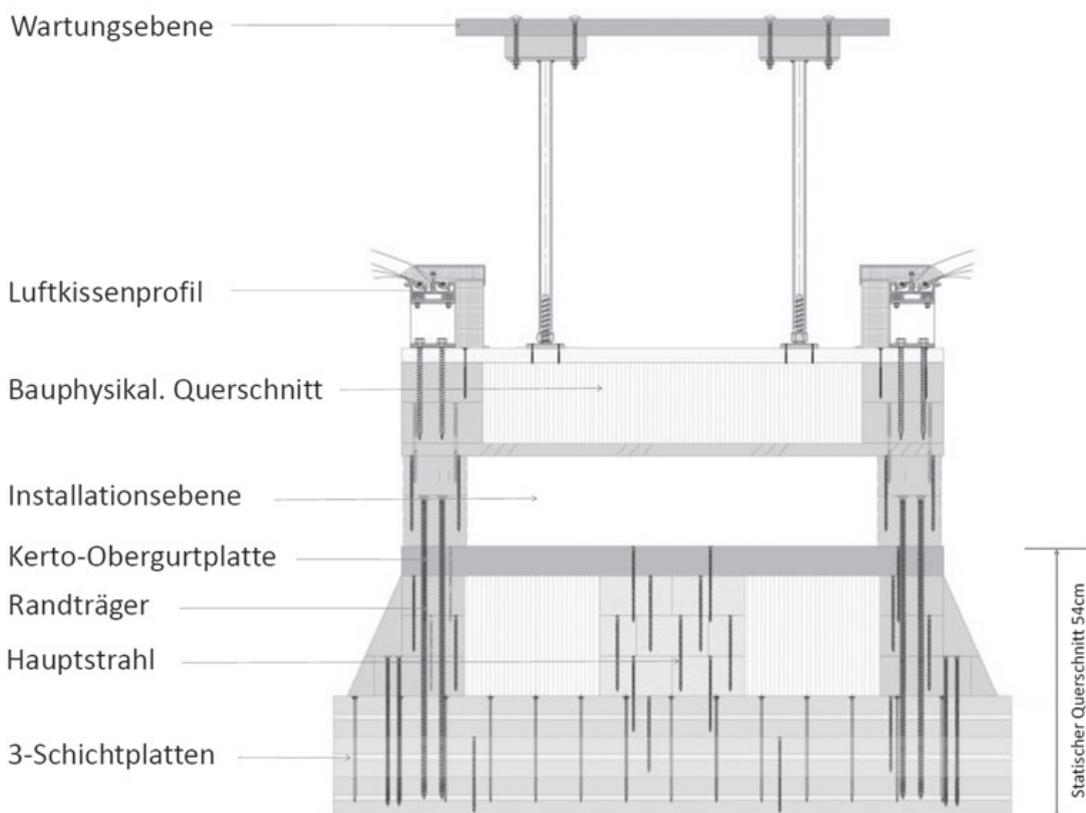


Abbildung 8 Regelquerschnitt

Bauteilversuche

Das gewünschte Tragverhalten wurde mit einer Versuchsreihe an der EMPA in Dübendorf verifiziert und mit den Erkenntnissen das verfeinerte statische Gesamtmodell kalibriert.

Das Verhalten auf Druck- und Zug ist ähnlich (bei Zug fehlt die Laststeigerung nach dem Fließbereich), die Biegesteifigkeit entspricht allerdings wegen der grossen Nachgiebigkeit in den Fugen nur ca. 30% eines vergleichbaren Querschnittes mit starrem Verbund.

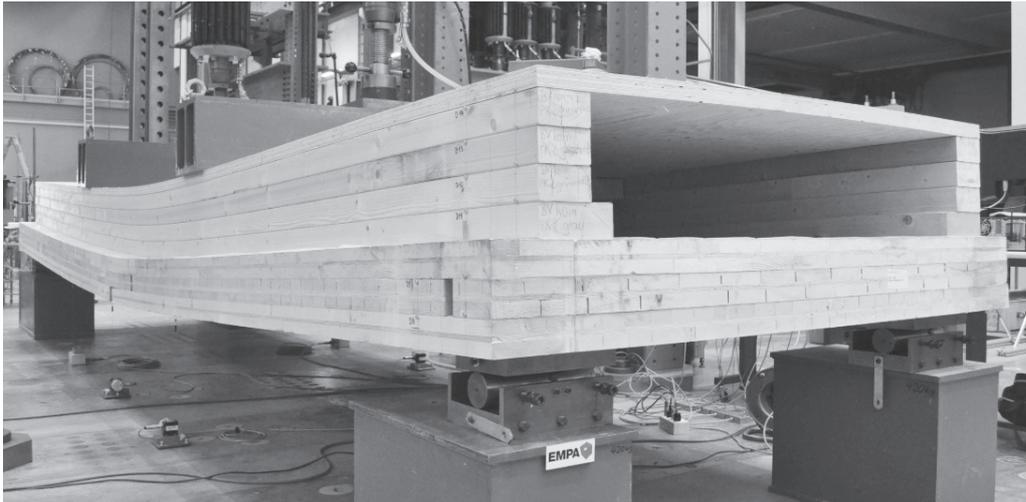


Abbildung 9 Vier-Punkt-Biegeversuch eines repräsentativen Aufbaus

Entscheidend für Stabilitätsuntersuchungen sowie die Lastweitergabe von Schicht zu Schicht in den Knotenbereichen ist die Abbildung der Federn im Gesamtmodell.

Geschichtetes Gesamtmodell / Schnittstellen Rhino / Werkplanung

Bereits früh waren in das Projekt Programmierer involviert, um die Geometrie der Schale inklusive sämtlicher Oblichtöffnungen und die Fassade für die Architekten parametrisch aufzubereiten.

Folgende Vorgehensweise wurde zur Sicherstellung einer identischen Schalengeometrie vereinbart:

- Grundlage für alle Prozesse ist Geometrie des statischen Formfindungsprozesses als FE-Netz
- dieses wird für die parametrisierte Programmierung des Architektenmodells in Rhinozeros verwendet
- dieses wird wiederum als Basis für die parametrische Programmierung des 7-lagigen, mit Federn nachgiebig gekoppelten verfeinerte Rechenmodell verwendet
- sämtliche Prozesse der Bestimmung der Bauteilgeometrie und Werkplanung werden im projizierten Grundriss entwickelt und dann in die Form des statischen Formfindungsprozesses transferiert
- die Generierung des Zuschnittes (Verebnung) als Grundlage für die Werkplanung der 3-S-Platten erfolgt mit einem eigens entwickelten und parametrisierten FE-Netz

Regelquerschnitt

Das Grundprinzip des statischen Bemessungsmodells besteht aus dem Regelquerschnitt. Jeder Knoten im Modell ist mit einer Feder mit dem jeweiligen Knoten der darüber liegenden Schicht verbunden.

Die Eigenschaften und Verschieblichkeiten sind jeweils über die Gruppenansteuerung bzw. variabel einstellbar.

Knotenbereiche

Für die Knotenbereiche werden Regeln entwickelt, so dass diese sich zumindest über speziell entwickelte Algorithmen automatisiert vernetzen lassen:

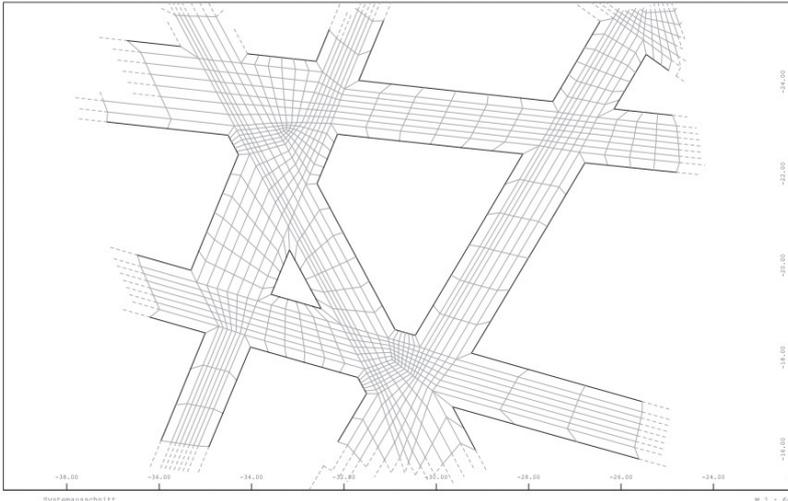


Abbildung 10 Prinzip der parametrisierten Netzgenerierung bei Knotenbereichen

Da jedes Element eine unterschiedliche Grösse aufweist, brauchen die Knotenfedern jeweils die Information ihrer Einzugsfläche. So kann über eine Variable die Flächensteifigkeit vordefiniert werden und wird direkt im Eingabesatz der jeweiligen Knotenfeder in Abhängigkeit zum zugehörigen „Einzugsgebiet“ des jeweiligen Knotens umgerechnet.

Gesamtmodell

Das Gesamtmodell dient vor allem zur Analyse

- des Einfluss der Verbindungsmittelsteifigkeiten
- der Sensitivität auf Verschiebungen der Fundationen
- der Sensitivität auf Steifigkeitsabfall des Ringbalkens
- Umhüllende der Schnittgrössen in den 3SP
- Prüfung des Kraftflusses in den Knotenbereichen
- Abschätzung von Deformationen

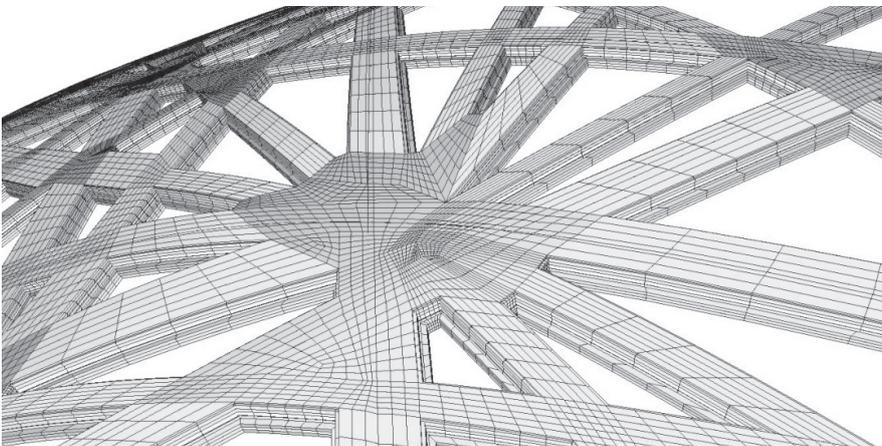


Abbildung 11 Ausschnitt aus mehrschichtigem Freiformgesamtmodell

Bemessung von Mehrschichtplatten aus Holz

Die Bemessung von Holzwerkstoffen – hier Mehrschichtplatten aus Nadelholz – unter beliebiger Membranbeanspruchung ist derzeit nicht über Normen abgedeckt. I.d.R. werden diese Platten nur parallel oder senkrecht zu ihrer Decklage eingesetzt bzw. bemessen.

Der Interaktionsnachweis stammt aus der Literatur und wurde um eine übersichtliche und effiziente Auswertung zu ermöglichen speziell in der verwendeten Statiksoftware programmiert.

Zuschnittsgenerierung

Für die Herstellung und Montage des Schalentragerwerkes muss die Freiformfläche in ebene Streifen abgewickelt werden. In Abhängigkeit der möglichen Produktions- und Transportabmessungen wird jede der 3 Lagen 3SP mit Hilfe eines dafür programmierten Moduls der Statiksoftware abgewickelt.



Abbildung 12 Beispiel für Zuschnitt der einzelnen Lagen Mehrschichtplatten

Beteiligte

Bauherr: Zoo Zürich AG

Architekt: Markus Schietsch Architekten GmbH, Zürich

Tragwerksplanung Beton, Holz und Fassade,

Bauleitung gesamte Hülle: Walt+Galmarini AG, Zürich

Geometrische Parametrisierung und Teile der Werkplanung: Kaulquappe GmbH, Zürich

Holzbau: ARGE Implenla Bau AG, BrunnerErben AG, Zürich

Brettspertholz: Metsäwood, D-Aichach

Literatur

Hohl A.: Kaeng Krachan Elefantentpark. Zoomagazin, Tr 1 | 2012

Kreuzinger H., Scholz A.: Nachweis in Grenzzuständen der Tragfähigkeit bei Platten und Scheiben aus Holz und Holzwerkstoffen unter Spannungskombinationen, TU München

