

Scunthorpe Sports Academy: Freiflächen mit Brettschichtholz - Stabwerksknoten mit faserparallel eingeklebten Gewindestangen

Scunthorpe Sports Academy: open spaces with
glulam beams – truss junctions with threaded rods
glued parallel to the grain Gewindestangen

Scunthorpe Sports Academy: surfaces libres avec le
lamellé-collé – noeuds d'assemblage à tiges filetées
intégrées au bois

Scunthorpe Sports Academy: legno lamellare –
Nodo di giunzione per strutture reticolari con barre
filettate incollate parallelamente alle fibre

Bernd Gusinde
Mayr-Melnhof Kaufmann Reuthe GmbH
Engineering & Consulting
Reuthe, Österreich



Holger Schultz
Mayr-Melnhof Kaufmann Reuthe GmbH
Reuthe, Österreich



Scunthorpe Sports Academy: Freiflächen mit Brettschichtholz - Stabwerksknoten mit faserparallel eingeklebten Gewindestangen

1. Ausgangssituation

Die britische Stadt Scunthorpe war bis Mitte der 80er Jahre ein Zentrum der englischen Stahlproduktion. Seitdem ist Scunthorpe belastet durch einen enormen Arbeitsplatzabbau von etwa 35.000 Stahlarbeitern Anfang der 80er Jahre auf heute nunmehr knapp 4000.

Im Jahr 2005 fiel daher der Startschuß zu den Rahmenplanungen einer Revitalisierungs- und Restrukturierung-Offensive für die strukturschwache Stadt und Region. Das „Scunthorpe Strategic Development Framework (SDF)“, hat sich zur Aufgabe gemacht die Stadt in einen „freundlicheren und nachhaltigeren Ort zu verwandeln, in dem Menschen gerne leben, arbeiten aber auch zu Besuch kommen wollen“

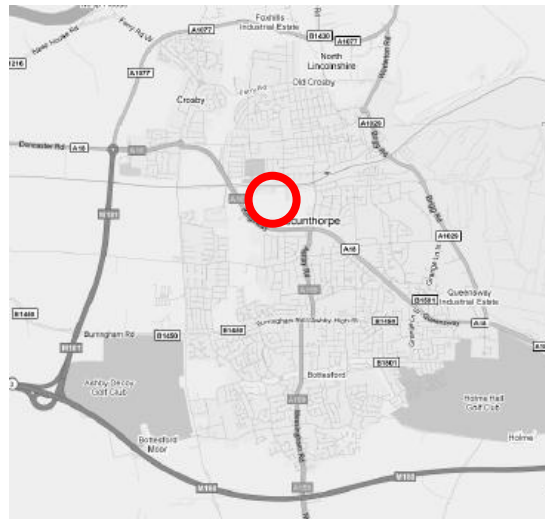


Abbildung 1: Lage der Stadt Scunthorpe und des Sportkomplexes „The Pods“ (Quelle: Google Maps)

Eines der Hauptprojekte zur Neubelebung des Stadtzentrums ist der Bau eines großen Sportkomplexes, kurz „*The Pods*“ genannt. Mit dem Plan auch den umgebenden „*Central Park*“ in das Gesamtkonzept einzubeziehen soll ein qualitativ hochwertiger Anziehungspunkt für Freizeit- und Sportaktivitäten aller Art geschaffen werden. Der Bauherr *North Lincolnshire Council*, mit Unterstützung der gemeinnützigen Organisation *Yorkshire Forward*, versucht damit die Stadt Scunthorpe als eine herausstechende Freizeitdestination in der Region zu etablieren.

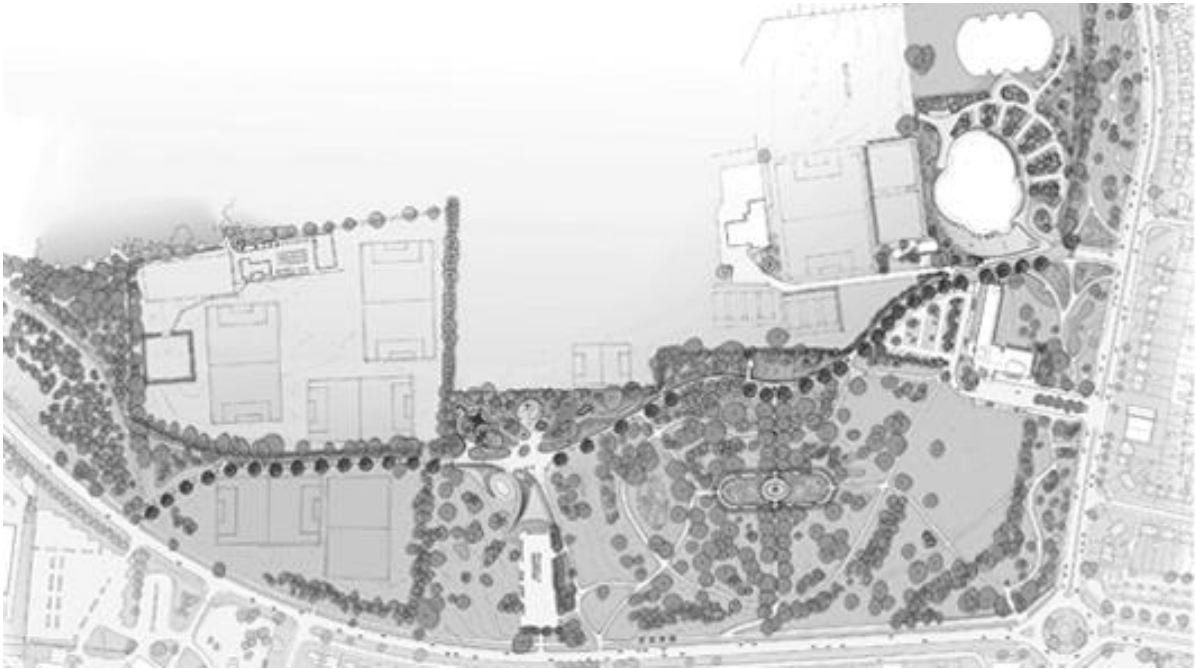


Abbildung 2: Übersichtsentwurf Central Park Reinvigoration (AWA architects)

2. Architektur und Tragwerksentwurf „The Pods“

Der durch einen öffentlichen Wettbewerb ermittelte Gewinner-Entwurf für das neue Sportzentrum (Sports Academy) und den umgebenden Park war gekennzeichnet durch den Ansatz einer möglichst lang anhaltenden Regenerierung des Areals und deren möglichst flexible und nachhaltige Nutzung.

Das Architekturbüro *Andrew Wright Associates, London* führte das am Ende erfolgreiche integrierte Wettbewerbsteam an. Teile des Teams – *S&P architects* sowie das Ingenieurbüro *Buro Happold* – führen das Projekt auch durch die weitere Ausführungsphase.

Die Sports Academy selbst besteht aus einer Serie behutsam gebogener Kuppelkonstruktionen. Die teilweise begrünte Schalen-Konstruktion erweitert einerseits die umgebende Landschaft, öffnet sich andererseits an den bodennahen Rändern gegenüber den Besuchern.



Abbildung 3: Animation „The Pods“ (AWA architects/s&p architects)

Der Neubau der Sports Academy Pods beinhalten einen acht Bahnen Wettkampf-Pool mit Zuschauerrängen für bis zu einhundertfünfzig Personen sowie ein Aufwärmbecken. Darüber hinaus besitzt der Komplex eine 6-fach Turnhalle, ein Tanz- und ein 90-Plätze Fitness-Studio. Der Entwurf beinhaltet zudem auch ergänzende öffentliche Bereiche wie Umkleiden und Waschräume, einen Sauna und SPA-Bereich, ein Café und eine Crèche (Kindergruppe) sowie mehrere Besprechungs- und Veranstaltungsräume und Büros.

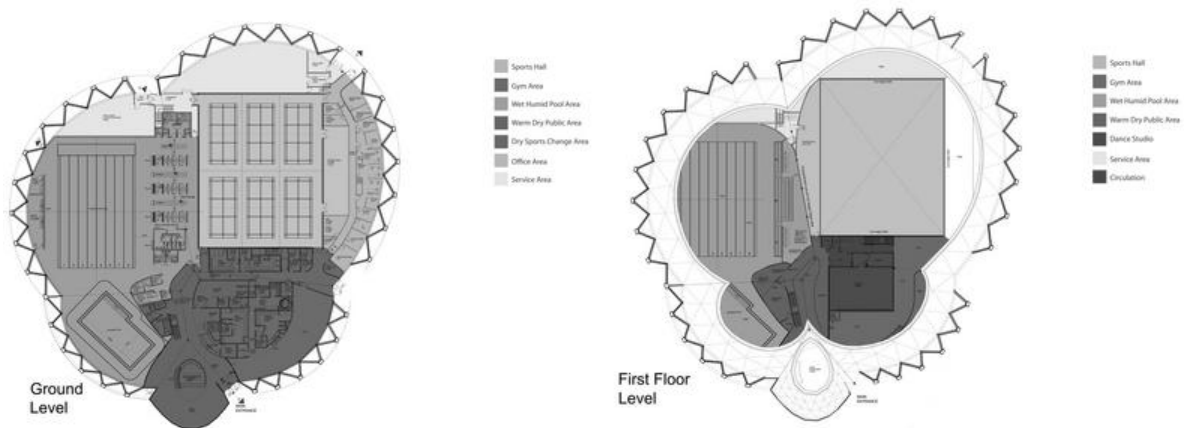


Abbildung 4: Grundrisspläne und Nutzungszonen (AWA architects)

Der Sports Academy Komplex soll neben dem ungewöhnlichen architektonischem Konzept auch ein beispielhaftes Zeichen für die Nutzung erneuerbarer Energien, nachhaltiger Materialien und statischer Effizienz setzen.

Die Nutzung von direktem und indirektem Licht und einer - wo möglich - natürlichen Ventilation, sollen die Auswirkungen auf die Umwelt durch die Baumaßnahme minimieren. Ein weitreichender Ansatz zur Grauwassernutzung im und um den Gebäudekomplex sollen darüber hinaus den Artenreichtum des Parks fördern sowie den Wasserverbrauch minimieren. Die Nutzung von lokal anfallendem Restholz (Biomasse aus der Parkpflege) und der Einsatz von Boden-Wärmepumpen decken ca. 80% der benötigten Energie der Pods.



Abbildung 5: Systemschnitt durch Entwurfszeichnung mit Licht und Ventilations-Prinzip (AWA architects)

Montagefertige, gedämmte Hohlkastenelemente aus Holz (System Prefalux) bilden die äußere Hülle der Kuppeln und erfüllen die akustischen wie auch energetischen Anforderungen an die Dachhaut. Die Dachabdichtung erfolgt mittels einer Membran die gleichzeitig als Unterbau für die verschiedensten Dachdeckungsarten der Kuppeln dient. Sehr unterschiedlichen Deckungsarten sollen architektonisch eine Ergänzung aber auch Gegenstück zur umgebenden Landschaft bilden. Zu den vom Architekten gewählten Deckungen zählen ein Gründach (extensiv), zwei Holz-Schindeldächer, sowie eine Glas- und eine Metallddeckung (Corus).

Die Fertigstellung des Projekts ist für Mitte 2011 geplant.

3. Projektdaten im Überblick

Bauherr/Client

North Lincolnshire Council
Yorkshire Forward

Architekt(en)

Andrew Wright Associates (Masterplan/Entwurf)
S&P Architects

Ingenieurbüros

Buro Happold, Bath, UK
Westmuckett & Hawkes engineers, London, UK (Anschlüsse/Details)

Consultants

Grant Associates
 Biodiversity By Design
 Gardiner & Theobald (Quantity Surveyors)
 University of Bath (Timber/Glulam)
 Mayr-Melnhof Kaufmann Reuthe (Timber/Masterline® Glulam)

Bauunternehmer (GU/Main Contractor)

Bouwmer & Kirkland Group, Belper, UK

Holzbau/Montage

B&K Structures Ltd., Belper, UK

Kosten

Gesamt: £21m (ca. € 17,5 Mio.)
 Holzkonstruktion (inkl. Stahl): £3m (ca. € 2,5 Mio.)

Weitere Projektkenngrößen

Oberfläche der Kuppeln: ca. 5000 m²
 Größte Spannweite: ca. 65 m (Kuppel über Wettkampfbecken)
 Max. Kuppelhöhe: ca. 20 m

Gesamt m³ Masterline® BSH: ca. 600 m³

Holzgüten: Fichte GL32c Sicht

Anzahl Masterline® BSH-Bauteile: ca. 1100 Stk.

Anzahl Gewindestangen: ca. 4233 Stk.

Anzahl Transporte 9 Standardtransporte (Zeitraum: 17.05.2010 – 18.08.2010)

Fertigstellung (geplant)

Mitte 2011

4. Statische Vorplanung und Modellierung

Die Modellierung und Optimierung der Tragkonstruktion wurde durch die Ingenieurgesellschaft *Buro Happold, Bath* ausgeführt.

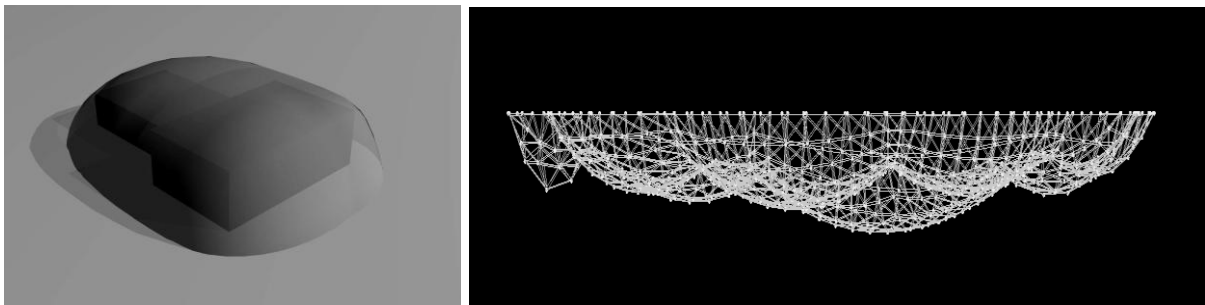


Abbildung 6: Oberflächen Definition durch „eingeschriebene“ Volumenkörper (Buro Happold, Bath)

Abbildung 7: Modell der „hängenden“ Kettenlinien (Buro Happold, Bath)

Ausgehend von vorgegebenen lichten Raum- und Volumenkörpern für die jeweiligen Nutzungsbereiche (Pool, Turnhalle, etc.) wurden Kuppelflächen als hängende Kettenlinien (Ketenoiden) generiert.

Vorteil dieser Formgebung ist, daß in den entstehenden Stützlinsen unter Eigengewichtsbelastung nur Druckspannungen vorliegen. Biege-, Schub- und Torsionsspannungen sind dagegen nicht vorhanden. Darüber hinaus ist der Materialeinsatz für einen in einer Stützlinsen verlaufenden Bogen minimal (vgl. auch *Gateway Arch, St. Louis, USA*)

Ausgehend von dieser theoretisch generierten Flächenform wurde im Anschluß die eigentliche Tragkonstruktion der *Pods* entwickelt.

Die gefundene Freiflächenform wurde dabei mit einem Gitternetz aus Knotenpunkten belegt, um so den polygonalen Charakter entstehen zu lassen.

In zahlreichen Durchläufen wurde dann ein möglichst geometrisch optimiertes Tragwerk entworfen, welches den Kraftverlauf weiterhin möglichst auf Zug- und Druckkräfte reduziert.

Auf Grund optischer Vorgaben und auch aus Kostengesichtspunkten wurden die Knotenpunktabstände vereinheitlicht und so auch deren Anzahl optimiert (= minimiert), sowie die Längen der Einzelstäbe weitgehendst angeglichen („dynamic relaxation“)

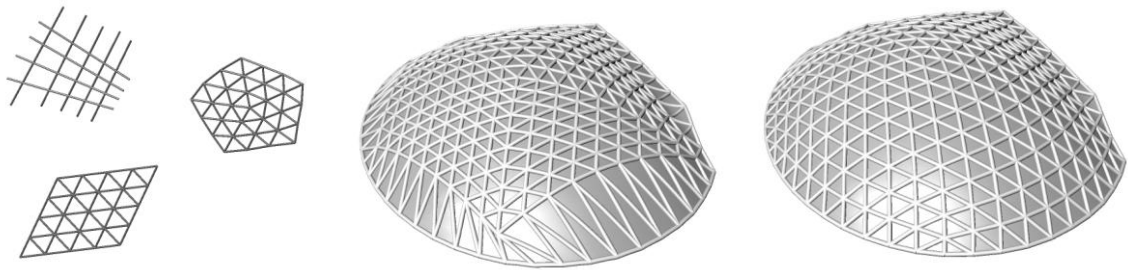


Abbildung 8: Formgebungsprozeß (Buro Happold, Bath)

Letzteres ist in der Praxis allerdings nur bedingt möglich, da die einzelnen Stäbe trotzdem immer in unterschiedlichen Winkeln und damit auch Längen auf die Knotenpunkte auftreffen. Der jedoch entstehende optische Eindruck suggeriert eine Gleichmäßigkeit wie sie vom Planungsteam gewünscht war.

Besondere Problematiken ergaben sich an den Schnittstellen der Kuppeln. So war unter anderem eine gewünschte architektonische Vorgabe, daß sich die Anschlußstellen zweier Kuppeln nur an sich gegenüberliegenden Stellen der Kehllinie befinden sollen. Zudem kommt es an den Schnittstellen zu Unstetigkeiten und Konzentrationen im Kräfteverlauf, so daß bei der Materialisierung - vielleicht zu schnell - auf Stahl zurückgegriffen wurde. Das Ergebnis einer Holz-Stahl Hybrid-Konstruktion war somit bereits in einem frühen Stadium vorgegeben.

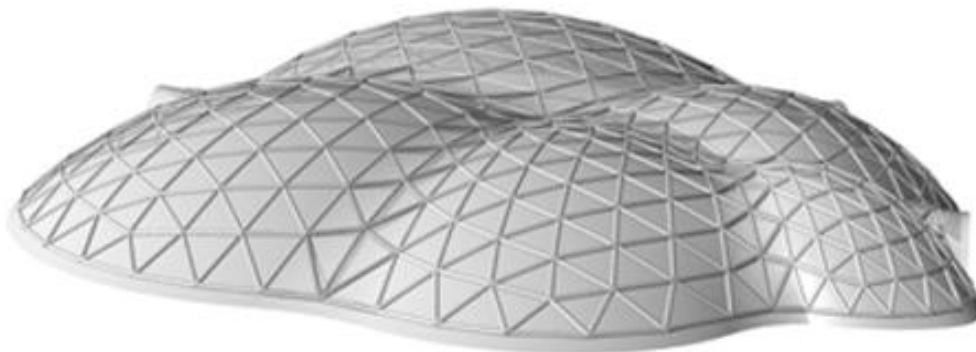


Abbildung 9: Model der Haupt-Stabanordnung (Buro Happold)

Daneben wurden in Gesprächsrunden mit renommierten Ingenieurholzbaufirmen nach optimalen Anschluß- und Knotendetails gesucht. Dabei wurde bezeichnenderweise das IHF 2008 als Gesprächsplattform genutzt. Hintergedanke des Designteams für diese Gespräche war „nicht an der Praxis vorbei“ zu planen und möglichst die neuesten Erkenntnisse und Erfahrungen in die laufende Planung einfließen zu lassen.

In diesem Stadium, vor einer eigentlichen Vergabe des Auftrags allerdings ein schwieriges Unterfangen, da natürlich einerseits keiner der Beteiligten zu viel Zeit und Mühe investieren wollte, zum anderen aber mögliche Alternativen zu diesem Zeitpunkt lieber noch für sich behielt. So brachte der „offene“ Umgang mit dem Projekt leider nicht ganz die erhofften Ergebnisse. Letztlich hat man dann eine eher „klassische“ Knotenverbindung mittels Stahlformteil und eingeklebten Gewindestangen gewählt und zum Angebotsentwurf gestellt.

4.1. Windlasten

Bei Baukörpern mit ungewöhnlichen Oberflächenformen ist die möglichst wirklichkeitsnahe aber dennoch praktikable Berücksichtigung von Windlasten immer schwierig.

Bei den Scunthorpe Pods wurden ausgehend von den bestehenden Normen und deren Auslegungen für einfachere Dachformen (z.B. Tonnendächer) entsprechende Windlast-Szenarios angenommen. Diese Annahmen wurden im Anschluß durch theoretische Strömungsberechnungen abgesichert.

Auf Windkanalversuche wurde aufgrund der hohen Übereinstimmung der Annahmen mit dem Computermodell, Erfahrungen aus ähnlichen Projekten, sowie Angesichts der damit verbundenen Kosten verzichtet.

4.2. Erdbeben

Scunthorpe lag nahe dem Epizentrum eines der heftigsten Beben die je auf den Britischen Inseln gemessen wurden. Am 27 Februar 2008 trafen heftige Erdstöße Scunthorpe und das umgebende North Lincolnshire mit einer Stärke von 5.2. Das 10-Sekündige Hauptbeben ereignete sich um 0:56 in einer Tiefe von 15.4 km und war das größte aufgezeichnete Beben seit 1984 (Wales; 5.4).

Trotz dieses Ereignisses wurden keine speziellen Erdbebenlasten berücksichtigt. Man geht davon aus, daß die auftretenden Horizontallasten aus Wind und die besondere Konstruktion der Kuppeln auch einem Mehrfachen der zu erwartenden Erdbebenlasten standhalten.

5. Realisierungsplanung

Ausgehend von den zuvor beschriebenen Analysen und Ergebnissen wurde die baupraktische Planung in dem 3D-Modellierungsprogram TEKLA aufgebaut.

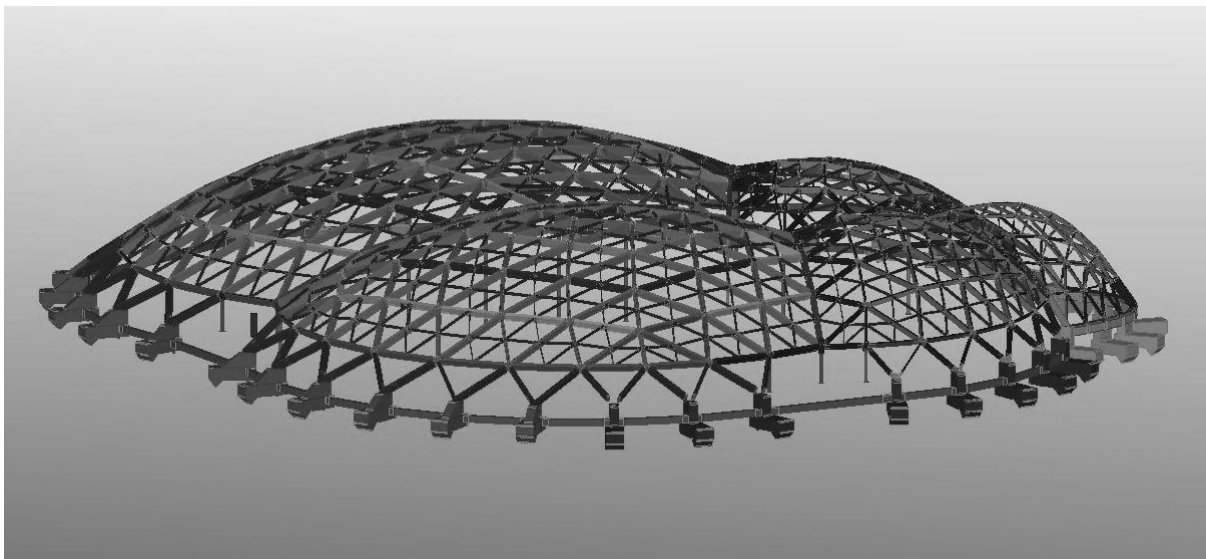
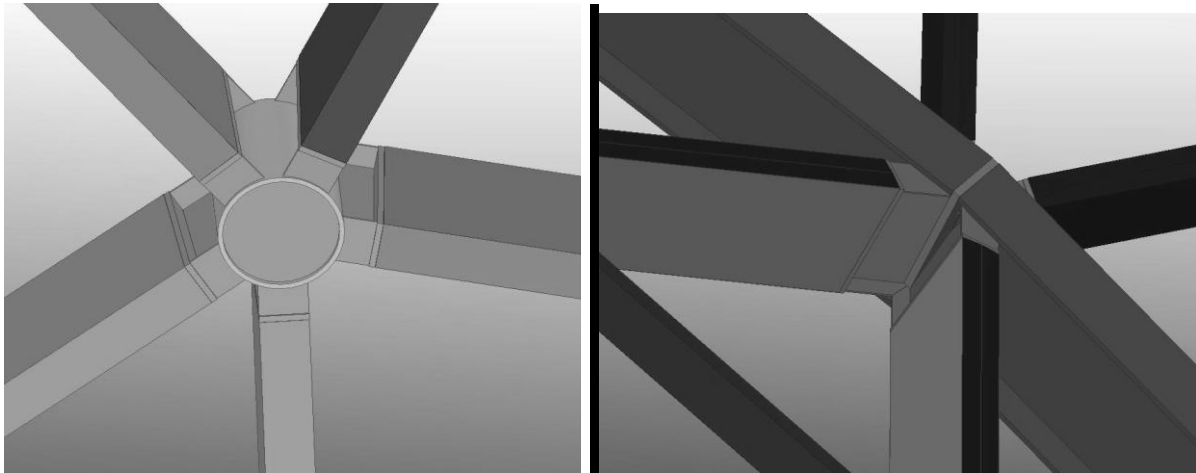


Abbildung 10: Modellierung der Gesamt-Tragstruktur mit TEKLA (B&K Structures Ltd.)



Abbildungen 11/12: Modellierung der Stabknotenverbindung (B&K Structures Ltd.)

Die Wahl der Systemlinie fiel dabei auf die Ebene der Mittelachse der Masterline® BSH Stäbe. Zum einen konnte damit eine eindeutige Lage der Bauteile beschrieben, zum anderen die auftretenden Momente aufgelöst in Zug- und Druckkräfte am Anschluß geometrisch ideal eingeleitet werden.

Weitere Details zur Stab- und Knotengeometrie finden Sie im Abschnitt *Montagefertige Brettschichtholzbauteile*, so daß an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen wird.

6. Transport + Logistik

Transport und Logistik stellten keine außergewöhnliche Herausforderung dar, da die geraden Masterline® BSH-Bauteile einfach und platzoptimiert mit Standard-LKW transportiert werden konnten. Insgesamt fuhren 9 LKW von Reuthe (Vorarlberg) die etwa 1500 km lange Route bis ins nordenglische Scunthorpe.

Hier macht sich ein entscheidender Vorteil von aus Kleinteilen zusammengesetzter Gitter-Konstruktionen wie der Scunthorpe-Kuppeln bemerkbar. Mit relativ geringem Logistikaufwand, können sehr stabile und großflächige Tragwerke mit erstaunlichen Spannweiten erreicht werden. Da die Einzelkomponenten in Ihrer Dimension verhältnismäßig klein bleiben konnten neben einer volumenoptimierten Logistik auch die Montage vor Ort mit einfachsten Mitteln erfolgen und man war nicht auf schweres Hebegerät angewiesen. Dies macht solche Konstruktionen auch für weit entfernte und / oder unzugängliche Projektstandorte äußerst interessant.

7. Baustelle / Montage

Zunächst wurde die teilweise vorgefertigte Stahlkonstruktion der Kehlverbindungen zwischen den Kuppeln erstellt und vermessen. Auftretende Tolleranzen konnte so bereits im Vorfeld ermittelt und im weiteren Verlauf berücksichtigt werden.

In einem nächsten Schritt wurde die Lage der Einzelknoten bestimmt, diese in Ihrer Lage eingemessen und mittels Montagegerüst fixiert.

Danach erfolgte der Einbau der Masterline® BSH-Stäbe von den Trauflinien (Vorbetonierte Widerlager mit Stahlanschlussblechen) bzw. den Stahl-Kelhkonstruktionen aus, zum Kuppel-Firstpunkt.

Für die gesamte Montage wurden nur Hebebühnen eingesetzt. Durch den Selbsttrageeffekt der Kuppelkonstruktion waren auch keine aufwendigen Montagegerüste oder Sicherungsmaßnahmen notwendig.



Abbildungen 13 – 16: Montageeindrücke (Mayr-Melnhof Kaufmann)

7.1. Tolleranzen

Tolleranzen konnten in der Planung auf Grund der komplexen Geometrie zunächst nur bedingt berücksichtigt werden.

Kleinere Tolleranzen wurden durch den während der Montage eintretenden „Umlagerungseffekt“ des Kuppelsystems minimiert.



Abbildung 17/18: Auftreten geringer Längentolleranzen (Mayr-Melnhof Kaufmann)

Um darüber hinaus eine komplette Kraftschlüssigkeit der Knoten bei größeren Tolleranzen zu garantieren wurden entstandene Fugen mit einem Epoxy-Mörtel verfüllt (Rotafix System).

Parallel mit dem Aufbau der Masterline® BSH-Konstruktion konnte nach Fertigstellung eines Domes sofort mit der Montage der vorgefertigten Dachpanelle begonnen werden.

Da die gewählten Dachpanelle auf Ihrer Unterseite oberflächenfertig waren entfielen Folgearbeiten an der Innenseite der Kuppeln



Abbildung 19 – 23: Weitere Montageeindrücke (AWA architects/B&K Structures Ltd.)

8. Montagefertige Brettschichtholzbauteile

8.1. Umsetzung des Statischen Modells

Die Freiflächenform des Dachtragwerkes bildet sich aus einem Stabwerksnetz aus Dreiecksflächen. Die Stäbe sind gerade Brettschichtholzträger, mit Abgratung an der Oberseite und rechtwinkligen Endabschnitten. Die Verbindung der Brettschichtholzstäbe erfolgt über geschweißte Stahlteile in den Stabwerksknoten. Faserparallel, axial eingeklebte Gewindestangen übertragen die Schnittkräfte in den Knotenpunkten.

Die Stäbe sind überwiegend beansprucht durch Normalkräfte. Momentenkräfte werden über eine entsprechende Anschlußgeometrie der eingeleimten Gewindestangen an den Stabwerksknoten übertragen.

Aus der FE Berechnung werden maßgebende Schnittkräfte ermittelt. Für die bautechnische Umsetzung werden daraus Anschlußgeometrien konstruiert mit erforderlichen Zugkräften für jeden Typus.

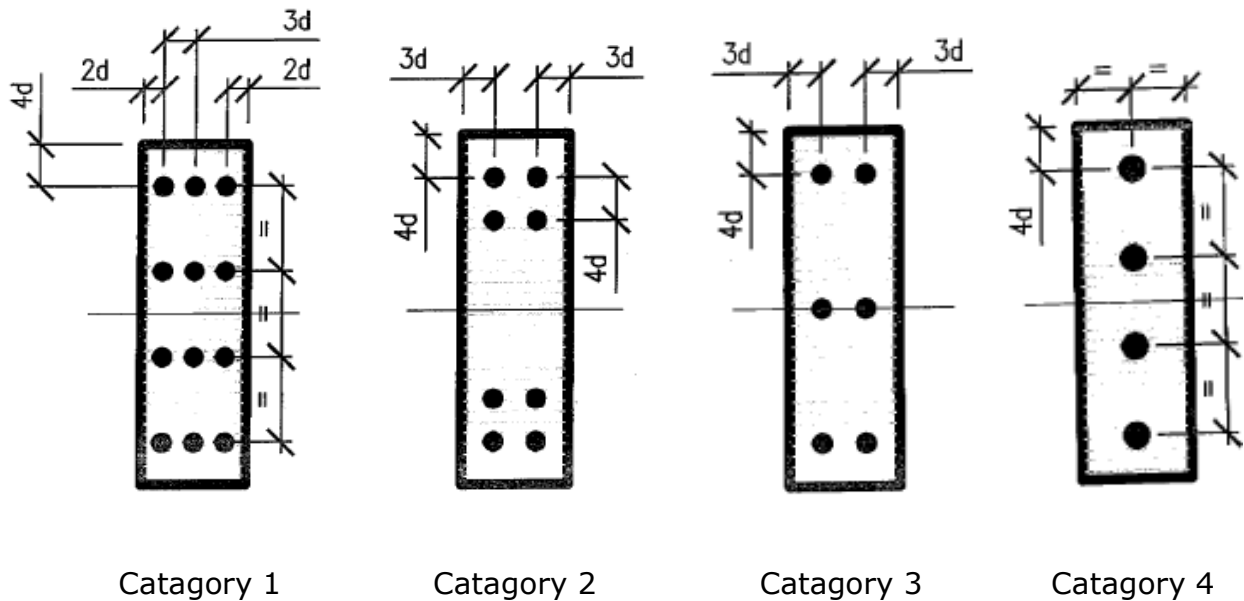


Abbildung 25: Anschlussgeometrie zum Stand der Angebotsphase

8.2. Festlegen der Bemessungslasten

In der Europäischen Normung sind eingeklebte Gewindestangen derzeit nicht geregelt. Es gibt neben den Ausführungen der DIN 1052 Berichte und Bemessungsempfehlungen über Versuche und erste Praxisanwendungen von Prüfinstituten und Klebstoffherstellern. Noch während der Angebotsphase werden Probekörper in Reuthe gefertigt, die durch BRE an der University of Bath - UK geprüft werden. Aus diesen Prüfungen werden charakteristische Festigkeitsgrößen für eingeklebte Gewindestangen M16 und M20 berechnet, die der Bauteilbemessung für dieses Projekt zugrunde gelegt werden. Für die Zugfestigkeit wurden die statistischen Methoden des BS EN 14358:2006 (Berechnung der 5%-Quantile für charakteristische Werte und Annahmekriterien für Proben) angewendet. Auf Basis des EC5 werden für das Projekt folgende max. Berechnungsgrößen festgelegt:

Axiale Zugkraft		M16	M20
Bemessungslast	X_d	70 kN	90 kN
Charakteristischer Wert	$X_k = X_d / \gamma_m$	91 kN	117 kN
Mittlere Bruchlast		110 kN	145 kN

Abbildung 26 - Maßgebende maximale Kraftgrößen (Tragwiderstände)

Die Biegespannung wurde von einer Lastverformungskurve gemäß ASTM 5652 abgeleitet. Hierin wird für stiftförmige, metallische Verbindungen in Holz und Holzwerkstoffen eine Abschätzung für die Fließlast des Stahls gegeben. Diese Werte sind in die Bemessung eingearbeitet aber werden von uns nicht projektbegleitend nachgewiesen.

8.3. Vorprüfungen im Werk Reuthe

Mit dem Einkleben von Gewindestangen hat man bei Kaufmann im Werk Reuthe mit dem Projekt Hochregallager für die Salinen AG in Ebensee Erfahrung gesammelt. Damals wurden alle Fußpunktanschlüsse der BSH-Steher mit M16 Gewindestangen über 550mm Verankerungslänge faserparallel eingeklebt. Die Ausführung ist 2007 durch die MPA Stuttgart begleitet worden.

Mittlerweile stehen mit Deutscher Bauaufsichtlicher Zulassung neuere Klebstoffsysteme im Kartuschensystem zur Verfügung. Für die Tests in England war von den Planern ein Epoxyd (WEVO) festgelegt worden. Parallele Untersuchungen in Reuthe haben ähnlich gute Ergebnisse für das Polyurethan Klebstoffsystem gezeigt. Zur Ausführung kam das System WEVO EP32S/ B22TS.

Im Zuge der Vorprüfungen wurde eine Verfahrensweisung erarbeitet, die in Anlehnung an die sehr detaillierten Vorgaben aus der Zulassung Z-9.1-705 den Herstellungsprozess und die Dokumentation festlegt.



Abbildung 27: (Mayr-Melnhof Kaufmann Reuthe)

8.4. Leistungsumfang Holzbau

Für das Gesamtprojekt wird Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL32c nach DIN 1052 festgelegt. Die Bauteile sind der Nutzungsklasse I und II zuzuordnen. Die Querschnitte haben ein Produktionsmaß von 16/60 - 18/60 - 20/60cm. Die produzierte BSH Menge für das Projekt liegt bei ca. 600m³.

Die Arbeitsvorbereitung im Werk Reuthe übernimmt Einzelblattzeichnungen und Elektronische Datensätze für den Abbund aus der Projektplanung des Auftraggebers. Es wird abhängig von Kapazität und Querschnittsdimension auf einer Hundegger K3 und Baljer&Zembrod abgebunden. Die stirnseitigen Bohrungen auf den CNC Anlagen müssen später von Hand auf eine Tiefe von 350 - 550mm nachgebohrt werden. Die Bohrdurchmesser betragen für die M16-8.8 Ø 20mm und für M20-8.8 Ø 22mm. Alle M16 Gewindestangen erhalten am Kopfende eine Gewindemuffe, die im Stirnholz mit einem Sackloch eingelassen ist. Die Gewindestangen werden alle liegend eingebaut. Dazu bedarf es einer Zentrierung des Gewindestabes und Abdichten am Kopfende des Bauteils. Der Klebstoff wird mit einer Druckluftgesteuerten Presse über Einfüll- und Entlüftungsbohrung eingepreßt.

Die Logistik muß eine Mindest-Aushärtezeit von 10h bei 20°C berücksichtigen, bis die Bauteile weiter manipuliert werden dürfen.

Die weiteren Arbeitsschritte sind Ausbessern von Fehlstellen, Nacharbeiten im Fall von Klebstoffresten, Oberflächenbeschichtung mit einem transparenten Montageschutz und eines Hirnholzschutzes.

Alle Arbeitsgänge werden laufend qualitätsüberwacht und dokumentiert. Hier werden u.a. Raumklima, Baustofftemperatur, Holzfeuchte, Klebstoffverbrauch, Klebstoffcharge für jede Fertigungsserie festgestellt und Probekörper für die werkseigene Laborprüfung hergestellt.

Von Mai - August 2010 wurden in 16 Lots nahezu 5.000 Gewindestangen eingeklebt, 95% davon M16 mit Muffen.



Abbildung 28: (Mayr-Melnhof Kaufmann Reuthe)

8.5. Werkseigene Laborprüfung

Es wird für die M16 und M20 Gewindestangen jeweils die Belastungskategorie normal und hoch belastet unterschieden. Die Bauteile mit erwarteter hoher Belastung werden mit 100mm größerer Einklebelänge hergestellt und geprüft.

Im folgenden sind die charakteristischen Werte und Mittelwerte für die Scherfestigkeit f_{k1} und Bruchkraft $R_{ax,k}$ eines jeden Probenumfangs zusammengestellt.

Prüfungen M16 - 8.8
mit Einklebelänge 300 und 400mm

Lot	Anzahl [Stk]	Länge [mm]	Bohr Ø [mm]	$f_{k1,k}$ [N/mm ²]	$f_{k1,m}$ [N/mm ²]	$R_{ax,K,k}$ [kN]	$R_{ax,K,m}$ [kN]
1 - 5	28	300	18	3,63	4,49	61,60	76,17
1 - 5	11	300	20	3,89	5,00	73,33	94,33
6 - 16	43	300	20	3,9	5,33	73,47	100,54
6 - 16	31	400	20	3,71	4,55	93,19	114,28

Abbildung 29: Tabelle M16 - 8.8

Prüfungen M20 - 8.8
mit Einklebelänge 400 und 500mm

Lot	Anzahl [Stk]	Länge [mm]	Bohr Ø [mm]	$f_{k1,k}$ [N/mm ²]	$f_{k1,m}$ [N/mm ²]	$R_{ax,K,k}$ [kN]	$R_{ax,K,m}$ [kN]
3 - 16	14	400	22	3,64	4,84	98,14	133,86
3 - 16	17	500	22	3,33	4,16	113,34	143,59

Abbildung 30: Tabelle M20 - 8.8

Daraus ergeben sich aus den Prüfungen für M16 und M20 charakteristische Klebfugenfestigkeiten, die den Werten nach DIN 1052 Tab F23 gegenübergestellt werden:

Wirksame Einklebelänge 300mm

$$f_{k1,k} = 3,9 \text{ N/mm}^2 > 3,75 \text{ N/mm}^2 \text{ (nach DIN 1052 Tab F23)}$$

Wirksame Einklebelänge 400mm

$$f_{k1,k} = 3,6 \text{ N/mm}^2 > 3,25 \text{ N/mm}^2 \text{ (nach DIN 1052 Tab F23)}$$

Wirksame Einklebelänge 500mm

$$f_{k1,k} = 3,3 \text{ N/mm}^2 > 2,75 \text{ N/mm}^2 \text{ (nach DIN 1052 Tab F23)}$$

Die charakteristischen Werte für die Bruchkraft $R_{ax,K,k}$ aus den Prüfungen, werden denen für das Projekt festgelegten Werten gegenübergestellt:

M16 mit $l_a = 300\text{mm}$	$R_{ax,K,k} = 73 \text{ kN}$	$>$	$70,7 \text{ kN}$
M16 mit $l_a = 400\text{mm}$	$R_{ax,K,k} = 93 \text{ kN}$	$>$	$91,0 \text{ kN}$
M20 mit $l_a = 400\text{mm}$	$R_{ax,K,k} = 98 \text{ kN}$	$>$	$89,9 \text{ kN}$
M20 mit $l_a = 500\text{mm}$	$R_{ax,K,k} = 113 \text{ kN}$	$<$	$117 \text{ kN} \text{ *)}$

*)

Eine Probe (Nr. 11) aus Anzahl 17 hat einen Wert von nur 109,50 kN erreicht. Alle anderen liegen zwischen 117,6 kN und 167,2 kN. Der Mittelwert beträgt $R_{ax,k,m} = 143,6 \text{ kN}$. Das Bruchbild der Probe zeigt keine Auffälligkeiten. Ähnlich einem Pfropfen ist die Gewindestange mit ausreichend Holzfaserbelag in der Fuge Holz-Klebstoff herausgelöst.

Die charakteristischen Scherfestigkeiten aus der projektbegleitenden Prüfung liegen um 5-20% über den Normanforderungen der DIN 1052. Die aus Vorversuchen an der Universität von Bath - UK ermittelten charakteristischen Werte der Bruchkraft werden mit den Prüfungen bestätigt.

Die Bruchbilder von Proben mit sehr hohen Werten, gegenüber denen mit deutlich geringeren Auszugswerten, lassen sich eindeutig unterscheiden.

Hohe Auszugswerte führen zu splittrigem Bruch des Klebstoffmaterials. Ähnlich wie Glasssplitter bricht der Klebstoff spröde vom Gewindestahl. Häufig zeigt sich weissspulvriges Material im Bruchbereich. Proben mit geringem Auszugswert lösen sich ähnlich

einem Pfropfen aus dem Holz. Hier haften unterschiedlich stark Faserbelag aber auch Faserbündel im Bereich Klebstofflage zum Holz.

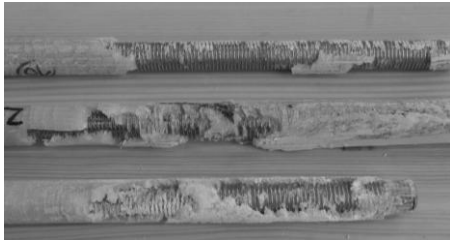


Abbildung 40: Splittiger Bruch



Abbildung 41: Pfropfen ähnlich

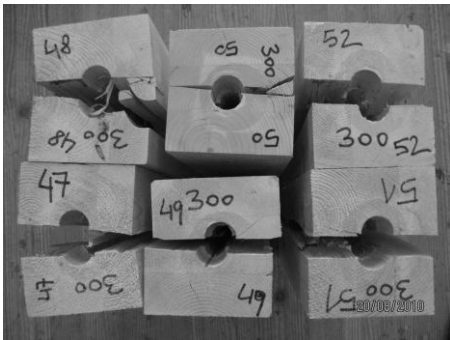


Abbildung 42: Probekörper M16 - 300mm



Abbildung 43: Herausgezogene Proben

9. Schlußbetrachtung und Ausblick

Das beschriebene Projekt der Scunthorpe Pods zeigt, daß bei einem guten Zusammenspiel zwischen Theorie und Praxis reizvolle Ingenieurholzbau-Projekte entstehen können. Gerade am Rande des theoretisch belegten Machbaren (Thema: Regeln der Technik) ist ein offener Austausch aller am Projekt Beteiligten nötig.

Ohne dies und den Willen ein Projekt gemeinsam zum Erfolg zu bringen, könnte der moderne Holzbau nicht dorthin vorstoßen wo wir ihn alle gerne sehen.

Dazu bedarf es aber weiterhin eines ausgewogenen und vermehrten Wechselspiels zwischen innovativen Planern, risikobereiten Ausführenden, Erfahrungen aus der Praxis aufgeschlossener Forschungsstellen und Normenarbeitern sowie Genehmigungsbehörden.

Wenn wir dies in Zukunft zunehmend ermöglichen, auch und im besonderen länderübergreifend, stehen uns weitere schöne Projekte sicher bevor.

10. Dank und Quellennachweis



Abbildung 24: Montagezustand: ca. Mitte Oktober 2010 (AWA architects)

Unser abschließender Dank gilt daher allen Beteiligten, die bei der Realisierung des Projekts und Bearbeitung dieses Artikels unterstützt haben. Insbesondere:

- Prof. Richard Harris (University of Bath; Dept. of Civil Engineering)
- John Booth (B&K Structures Ltd. Belper)
- Andrew Wright (Andrew Wright Associates architects, London)
- Ron Wallwork (S&P architects, London)
- John Westmuckett (Westmuckett & Hawkes engineers)
- uva.

Weitere aktuelle Informationen, Fotos und Videos zum Projekt finden Sie unter den Webseiten des *North Lincolnshire Councils* <http://www.scunthorpetownteam.co.uk> oder von Mayr-Melnhof Kaufmann www.mm-kaufmann.com.