

Nonstandard Structures - Konstruktionen aus Holz

DIPLOMARBEIT

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs

Studienrichtung: Architektur

Hans-Peter Gangl

Technische Universität Graz
Erzherzog-Johann-Universität
Fakultät für Architektur

Betreuer: Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Andreas Trummer
Institut für Tragwerksentwurf

Graz, August 2010

DANKSAGUNG

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Andreas Trummer für die Möglichkeit diese architektur-theoretische Diplomarbeit am Institut für Tragwerksentwurf schreiben zu können und für die ausgezeichnete Betreuung und große Hilfe bei der Fertigstellung meiner Arbeit.

KURZFASSUNG

Die vorliegende Diplomarbeit „Nonstandard Structures – Konstruktionen aus Holz“ untersucht am Beispiel dreier internationaler Projekte die technisch-materiellen Grundlagen der gegenwärtigen Entwicklung der Architektur und deren Einfluss auf das sich wandelnde architektonische Verständnis. Es gilt dabei die architektonischen und technologischen Zusammenhänge, in denen sich die Digitalisierungsprozesse vollziehen, transparent zu machen, zu analysieren und zu beschreiben. Darüber hinaus befasst sich die Arbeit mit der neuen Technologie zur Herstellung von Holzwerkstoffen, insbesondere von Brettschicht- und Furnierschichtholz, und deren Bearbeitung mit computergesteuerten Fertigungsmaschinen. Möglichkeiten und Grenzen eines durchgängigen „digital workflow“ werden in den Werkstattberichten der drei internationalen Projekte aufgezeigt.

ABSTRACT

The thesis "Nonstandard Structures – Constructions made of wood" investigates the technical and material requirements of the current development of architecture and the effect they have on the conception of architecture. The main objective is to analyse and describe the architectural and technical context in which digitalization takes place. Additionally, the thesis contains a detailed description of wood technology and computer-controlled machining of wood-based materials, particularly glued laminated timber and laminated veneer lumber. The workshop reports of the three international projects give a comprehensive overview of digital technology and workflow.

INHALT

1. EINLEITUNG	1
2. NONSTANDARD STRUCTURES	5
2.1 Komplexe Geometrien	6
2.2 Formgebung	11
2.3 Die Natur als Vorbild	21
2.4 Blob-Architektur	25
2.5 CAD-Programme	29
2.6 CNC-Fertigung	33
2.7 Umsetzung	36
3. WERKSTOFF HOLZ	41
3.1 Eigenschaften und Aufbau des Holzes	41
3.2 Vom Stab zur Platte	49
3.3 Brettschichtholz (BSH)	54
3.3.1 Herstellungsverfahren	55
3.3.2 Holzarten	58
3.3.3 Holzverbindungen	59
3.3.4 Gekrümmte BSH-Bauteile	65
3.4 Furnierschichtholz (FSH)	69
3.4.1 Herstellungsverfahren	71
3.4.2 Holzarten	74
3.4.3 Holzverbindungen	75
3.5 Holzschutz	76
3.6 Korrosionsschutz	80
4. PROJEKTE	82
4.1 Centre Pompidou - Metz / Frankreich	82
4.1.1 Architektonisches Konzept	85

4.1.2	Beschreibung des Bauwerks	86
4.1.3	Konstruktionsdetails.	91
4.1.4	Bauliche Umsetzung	95
4.2	Golf Resort -Yeoju / Südkorea	98
4.2.1	Architektonisches Konzept	100
4.2.2	Beschreibung des Bauwerks	101
4.2.3	Konstruktionsdetails.	103
4.2.4	Bauliche Umsetzung.	106
4.3	Metropol Parasol – Sevilla / Spanien	111
4.3.1	Architektonisches Konzept	112
4.3.2	Beschreibung des Bauwerks.....	114
4.3.3	Konstruktionsdetails.	121
4.3.4	Bauliche Umsetzung	125
5.	RESUMÉE	131
6.	LITERATUR	134
7.	ANHANG	140
7.1	Abbildungen	140
7.2	Tabellen	147
7.3	Normen	147

1. EINLEITUNG

Die vorliegende Arbeit zum Thema „Nonstandard Structures“ untersucht am Beispiel dreier Projekte die technisch-materiellen Grundlagen von Nonstandard-Konstruktionen als eine Entwicklung in der Architektur, die Mario Carpo als eine „digitale Revolution“ bezeichnet, die „von vielen als eine Befreiung von der Zwangsjacke und den ideologischen Fesseln der Moderne empfunden wurde“¹ Die neuen digitalen Verfahren sollten die kreativen Kräfte endlich freisetzen, die von der Technik und der Gesellschaft so lange eingeschränkt worden waren. Sie ermöglichten nämlich den Ausdruck von nicht standardisierten Individualitäten, Unterschieden und Variationen, die ältere Technologien nicht unterstützen konnten und ältere Gesellschaften nicht akzeptierten.

Anlass für die Wahl des Themas war mein Interesse an der Bearbeitung von Holz und besonders am Fertigungsprozess der neuen Holzwerkstoffe Brettschicht- und Furnierschichtholz, die beide in den letzten zehn Jahren als eine konkurrenzfähige Alternative zu Stahl und Beton bei der Realisierung von Nonstandard-Bauten zum Einsatz kamen. Die in dieser Arbeit vorgestellten Projekte sind Bauten mit Holztragwerken, von denen das Golf Resort in Yeosu (Südkorea) im Februar 2009 und das Centre Pompidou in Metz (Frankreich) im Mai 2010 bereits fertig gestellt wurden. Das dritte Projekt, Metropol Parasol in Sevilla (Spanien), steht kurz vor seiner Fertigstellung. Aufgrund der Aktualität der Bauten gestaltete sich die Literaturrecherche relativ aufwändig. Neben Artikeln und Beiträgen aus Architekturzeitschriften wurden auch Internetseiten als Primär- und Sekundärquellen für die Dokumentation der drei Projekte verwendet.

Der Begriff „Non-standard“, der erstmals in den 1960er Jahren von A. Robinson in der Mathematik verwendet wurde, bezeichnet in der Architektur eine zum

¹ Vgl. Carpo, 2010, S.18

Standard gegenläufige Entwicklung, die allgemein als Variante oder Abstufung verstanden wird.²

Der Trend zur Individualisierung und Invarianz in der Architektur begann mit dem Einsatz von CAD- und CAM-Software sowie Animationsprogrammen in den 1990er Jahren. Eine Realisierung der komplexen und stärker individualisierten Formen war nur durch die Entwicklung von Holzwerkstoffen und computergesteuerter Fertigungsanlagen möglich. Es war der Anfang einer Entwicklung, die Mario Carpo als „digital individualisierte Massenfertigung“ beschreibt.³

Prozesstechniken aus der Filmanimationsbranche, wie die fließende Darstellung von Transformationen und Austauschprozessen, beeinflussten die Entwicklung neuer Formen, vor allem die Darstellungstechniken. Nach den freien Experimenten in der Frühzeit der Digitalisierung zeichnet sich heute eine einheitliche technologische Basis des Bauens ab. Der Computer wird in den seltensten Fällen als Entwurfswerkzeug verwendet. Die Mehrzahl aller Computernutzungen fällt unter „Computerisation“, was die Eingabe, bzw. die Weiterentwicklung oder das Speichern von Daten bedeutet. Digitale Techniken bieten neue konzeptionelle Möglichkeiten bei der Darstellung und Konzeption, der Präsentation und der Realisierung. Beim „digitalen“ Entwerfen werden geometrische Elemente durch Parameter definiert. Eine spezifische Software ermöglicht die Erstellung von Variationen parametrisch definierter Elemente und direkte Eingriffsmöglichkeiten. Die Notwendigkeit des schnellen Entwerfens und Realisierens verlangt nach einem Prozess mit einer möglichst nahtlosen Umsetzung des Entwurfsthemas.⁴

Schindler/Scheurer, ETH Zürich, stellen fest, dass die seit den 1960er Jahren beobachtbare architektonische Tendenz zur Komplexität und Vielfältigkeit als

² Vgl. Hirschberg, 2010, S.67

³ Vgl. Carpo, 2010, S. 20

⁴ Vgl. Wallisser, 2008

Reaktion auf die vereinheitlichenden Doktrinen der Moderne ansteigend ist. Durch die technische Entwicklung auf der Planungs- und Fertigungsebene konnte die Entwicklung komplexer Formen verbessert werden. Formen können dank der digitalen Zeichenwerkzeuge schneller und genauer hergestellt werden. Auf der Fertigungsebene ist die Erstellung individueller Produkte mittels moderner Fertigungstechnologien zu vergleichbaren Kosten einer Massenfertigung möglich. Der Gesamtaufwand für ein komplexes Architekturprojekt ist jedoch gegenwärtig deutlich höher als bei einem regelmäßigen Bau. Dies liegt hauptsächlich an der fehlenden Verbindung zwischen digitalen Entwurfswerkzeugen und digitalen Fertigungsmaschinen. Um Informationen von einem Ende an das andere Ende der Kette zu bringen ist ein unterbrechungsfreier digitaler Prozess notwendig. Die einzelnen Kettenglieder sind programmierte Einheiten, die über universelle digitale Schnittstellen verbunden sind. Die Ausführungsplanung wäre die Entwicklung einer algorithmisch automatisierten intelligenten Produktionskette.⁵

Die Verwendungsmöglichkeiten von Holz durch die Entwicklung in der Holztechnologie und Fertigungstechnik sind in den letzten Jahren vielfältiger geworden, nicht zuletzt wegen der leichten Bearbeitbarkeit und Effizienz des Materials im Vergleich zu anderen Baustoffen wie Stahl, Glas und Beton. Ein Beispiel für Sonderformen aus Holz sind die hier vorgestellten Nonstandard-Bauten der Architekten Shigeru Ban / Jean de Gastines und J.Mayer H., welche die Möglichkeiten des Holzbaus eindrucksvoll demonstrieren.

Die detaillierte Planung mit absoluten Maßen ist ein Produkt der Industrialisierung. Die Präzision maschineller Fertigung ermöglichte eine kosteneffiziente Herstellung nahezu identischer, austauschbarer Bauteile. Auf der Grundlage des verbindlichen Maßsystems und der Normierung ließen sich Bauteile eindeutig kennzeichnen.

⁵ Vgl. Scheurer/Schindler, 2006

Die Entwicklung der digitalen Fertigung mittels Informationstechnik (NC-Technik) ermöglichte die maschinelle Produktion von Unikaten. Durch die vertikale Integration des Entwerfens und Herstellens wurden neue Formen des digitalen Handwerks geschaffen. Der Bauprozess wurde digitalisiert und die moderne Trennung zwischen geistiger Arbeit und Produktion, zwischen Entwurf und Ausführung wird dadurch aufgehoben.⁶

Die vorliegende Arbeit besteht aus drei Teilen. Der erste Teil befasst sich mit dem digitalen Prozess vom Entwurf (Struktur und Formfindung) bis zur Produktion (CNC-Fertigung) in der Architektur. Inhaltliche Schwerpunkte dabei sind Entwurfstechniken, Blob-Architektur, bionische Ansätze, Softwareprogramme und CNC-Fertigung. Im zweiten Teil der Arbeit werden der Produktionsprozess und die numerisch gesteuerte Erzeugung von Brettschichtholz- und Furnierschichtholzelementen ausführlich behandelt. Abschließend wird im dritten Teil in Form von Werkstattberichten, am Beispiel von drei Nonstandard-Projekten, die Komplexität des Bauens durch technische Entwicklungen im Entwurfs- und Produktionsprozess ganzheitlich dargestellt.

⁶ Vgl. Wallisser, 2008

2. NONSTANDARD STRUCTURES

Begriffsbestimmung

Der Begriff „Nonstandard“ in der Linguistik bezieht sich auf eine Varietät, die häufig synonym mit Substandard im Sinne von ungebildet und gewöhnlich verwendet wird.⁷ In der Architektur hingegen wird „Nonstandard“ häufig als Qualitätsmerkmal für richtungweisende Architektur verwendet, die im Unterschied zur bisherigen analogen Form des Entwerfens eine größere Vielfalt und Komplexität an geometrischen Formen und eine Individualisierung in der Produktion aufweist.

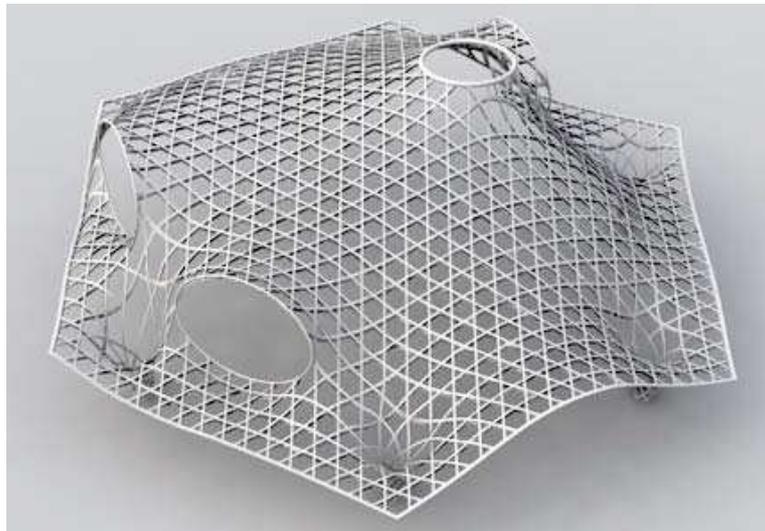


Abb. 2-1: Shigeru Ban / Centre Pompidou – Metz, Dachstruktur aus gekrümmten Brettschichtholzträgern

Standard und Nonstandard werden somit nicht als Widerspruch, sondern als Abstufung verstanden.⁸

⁷ Vgl. www.thefreedictionary.com/nonstandard, 2010

⁸ Vgl. Hirschberg, 2009

2.1 Komplexe Geometrien

In der zeitgenössischen Architektur gibt es eine zunehmende Tendenz zu komplexen Geometrien, den so genannten „Freien Formen“, die nur mit Hilfe leistungsfähiger CAD-Programme hergestellt werden können. Auf diese Weise wird die Einengung durch orthogonale Systeme und herkömmliche Typologien wie Wand und Decke aufgehoben und es ist für Planer möglich sich „frei“ im Raum zu bewegen. Die Freiheit endet jedoch mit der Realisierung des Entwurfs, wenn die Komplexität in den Vordergrund tritt. Zum Beispiel lassen sich doppelt gekrümmte Flächen in zweidimensionalen Abbildungen nur ungenau darstellen. Es fehlen etablierte Standards, so dass in vielen Fällen die Produktionsmethoden und Bauabläufe während des Baugeschehens erst entwickelt werden müssen.⁹

Die Gestaltung komplexer Geometrien allein auf die Entwicklung „freier Formen“ zu beziehen wird der konzeptuellen und intellektuellen Komplexität der sich gegenwärtig entwickelnden digitalen Techniken der Formgebung bei weitem nicht gerecht.¹⁰ Über den Stand der Entwicklung von „Architectures non standard“ informierte eine internationale Ausstellung des Centre Pompidou Paris im Jahre 2003. Zwölf Architektenteams, darunter Greg Lynn, Bernard Cache und andere, demonstrierten auf eindrucksvolle Weise die zunehmende Nutzung digitaler Techniken in jeder Phase des Entwurfs- und Produktionsprozesses. Es galt zu zeigen, dass Architektur nach einem dynamischen Entwurfsprozess keinesfalls mehr statisch sein muss. Große Aufmerksamkeit erweckte die Arbeit von Kas Oosterhuis „The Muscle“. Das interaktive, programmierbare Projekt illustriert wie Sensorstechnik und die entsprechenden taktilen Reaktionen miteinander fusioniert werden können um einen architektonischen Körper, ähnlich einem lebenden Organismus zu entwickeln.¹¹

⁹ Vgl. Scheurer/Stehling, S. 1071

¹⁰ Vgl. Kloft 2004, S. 138

¹¹ Vgl. Oosterhuis, 2007, S. 24



Abb. 2-2: The Muscle, Kas Oosterhuis, 2003

In der Zwischenzeit greift die Digitalisierung in alle Arbeitsfelder der Architekten ein. Eine Anzahl bedeutender Projekte wie beispielsweise das Centre Pompidou in Metz und Metropol Parasol in Sevilla wären ohne die Verfügbarkeit neuer Software und numerischer Fertigungsmaschinen nicht realisierbar gewesen. Beide Projekte stellen einen Fortschritt auf dem Weg zur digitalen Vernetzung dar, wenngleich noch einige Herausforderungen im Entwurfs- und Produktionsprozess zu bewältigen sind.¹²

Freiformflächen

Als Freiformflächen bezeichnet man Flächen, die sich interaktiv und nach den Wünschen des Benutzers gestalten lassen. Verfahren für Freiformflächen stützen sich nicht auf Grundflächen wie Ebene, Kugel, Kegel oder Zylinder ab, sondern zum Beispiel auf Bezier- und Spline-Methoden für das interaktive Generieren von Flächen.¹³

¹² Vgl. Centre Pompidou – Paris, 2004

¹³ Vgl. Brüderlin/Meier, 2001, S. 233

Modellieren von Oberflächen nicht geometrischer Grundkörper wie Zylinder, Kugel, Kegel, etc. ist im Industriedesign seit mehreren Jahrzehnten üblich. Eine neue Formenfreiheit in der Architektur wurde aber erst durch den verstärkten Einsatz des Computers in den 1990er Jahren möglich. Die anfänglich zur Verfügung stehenden CAD-Programme wurden hauptsächlich für die Darstellung und Planung von zwei- und dreidimensionalen Projektionen genutzt. Die meisten CAD-, CAM-, CAE- und CAID-Modellierer, einschließlich Rhinoceros, stellen Freiformen mit NURBS dar.¹⁴

B-Splines, eine Erweiterung der Bézierkurve, ermöglichen eine lokale Kontrolle über einzelne Segmente der Kurve. Sie sind numerisch stabiler als Bézierkurven, da der Grad der Basisfunktionen nicht von der Anzahl der Kontrollpunkte abhängt. Um auch konische Kurven beschreiben zu können, müssen rationale Funktionen verwendet werden. Uniform rationale B-Splines ermöglichen eine exakte Darstellung von Kegelschnitten und sind gegenüber Projektionen geschlossen.

Mit NURBS-Flächen kann jede gewünschte Form modelliert werden. Das Berechnen einzelner Werte einer solchen Oberfläche ist aber sehr zeitaufwändig, wodurch ein direktes Rendern einer NURBS-Freiformfläche praktisch unmöglich ist. Aus Effizienzgründen müssen daher die Freiformflächen vor der Visualisierung trianguliert werden. Triangulierung ist ein Verfahren, um aus einer Menge von Punkten (z.B. einer NURBS-Fläche) ein Dreiecksnetz zu erstellen. Es gibt sehr effiziente, zum Teil hardware-gestützte Verfahren, um diese Dreiecksnetze zu visualisieren und Standardalgorithmen, die sich bereits in der Praxis bewährt haben. Die Grundidee besteht darin, die Freiformfläche mit Hilfe des Kontrollnetzes in Vierecke zu unterteilen, und diese danach zu triangulieren.¹⁵

¹⁴ NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) sind mathematische Kurven, die beliebige Formen von einfachen 2D-Linien, -Bögen und -Rechtecken bis hin zu hochkomplexen organischen 3D-Freiformflächen und -Volumenkörpern darstellen können.

¹⁵ Vgl. Universität Stuttgart, 2004

Viele Architektur-CAD-Systeme sind mittlerweile in der Lage, mit kontinuierlich gekrümmten Kurven (Splines) und Flächen (NURBS) umzugehen. Soll ein Objekt weiterverarbeitet werden, so kommt es nicht nur auf die augenscheinliche Form, sondern auch auf die Parametrisierung (die innere Struktur) der Flächen an.¹⁶

Generatives (parametrisches) Entwerfen

Was für die Moderne noch Programm war, nämlich dem industriellen Zeitalter gemäß in Standards zu denken und in Serien zu bauen, sollte im Rückgriff auf historische Typologien überwunden werden. Das Ergebnis waren entweder indifferente Wiederholungen stets gleicher Grundformen oder Individuation durch Orientierung an historizistischen Stadtbildern.

Was in der Vormoderne als baumeisterliches Wissen galt, das durch Erfahrung immer wieder verbessert und an die Zunft weitergegeben wurde, ist heute der Dialog zwischen Entwerfer und Entwurfsgenerator mittels Skripten, die als Programmiersprachen erlernt werden müssen.

Technisch betrachtet handelt es sich bei diesen Verfahrensregeln um die Anwendung von Algorithmen. Ein Algorithmus umfasst in einfachster Form alle Elemente des programmierten Entwerfens, ob man es als parametrisch oder generativ bezeichnet, es geht dabei um Prozesse, die emergent (=ergebnisoffen) sind. Die Prozesse führen zu einer endlosen Varianz von Alternativen, was als ein Beweis für die Individuation eines Grundmodells zu sehen ist.

Es ist keine Erneuerung des typologischen Denkens, sondern eine Frage der Strukturbildung. Demnach werden Typen als Geometriemodelle verstanden und als Entwurfsmuster baulich organisierter Elemente behandelt. Die Entwurfsmuster werden in Form von Variablen oder Konstanten parametrischer Software in Strukturen geometrischer Abhängigkeit übersetzt. Der Schwerpunkt

¹⁶ Vgl. Scheurer 2009, S. 32

verschiebt sich von der Formfindung zur Strukturbildung und von dieser wiederum zur Architektur.¹⁷

Im Unterschied zum herkömmlichen Entwerfen, bei dem mittels der eingegebenen Daten eine 2D-Darstellung generiert wird, arbeitet das parametrische Entwerfen mit genau definierten Parametern für diverse Objekte, die in Bezug zueinander stehen. Der Vorteil des parametrischen Entwerfens ist, dass sich Änderungen des Entwurfs in Echtzeit realisieren lassen. Der Entwurf kann innerhalb der definierten Regeln durch den Benutzer verändert werden, so dass eine individuelle Form entsteht. Ein parametrischer Entwurf definiert zum Beispiel einen Kubus durch die Parameter Länge, Breite und Höhe, die das CAD-Programm als Variable abspeichert um bei einer eventuellen Änderung diese entsprechend anzupassen.

Durch Einführung der digitalen Werkzeuge und der rasch zunehmenden Anwendung von parametrischer Software im Entwurfsprozess vollzieht sich gegenwärtig ein Paradigmenwechsel. Iteratives Entwerfen und Parametrisieren verändern nicht nur den Entwurfsprozess, sondern auch den Tätigkeitsbereich des Architekten. Der Entwurfsablauf beeinflusst von performativen, gestalterischen und logischen Kriterien wird im Sinne eines digitalen „work-flow“ neu definiert. Man kann von einer Neuordnung der Logistik und Kommunikation sprechen.¹⁸

Holztragwerke mit komplexer Geometrie

Die nachfolgende Übersicht über den Planungs- und Fertigungsablauf der beiden Non-Standard Projekte – Centre Pompidou-Metz und Metropol Parasol-Sevilla – verdeutlicht den gegenwärtigen Stand der digitalen Entwicklung in der Architektur und den damit veränderten Bedingungen für alle am Prozess Beteiligten.

¹⁷ Vgl. Kuhnert, 2008, S. 6

¹⁸ Vgl. Kloft 2004, S. 138

Mit der Komplexität von Holztragwerken wie jener des Centre Pompidou – Metz haben sich auch die Anforderungen an das Wissen und die fachlichen Fähigkeiten der verantwortlichen Spezialisten erhöht. Die Aufgaben sind umfangreicher geworden. Neben einem überdurchschnittlich räumlichen Vorstellungsvermögen und der Fähigkeit Optimierungskriterien zu bestimmen, erfordert zum Beispiel die Arbeit eines Zimmerermeisters Arbeitsplanungskompetenzen wie den Aufbau eines 3D-Modells zur Übertragung von Daten für die CNC-Anlage. Wesentlich ist die Koordination vom Aufbau der 3D-Detaillierung bis zur Baustelle durch eine Person, um möglichst effizient zu kommunizieren. Im Fall Centre Pompidou in Metz waren die Objektdaten im DXF-Format für eine Weiterverarbeitung unzureichend, so dass von der ausführenden Holzbaufirma zusammen mit zwei Softwarefirmen ein 3D-Rhinoceros-Modell für die Konstruktion der Träger aufgebaut und ein Rhino-Plug-In „Create Girder Volume“ für den Aufbau der sechs Trägerschichten geschrieben werden musste. Die Parametrisierung der Träger erfolgte mit einem halbautomatischen Optimierungstool. Für den Dateien-Export wurden neue Plug-Ins geschrieben.¹⁹

Anders als beim Centre Pompidou in Metz wurden beim Projekt Metropol Parasol in Sevilla die geometrischen Daten entsprechend der Vorgabe der ausführenden Firma bereits im Rhinoceros Format geliefert. Diese Daten wurden dann mittels eines Skripts für die Verwendung im Programm BOCAD umgewandelt und an die CNC-Anlagen weitergegeben.

2.2 Formgebung

Begriffsbestimmung

Der Begriff „Formgebung“ bezeichnet die gestalterischen oder technischen Prozesse des Entwerfens zur Gestaltung eines Objekts oder Raums sowohl

¹⁹ Vgl. Kockelkorn, 2008, S. 72-74

unter formalen als auch funktionalistischen Gesichtspunkten, die von Material, Konstruktion, Struktur etc. ausgehen.

Analoges Entwerfen

In der vorindustriellen Zeit waren Holz und Stein die einzigen zur Verfügung stehenden, in der Natur vorkommenden Baumaterialien. Ihre natürlichen Eigenschaften, wie beispielsweise die mangelnde Zugfestigkeit des Steins, bestimmten die Formensprache, die Jahrtausende lang experimentell und aus handwerklicher Tradition heraus entstand und seit mehr als 200 Jahren durch Berechnungen und physikalische Analysen begleitet wird.

Mit Beginn der Industrialisierung wurde es möglich, neue, so genannte künstliche Werkstoffe herzustellen und bereits bekannte Materialien wie Eisen durch verbesserte Herstellungsverfahren in technologisch neue Qualitäten zu überführen. Das Finden des synergetischen Zusammenwirkens von Material und Form war dabei stets ein iterativer Prozess der Suche.

Im Unterschied zum analogen Entwurfsprozess, wo Form und Struktur durch das Material bestimmt werden, findet beim digitalen Entwerfen eine Umkehrung des Prozesses statt: Form und Struktur bestimmen das Material. Der Planungsprozess war stets von Materialentwicklungen beeinflusst, die sich auch auf die Form auswirkten. Gegenwärtig jedoch werden mit Hilfe des Computers virtuell beliebige Formen erzeugt und dann erst die Frage nach dem geeigneten Material gestellt.²⁰

Methodik der Formfindung

Der Einsatz des Computers war bis zur Entwicklung leistungsfähiger Software nur eingeschränkt möglich, die Formgebung erfolgte oftmals experimentell auf der Grundlage von skalierten physikalischen Modellen, wie zum Beispiel die Gitterschalenversuche von Frei Otto. Die in einem modellbasierten Formfindungsprozess generierten Formen wurden strukturell durch die

²⁰ Vgl. Kloft, 2010, S. 109

physikalischen Regeln optimiert. Sie standen im krassen Gegensatz zu den Formen des formgenerierten Prozesses, basierend auf nicht-technischen Regeln. Anders als Frei Otto ging Friedrich Kiesler von der Annahme aus, dass die Form nicht der Funktion, sondern der Vision folgt und diese wiederum folgt der Realität.²¹

Biomorphe Strukturen in der Natur entwickeln sich nach den Evolutionsgesetzen. Im Gegensatz zur materiellen Realität der gebauten Tektonik, gibt es in der Natur keine geraden Linien und rechteckigen Formen. Form und Struktur in der Architektur werden durch die technischen Produktionsmöglichkeiten bestimmt. Die formalen, geometrischen Veränderungen sind häufig die Folge der Entwicklung neuer Techniken und Materialien.

Die Entstehungsprozesse der Formen und der Struktur in der lebenden und nicht lebenden Natur, ob materiell oder genetisch determiniert, basieren prinzipiell auf den gleichen oder zumindest ähnlichen Gesetzen. Diese von Frei Otto begründete Architekturauffassung führte zu einer neuen Entwurfsmethodik. In experimentellen Entwurfsprozessen, die auf physikalischen und chemischen Gesetzmäßigkeiten beruhen, entstehen weitgehend selbst bildend die von ihm entworfenen Formen, wobei Form und Konstruktion eine untrennbare Einheit bilden.²²

Frei Otto entwickelte die Methodik der Formfindung, die im Unterschied zur vorherrschenden Entwurfspraxis die Form eines Bauwerks nicht a priori definiert, sondern im Gleichgewichtszustand der auf sie einwirkenden und in ihr wirksamen Kräfte findet. Eine Kette, die an beiden Enden aufgehängt ist, verdeutlicht dieses Prinzip. Sie bildet sozusagen eine Gleichgewichtsfigur aller wirkenden Kräfte. Je flacher der Stich, desto größer ist die (Zug-) Kraft in der Kette. An der Horizontalen gespiegelt erhält man die ideale Stützlinie eines

²¹ Vgl. Kloft, 2004, S. 137-141

²² Vgl. Kloft, 2004, S. 137-141

Bogens. Dieser trägt Lasten, die gleichmäßig entlang seiner Achse verteilt sind, über reine Druckbeanspruchung ab.

Dieses Verfahren lässt sich auf Flächen übertragen. Frei Otto fand die Form der Gitterschale in Mannheim 1975 in einem Formfindungsmodell im Maßstab 1: 98,5. Dieses bestand aus einem biegeweichen Netz aus Häkchen und Ringen, das, in der Ebene ausgebreitet, quadratische Maschen aufwies. Das Netz der Dachkonstruktion wurde aus gehobelten Hemlockpine - Latten gebildet, die mit Bolzen zu einem Gitter mit beweglichen Knoten und einer Maschenweite von 50 cm verbunden wurden.



Abb. 2-3: Multihalle Mannheim , Spannweite bis 60 m, Höhe 20 m, 7.400 m²



Abb. 2-4: Multihalle Mannheim, Vollholz-Latten 50/50 mm, 2-lagig

Das Holzgitter wurde nach und nach gehoben, an den Rändern befestigt und mit einem Polyester-Gittergewebe überdacht. Die Gitterschale Mannheim basiert auf Ergebnissen der Forschungsarbeit am Institut für Leichte Flächentragwerke der Universität Stuttgart unter maßgeblicher Mitwirkung von Frei Otto.²³ Die Leichtigkeit der Struktur resultierend aus Form und konstruktiver Effizienz findet scheinbar eine Fortsetzung in den weit gespannten Flächentragwerken des Centre Pompidou in Metz, des Golf Resorts in Yeosu und des Metropol Parasol in Sevilla.

Digitales Parametrisieren

Die übliche zwei- oder dreidimensionale Architekturbeschreibung mit graphischen CAD-Werkzeugen genügt oft nicht und es muss Plan begleitend

²³ Vgl. Hensel/Menges, 2009, S. 106-109

ein sogenanntes „parametrisches CAD-Modell“ entwickelt werden. Als eine Alternative zur zeichnerischen Architekturbeschreibung erfasst das Modell eine Geometrie nicht zeichnerisch, sondern mathematisch. Die „Parameter“ sind dabei bestimmte Variablen der Geometrie wie Distanzen oder Radien, die über definierte Abhängigkeiten miteinander in Beziehung gesetzt sind. Hierarchisch wird über der zeichnerischen Ebene noch eine abstrakte Ebene der Beschreibung angeordnet, auf der die Entwurfsgeometrie durch mathematische Abhängigkeiten definiert ist. Die Bausteine dieser Entwurfsbeschreibung sind nicht Linien, Kurven, Flächen und Volumina, sondern Handlungsanweisungen an die CAD-Software. Die Reihe dieser Algorithmen erzeugt wiederum das dreidimensionale Modell. Sinn und Zweck ist ein schneller, automatisierter Aufbau des Modells, welches durch Veränderungen der Handlungsvorschriften variiert werden kann. Algorithmisch definierte Entwurfsmodelle kamen sowohl in Metz als auch in Sevilla zum Einsatz.

Ziel des Modells ist nicht die Parametrisierung einer abstrakten mathematischen Figur, sondern die Beschreibung eines realen Gebäudes. Die Angabe einiger mit Regeln verknüpfter Parameter ist unzureichend, wenn es um die Einbeziehung von Faktoren wie Tragwerk und um Vorgaben der Bauordnung geht. Ebenso kann mit Mathematik allein noch lange kein baubares Ergebnis erzielt werden. An dieser Stelle ist die Zusammenarbeit zwischen Architekten und Programmierer, der das Modell erzeugt, entscheidend. Eine technische Unmöglichkeit jedoch ist es ein Bauwerk komplett mit sämtlichen Informationen in ein parametrisches Modell zu integrieren.

Komplexe Formen werden zumeist mit Materialien wie Stahl, Beton oder Glas assoziiert, spätestens jedoch bei der Realisation wie es beispielsweise beim Bau des Metropol Parasol der Fall war, erweist sich der Werkstoff Holz für die statische Struktur als besonders gut geeignet. Durch die präzise digitale Fertigung können komplexe Verbindungsdetails direkt in den Bauteil integriert werden. Von Vorteil sind zusätzlich die weite Verbreitung computergesteuerter

Abbundzentren und informationstechnologisch geschulte Zimmerleute.²⁴ Beim Centre Pompidou in Metz diente das parametrische Modell zur Detaillierung der Holzkonstruktion und zur Aufbereitung für die NC-Fertigung. Der Ausgangspunkt des parametrischen Modells war hier nicht durch mathematische Regeln und Zusammenhänge bestimmt, sondern lag in Form von 3D-Leitkurven oder modellierten 3D-Flächen vor.²⁵

Weder im analogen noch im digitalen Entwerfen wird entwurfsmethodisch das anisotrope Materialverhalten von Holz berücksichtigt. Menges übt Kritik an der Entwurfsmethodik, welche die spezifischen Eigenschaften und das performative Potential des Holzes nutzen sollte. Vor allem bei geometrisch komplexen Bauvorhaben kritisiert er, dass Holz in einer Form zum Einsatz kommt, die mehr der intrinsischen Logik digitaler Formgebung entspricht als seinem Materialverhalten.²⁶

Generatives Entwerfen

Wallisser verweist auf Robin Evans, der in seinem Buch „Projective Cast“ die Auffassung vertritt, dass Architektur schon seit jeher untrennbar mit Geometrie verbunden ist. Demnach wurde die historische Entwicklung der Architektur durch die Möglichkeiten der zweidimensionalen Darstellung insbesondere der Technik der perspektivischen Zeichnung geprägt. Der Zusammenhang zwischen der durch die vorhandenen Techniken bestimmten Wiedergabe und dem architektonischen Entwurf ist daran erkennbar, dass alle architektonischen Tätigkeiten als perspektivische Transaktion stattfinden: vom Aufzeichnen der Idee über die perspektivische Darstellung bis zur Plandarstellung. Entwerfen ist nach Evans „Handeln aus der Perspektive“, das durch die jeweils vorhandenen Übersetzungsmöglichkeiten der verwendeten Darstellungstechniken eingeschränkt wird.

²⁴ Vgl. Scheurer, 2010, S. 6

²⁵ Vgl. Schindler/Scheurer, 2008, S. 67

²⁶ Vgl. Hensel/Menges, 2009, S. 106-109

Die Mehrzahl aller Computernutzungen in der Architektur fällt unter „Computerisation“: Eingabe, Weiterentwicklung oder Speichern der Daten. Elemente oder Prozesse, die bereits als Konzept in der Vorstellung des Architekten existieren, werden in den Computer eingegeben und „digitalisiert“. Von „digitalem Entwerfen“ kann aber erst gesprochen werden, wenn ein Prozess auf diskrete Muster reduziert und diese zu neuen Strukturen, die von einem Computer genutzt werden sollen, verknüpft werden. Digitale Techniken bieten neue konzeptuelle Möglichkeiten bei der Darstellung und Konzeption, der Präsentation und der Realisierung.

Die aktuelle Softwareentwicklung erlaubt es Beziehungen zwischen einzelnen Elementen festzulegen. Bei diesen assoziativen Geometriemodellen werden Objekte als parametrische Geometrien definiert, die direkt vom Prozess ihres Entstehens abhängig sind; trotz gleicher sind verschiedene Eigenschaften möglich. Über die Form hinaus können auch mögliche Reaktionen auf Kräfte und Veränderungen bestimmt werden.

Durch assoziatives Einfügen von generischen Elementen auf geometrisch komplexe Oberflächen wird eine Vereinfachung in der Differenzierung von standardisierten Elementen möglich. Die automatische Adaption der Teile auf die Oberflächengeometrie lässt ein Gesamtsystem entstehen, in dem zwar alle Teile im gleichen Prozess hergestellt werden, jedoch jeder Teil eine unterschiedliche Form hat. Entwerfen wird hier zum interaktiven Entwickeln unterschiedlicher Varianten. Form entsteht in einem emergenten Prozess.²⁷

Besonders deutlich zeigt sich der Einfluss des Computers auf die Realisierung beim Bau des Guggenheim Museums 1997 von Frank O. Gehry in Bilbao. Der Entwurf wurde noch mittels Skizzen und Modell entwickelt, jedoch der Einsatz des Softwareprogramms CATIA aus der Flugzeugindustrie führte zur parametrischen Optimierung der Bauteile und zur Berücksichtigung ausführungsrelevanter Parameter im Planungsstadium.

²⁷ Vgl. Wallisser, 2008, S. 121



Abb. 2-5: Guggenheim Museum Bilbao, Frank O. Gehry

Parametrische Modelle

Viele Architektur-CAD-Systeme sind mittlerweile in der Lage, mit kontinuierlich gekrümmten Kurven (Splines) und Flächen (NURBS) umzugehen. Es genügt jedoch nicht allein die Darstellung, sondern bei einer Weiterverarbeitung des Objekts kommt es auf die Parametrisierung der Flächen an. Optisch fast gleiche Ergebnisse können sich in ihrem Aufbau immens unterscheiden, so dass es bei der Detaillierung oft zu großen Toleranzproblemen kommen kann. Durch die große Zahl von Einzelteilen ist eine Automatisierung schon in der Planung zu berücksichtigen. So genannte „parametrische Modelle“ definieren keine fertigen Geometrien, sondern Regeln, nach denen einzelne Bauteile in Abhängigkeit von anderen Bauteilen konstruiert werden. Ändert sich die Grundgeometrie, passen sich im Idealfall alle Detaillösungen automatisch an. Ziel parametrischer Modelle ist ein schneller, automatisierter Aufbau des Modells, welches durch Veränderungen der Handlungsvorschriften variiert werden kann.

Die meisten CAD-Programme bieten die Möglichkeit mittels eingebauter Programmierschnittstellen projektspezifische Erweiterungen (Plug-ins) zu entwickeln, die für einzelne Arbeitsschritte eine ähnliche Funktion erfüllen. Das größte Verbesserungspotential des Prozesses bieten die Schnittstellen zu CAE-

und CAM- Programmen. Voraussetzung für die statische Berechnung komplexer Tragwerke ist ein detailliertes Modell des gesamten Systems in einer entsprechenden Analysesoftware. Bei einem anisotropen Werkstoff wie Holz, für dessen Bearbeitung zusätzliche Informationen wie zum Beispiel der Faserschnittwinkel relevant sind, sind reine Geometrie-Austauschformate wie zum Beispiel DXF ungeeignet. Bei der Datenübertragung zur NC-Fertigung decken die Branchenlösungen alle Standardfälle weitgehend ab.²⁸

Entwurfswerkzeuge - Geometrische Modellierung

Die geometrische Modellierung ist die computergestützte Beschreibung sowohl von zweidimensionalen Kurven als auch von dreidimensionalen Flächen und Körpern. Im Hinblick auf Speicheranforderungen, Präzision und Komplexität gibt es für dreidimensionale Objekte mehrere Möglichkeiten der Repräsentation.

Die beiden am häufigsten verwendeten Darstellungsschemata sind: CSG (construction solid geometry) und Oberflächendarstellungen.

CSG:

Sollten die beschriebenen Objekte auch im physikalischen Sinn realisierbar sein (z.B. über wohl definierte Volumen verfügen) so müssen die gespeicherten Oberflächen zusätzliche Eigenschaften erfüllen. CSG ist ein direktes Darstellungsschema, bei dem Objekte mit Hilfe von Grundkörpern wie Kugeln, Quadern oder Zylindern modelliert werden. Auf diese Grundkörper werden Operationen wie Vereinigung, Schnitt und Differenz angewandt, sodass sich am Ende eine Formel ergibt, die beschreibt, wie die Grundkörper miteinander verknüpft werden. CSG ist besonders im CAD-Bereich gebräuchlich, da sich damit viele dort verwendete Objekte auf natürliche Weise beschreiben lassen.

Oberflächendarstellung:

Bei der Oberflächendarstellung hingegen wird ein Körper anhand seiner Oberfläche beschrieben. Die mittels Oberflächendarstellung modellierten Objekte werden meist aus so genannten Freiformflächen zusammengesetzt, die sich an Kontrollpunkten verformen lassen, wodurch lokale Änderungen leicht

²⁸ Vgl. Schindler/Scheurer, 2008, S. 67

möglich sind. Eine weitverbreitete Art von Freiformflächen sind NURBS, die vor der Darstellung aus Effizienzgründen in Polygon- oder Dreiecksnetze umgewandelt (trianguliert) werden. Auch allgemeine zweidimensionale Kurven werden meist mittels Splines beschrieben, deren Kurvenverlauf durch Kontrollpunkte festgelegt wird. Hier sind Bezierkurven gebräuchlich, die für die Rasterung in Polygonzüge umgewandelt werden. Das Ergebnis der 3D-Modellierung ist eine Szene, die neben der Objektgeometrie Materialeigenschaften, Lichtquellen sowie die Position und Blickrichtung eines virtuellen Betrachters enthält (siehe oben).

CAD-Systeme:

1) 2D-CAD

Ein einfaches 2D-CAD System ist ein vektororientiertes Zeichenprogramm. Die Basis-Objekte sind Gerade und Punkte. Komplexere Objekte dagegen sind Kreise, Ellipsen, Splines. Moderne CAD-Systeme haben auch Schnittstellen zur Erweiterung der Funktionalität mittels zusätzlicher Programmteile.

2) 3D-CAD

Um das Objekt perspektivisch darzustellen wird ein 3D Raum auf eine zweidimensionale Fläche projiziert und dort abgebildet. Im Computer wird ein virtuelles Modell eines dreidimensionalen Objektes erzeugt. Es geht dabei nicht nur darum dessen Geometrie zu simulieren, sondern möglichst viele seiner Eigenschaften. Ein virtuelles Objekt lässt sich virtuell wiegen, elastisch plastisch und thermisch verformen. Seine Geometrie und seine Materialeigenschaften sind die Vorgaben zum Beispiel für ein Finite-Elemente-Programm, mit dem es bezüglich Verformung und Bruch untersucht wird. Man kann es beleuchten und seine optischen Eigenschaften dabei erkennen. Volumen-Modelle werden in der Regel aus einfachen Grundkörpern zusammengesetzt.

Im 3D-Design gibt es zur Erstellung dreidimensionaler Formen zwei Methoden:

- a) Streng geometrische Objekte bestehen fast immer aus Drei-oder

Vielecken (Polygonen). Ein Dreieck als die kleinste Baueinheit verlangt dem Rechner wenig Leistung ab und lässt sich zu einigermaßen runden Formen zusammensetzen.

b) Splines bestehen eigentlich auch aus Vektoren, basieren aber auf anderen mathematischen Methoden, die wesentlich einfacher und schneller zu organischen Formen führen.

3D-Grafik-Software sind Computerprogramme zum Modellieren und/oder zum Rendern (in eine zweidimensionale Abbildung konvertieren/daraus Bild oder Computeranimation zu berechnen) einer dreidimensionalen Szene. Häufige Darstellungsform ist ein Drahtgittermodell (skizziert nur die Umrisse eines Objektes, keine Flächen oder Volumsform)

Die meisten professionellen 3D-Grafikprogramme enthalten sowohl ein Modellierungswerkzeug als auch einen Renderer (Berechnen einer präzise skalierten 3-dimensionalen Ansicht aus einem Stapel von 2-dimensionalen Bildern. Freies Drehen und Zoomen der 3-dimensionalen Ansicht).

2.3 Die Natur als Vorbild

Biomorphen Formen, die heutzutage mit aufwändiger Software entwickelt werden, sind keine neuen Erfindungen. Der Gedanke des „organischen Bauens“ erlebte im 20. Jahrhundert drei Höhepunkte: um 1920 in der Zeit des architektonischen Expressionismus, in den Sechzigerjahren und schließlich am Ende des zwanzigsten Jahrhunderts.

Die von Frank Lloyd Wright 1914 begründete Architekturauffassung fand zahlreiche Anhänger, nicht zuletzt wegen ihrer allgemeinen Formulierung und fehlenden Präzision: „Unter organischer Architektur verstehe ich eine Architektur, die sich von innen nach außen entwickelt, in Harmonie mit den Bedingungen ihrer Existenz – im Gegensatz zu einer Architektur, die von außen auferlegt wird“.²⁹

²⁹ Vgl. Pehnt, 2002, S. 12

Der Begriff „Bionik“ wurde erstmals im Jahre 1960 vom amerikanischen Luftwaffenmajor J. E. Steele auf einem Kongress in Dayton/Ohio verwendet. Das Akronym „Bionik“, bestehend aus den Abkürzungen „Bio“ für Biologie und „nik“ für Technik – ist die Bezeichnung für die technisch-naturwissenschaftliche Disziplin, die Organismen, Prozesse und Gesetzmäßigkeiten in der Natur erforscht um sie technologisch umzusetzen und anzuwenden. Bionik bedeutet die aus der Natur gewonnenen Erkenntnisse im Technischen oder Architektonischen kreativ anzuwenden.

Werner Nachtigall, ein langjähriger Mitarbeiter von Frei Otto, betont den funktionalen Aspekt natürlicher Strukturen bei der Übertragung von Baumustern der Natur auf die Technik bzw. die Architektur.³⁰

Form und Funktion sind in einem Organismus stets untrennbar miteinander verbunden und bilden so ein funktionelles Ganzes. Was sich zuerst entwickelt, ob die Form aus der Funktion entsteht oder umgekehrt, lässt sich nicht sagen. Werner Nachtigall behauptet, dass biologische Konstruktionen im Gegensatz zu technischen Konstruktionen, die getrennt gefertigt und zu einem Ganzen verbunden werden, nach einer integrativen Bauweise entstehen. Fast in allen Fällen bilden sich die Formbestandteile schon in einer Art gegenseitiger An- und Einpassung aus und verschmelzen schließlich zu einem integrativen Ganzen.³¹

Die Tatsache, dass die Formen in der Natur die gleichen geometrischen Grundstrukturen aufweisen, lässt darauf schließen, dass sie gemeinsamer Herkunft sind. So verschiedenartig die einzelnen Lebens- und Kulturformen sind, allen gemeinsam ist eine Tendenz zu harmonischen Proportionen, wie sie sich beispielsweise im Goldenen Schnitt oder pythagoreischen Dreieck finden. Nach Auffassung einiger Bioniker wird es in der Zukunft zu einer Mega-Fusion

³⁰ Vgl. Hagen Hodgson, 2002, S. 9

³¹ Vgl. Nachtigall, 2002, S. 19

von Natur und Technik kommen, deren Ergebnisse die bisherigen übertreffen werden.

Die „technischen Besonderheiten“ biologischer Systeme, wie beispielsweise ihre ökonomische Bauweise, dienen den Menschen bereits in der Frühzeit als Vorbild für architektonische Entwürfe. Biologische Strukturen entstehen nie aus Selbstzweck, sondern immer aus einer Notwendigkeit heraus. Der Anspruch der Bionik, dass Lernen von der Natur heute für den Menschen wesentlich sei und die Technik sich dem Menschen und der Natur anpassen sollte, ist nicht neu, aber derzeit wieder aktuell³². Leonardo da Vinci, ein ausgezeichneter Naturbeobachter, nutzte das technische Wissen seiner Zeit zum Studium der Natur um sie technisch umzusetzen. Für Nachtigall war Leonardo da Vinci einer der ersten „Technischen Biologen und Bioniker“.³³

Wolfgang Pehnt unter Berufung auf Frei Otto weist darauf hin, dass die Natur „kein Lieferant für geistlose Erfinder“, sondern „ein guter Lehrmeister sei, der seinen Schülern verbietet ihn zu imitieren“.³⁴ Heutzutage, im Zeitalter des „nachhaltigen“ Bauens, in dem Ökologie und High-Tech längst nicht mehr als Widerspruch zu sehen sind, sind bionische Ideen wie diese wieder aktuell.

Insbesondere in Krisenzeiten, der notwendigen Neuorientierung und Neudefinition von Positionen, suchte man Anhaltspunkte bei der Natur. Petra Hagen Hodgson stellt eine wachsende Tendenz der zeitgenössischen Architektur zu einer zunehmend „organischen“ Formensprache fest, die unterschiedliche Teilpositionen aufweist, wie es auch beim so genannten „organische Bauen“ der Fall ist. „Biomorphismus“ ist heute, so Hodgson, ein rein ästhetisches Thema.

Nach Analyse der Arbeiten von Greg Lynn und Frank O. Gehry kommt Hodgson zu dem Schluss, dass bionische Arbeit - die Übertragung des biologischen

³² Vgl. Nachtigall/Blüchel, 2000, S. 47

³³ Vgl. Nachtigall/Blüchel, 2000, S. 56

³⁴ Vgl. Pehnt, 2002, S. 17

Entwicklungsprozesses in technische Entwicklungssysteme - in den gegenwärtigen Experimenten generativen Entwerfens weniger auf technisch-konstruktiver, sondern auf philosophischer Ebene beruht. Hodgson führt die Vielfalt organischer Formensprache in der Architektur auf die neue energetisch-ökologische Sensitivität architektonischen Denkens zurück.³⁵

Organisches Bauen im Sinne von Formfindung durch Vorbilder der Natur war während der vergangenen Jahrhunderte immer wieder aktuell. Unter organischem Bauen versteht Pehnt einerseits Bauen nach Lamarck, nach dem jede Veränderung einer Funktion eine Veränderung der Form erzeugt, andererseits regionales Bauen.³⁶

Greg Lynn unterscheidet vier bionisch-orientierte Forschungsansätze in der Architektur:

- 1) Die Suche nach Analogien und Metaphern in der Natur für den Entwurfsprozess.
- 2) Quantitative Studien zu architektonischen Entwurfsprinzipien.
- 3) Metaphorische Betrachtung des „Bionischen“ - Nach der Hypothese von Charles Jencks, Architekt und Architekturtheoretiker, bestimmen die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse das Geschehen in der westlichen Welt. In der Architektur wurden die Metaphern Herrschaft, Religion und Demokratie durch Metaphern der Ökologie, der Natur und der Genetik abgelöst.
- 4) Der vierte Ansatz, den Greg Lynn selbst verfolgt, befasst sich mit dem Verhältnis von Architektur und Bionik auf der technischen Ebene einer disziplinären Sensibilität im Sinne eines teleologischen Ergebnisses einer experimentellen Untersuchung. Der Philosoph Henry Bergson versteht Sensibilität als Schnittstelle von Theorie, Technik und Expertise.

³⁵ Vgl. Hagen Hodgson, 2002, S. 8-11

³⁶ Vgl. Pehnt, 2002, S. 12-17

Der Terminus „Bionik“ bezieht sich auf organisch gewachsene, biologisch reproduzierte Organismen. Greg Lynn kritisiert diese Begrifflichkeit des Natürlichen als nostalgisch und einschränkend, zumal für ihn mit dem Begriff „Bionik“ ein neues Paradigma des Entwurfs und der Produktion assoziiert wird, das die Eigenschaften Kontinuität, Nicht-Standardisierung, Differenzierung, Komplexität und Ganzheitlichkeit hat.

Wesentliche historische Ereignisse bionischer Sensibilität nach Lynn sind die Erfindung der Näherungsmathematik durch Leibniz und Newton und die Schaffung der organischen Architektursprache von Horta und Sullivan um 1900, die sich mit neuen Materialien und Konstruktionsmethoden befasste. Bionische Sensibilität ist demnach, wie Greg Lynn sie versteht, eine Kombination von organischer Form und moderner Maschinenproduktion.³⁷

2.4 Blob-Architektur

Die Anfänge biomorphen Bauens reichen bis in die Zeit des ersten Weltkriegs zurück. Es folgte in den Sechzigerjahren ein neuer „biotektonischer“ Trend, der auch heute wieder aktuell ist, und in der Blob-Architektur seine Fortsetzung findet. Charakteristisch für Blob-Architektur sind organische, „der Natur abgeschauten Formen“, die „gewachsen“ und nicht konstruiert oder gefügt scheinen.³⁸

Der Begriff „Blob“ (binary large objects), von Greg Lynn erstmals im Jahr 1995 verwendet, bezeichnet die mit Software entworfenen, bisweilen biomorphen, wandlungsfähigen und hochkomplexen Formen.³⁹ Lynn schreibt: „Der Würfel ist nicht mehr das Maß aller Dinge. Die rechteckige Konstruktion ist nicht länger

³⁷ Vgl. Lynn, 2002, S. 38-45

³⁸ Vgl. Otto, 1995

³⁹ Vgl. www.nextroom.at, 2010

eine technische Notwendigkeit, sie ist nur noch ideologische und ästhetische Mode“.⁴⁰

Die im Jahr 2001 veranstaltete Ausstellung „Blobmeister Architecture“ des Architektur-Museums in Frankfurt war die erste umfassende Dokumentation über realisierte Bauten junger Blob-Architekten, die in den USA geringschätzig „Blobmeister“ genannt wurden. Ihre innovativen Projekte waren Ausdruck ihrer Experimentierfreudigkeit mit freien Formen. Einer der prominentesten Blobmeister, Greg Lynn, dazu: „There is a language of form that comes with the computer, and at first, you do what the software does“.⁴¹

Diese so genannten Freiformflächen, die nicht herkömmlichen Geometrien entstammen, werden mit spezieller Software entwickelt und ausgeführt. Der Terminus „Blob“ ist inzwischen ein wichtiger architekturtheoretischer Begriff geworden.

Moderne CAAD-Software basiert auf den CAD-Systemen (Computer Aided Design) der 1960er und wurde ursprünglich im Maschinen- und Automobilbau verwendet. 2D- und 3D-Programme mit NURBS ermöglichten schließlich die Darstellung gekrümmter Kurven und Flächen. Da derartige Berechnungen im Motorenbau für gekrümmte, stromlinienförmige Flächen und Objekte durchgeführt werden mussten, wurde die Entwicklung der Software-Programme weiter forciert. Schließlich wurden NURBS auch in der Computer- und Filmindustrie der Computeranimation eingesetzt.

Ohne die Verfügbarkeit der entsprechenden Software wären Bauten von Fosters + Partners, Coop Himmelb(l)au, Arup oder Zaha Hadid nicht realisierbar. Durch das so genannte generative Modellieren basierend auf einem neuen Ansatz für die Beschreibung dreidimensionaler Formen ergeben sich bisher neue Möglichkeiten bei der Formfindung und Konstruktion.

⁴⁰ Vgl. Uhr, 2002

⁴¹ Vgl. Borkowsky, 2003, S. 8

Komplexe 3D-Modelle werden nicht wie üblich durch eine Verschneidung geometrischer Grundkörper oder ein Netz von Dreiecken (Polygone), Punkten oder Flächen definiert, sondern durch mathematische Funktionen beschrieben. Die daraus resultierenden Algorithmen werden überlagert mit regelbasierten Prozessen, die Eingriffsmöglichkeiten des Anwenders zur experimentellen Veränderung der Parameter und somit der Objektform ermöglichen.⁴²

Der Architekturkritiker Wolfgang Pehnt stellt fest, dass die Motivation des Entwerfens meist rasch durch den ästhetischen Verschleiß der Formen oder durch äußere Entwicklungen abnimmt, wie zum Beispiel die Faszination der Raumkapsel-Ästhetik der sechziger und siebziger Jahre durch die Explosion des Space Shuttle Challenger verloren ging. Ebenso schwand das Interesse an Kuppeln aus Raumtragwerken nach dem Brand des Buckminster Fuller US-Pavillons bei der Weltausstellung 1967 in Montreal. Pehnt nimmt an, dass die in großer Zahl und in relativ kurzer Zeit produzierten Blob-Entwürfe nicht von dauerhaftem Bestand sein werden. Außerdem ist ihre Realisierung mit hohen Kosten verbunden und die „Statiker ihr ganzes Können aufbieten müssen, um die Kluft zwischen gewolltem Formenverlauf und natürlichem Kräfteverlauf zu überbrücken“.⁴³

Laurids Ortner stellt fest, dass die heute spektakulären Bauten die Auflösung der Schwerkraft zum Ziel haben, da sie dazu tendieren Struktur und Form zu trennen, dabei aber technisch bieder und aufwändig sind“. Seiner Ansicht nach folgen die geschaffenen Formen keinen anerkannten Regeln, sondern setzen ähnlich freien Künstlern auf Eingebung und Wirkung in der Öffentlichkeit.

Der Architekturtheoretiker Oswald Mathias Ungers sieht in der Avantgarde ein Auslaufmodell, dem es nicht gelungen ist sich von den Zwängen der Form und Ordnung zu befreien. An die Stelle der Kunst traten Visionen, Gags und Selbstdarstellungen.

⁴² Vgl. Behaneck, 2009, S. 50

⁴³ Vgl. Pehnt, 2002, S. 16

Die Dominanz architektonischer Form überwiegt gegenwärtig. Die Wünsche der Auftraggeber nach größeren und sensationelleren Bauwerken übersteigen mittlerweile das künstlerische Angebot der Architekten. Übereinstimmend mit Ungers stellt auch Ortner fest, dass der Effekt derartiger moderner Bauten von kurzer Dauer ist: „Sensationen von heute sind morgen verpufft“.⁴⁴



Abb. 2-6: Kunsthaus Graz, 2003, Peter Cook / Colin Fournier

Die formale Ausprägung von Blobs, und ihre meist städtebauliche Unangepasstheit sind oft nur durch ihre Funktion als kulturelle Räume zu rechtfertigen. Sie sind zumeist Museen, Ausstellungshallen oder Konzertsäle, die sich über ihre Inhalte oder Darbietungen hinaus als ein besonderer architektonischer Publikumsmagnet erweisen. Von Freiformflächengebäuden erwartet man aufgrund ihrer äußeren Form Spektakuläres auch im Inneren der Gebäude. Die Wahrscheinlichkeit, dass das architektonische Erscheinungsbild den in seinem Inneren dargebotenen Inhalt übertrifft, ist durchaus groß.⁴⁵

⁴⁴ Vgl. Ortner, 2008, S. 50

⁴⁵ Vgl. Heidlindemann, 2010

2.5 CAD-Programme

Die Konstruktion und Herstellung von Freiformflächen war bis zur Entwicklung leistungsfähiger CAD-Programme nur mit Hilfe der Darstellenden Geometrie möglich. Es wurden Grundrisse, Schnitte und Ansichten von den zu erzeugenden Objekten entworfen, außerdem wurden Schablonen und Formblätter verwendet, sowie Modelle aus Holz, Karton oder anderen Materialien. Erst in den 1960ern wurden vom französischen Ingenieur Pierre Étienne Bézier Methoden entwickelt um Kurven und Freiformflächen mit Hilfe eines CAD-Programms zu konstruieren.⁴⁶

Bis vor einigen Jahren war die Skepsis vieler Planer noch sehr groß, als CAD-Systeme sukzessive in den Architekturbüros Einzug hielten. Die Vorteile des „elektronischen Zeichenbretts“ wurden zwar für die Einreichungs- und Ausführungsplanung durchaus positiv beurteilt, man befürchtete jedoch negative Folgen für die Architekturqualität, die sich für manche Kritiker „zu einer seelenlosen, einförmigen und sterilen „Maschinenarchitektur“ als Folge des automatischen, rechnergestützten Prozesses“ zu entwickeln drohte.⁴⁷ Inzwischen jedoch ist der Computer längst in alle Arbeits- und Entwurfsprozesse integriert.

Wallisser beschreibt die Funktion des Computers in der Architektur folgendermaßen: „Computer in der Architektur helfen, das schwer Darstellbare darzustellen und sich das schwer Vorstellbare vorzustellen – das heißt, es sichtbar und damit erst bearbeitbar zu machen. Der Entwurf am Computer ist eine Methode. Der Computer wird von einem Werkzeug des Zeichnens zur Grundlage einer Arbeitsform, die das unmittelbare Arbeiten am räumlichen Objekt ermöglicht und damit näher am Gegenstand der Architektur ist, als es statische Arbeitsmodelle und zweidimensionale Ansichten leisten können.

⁴⁶ Vgl. www.elearning.bildung.at, 2010

⁴⁷ Vgl. Behaneck, 2009, S. 54

Wesentlich ist nicht, Arbeitsgänge schneller und automatisiert abzuwickeln, sondern den Computer als individuelles Entwurfswerkzeug zu begreifen“.

Wallisser stellt weiters fest, dass wenn jemand seinen eigenen Strich mit dem Bleistift findet, findet er den auch mit dem Computer. Der Unterschied ist nur, dass Computer komplexer sind als Bleistifte. Wichtig ist für ihn das Grundverständnis, „dass diese Maschine nicht automatisiert und dass es die Möglichkeit, sich selbst auszudrücken, nach wie vor gibt“.

Im Zusammenhang mit der digitalen Entwurfsmethode stellt sich die Frage, inwieweit die Grenzen der Darstellungsmöglichkeit auch die Grenzen der Raumbildung beeinflussen. Die Kernkompetenz des Architekten ist es neue Räume zu schaffen, die auf spezielle Herausforderungen und zeitgenössische Fragestellungen reagieren. Parametrisches Entwerfen, welches die Darstellung und Erstellung von Variationen parametrisch definierter Elemente ermöglicht gibt dem Entwerfer direkte Eingriffsmöglichkeiten. Vorteil der Parametrisierung ist, dass Elemente weniger pauschal definiert werden müssen, die individuelle Gestaltungsfreiheit zunimmt, Entscheidungen präziser getroffen werden und technische, gestalterische und konzeptionelle Belange sogar in schwierigen Bereichen in Einklang gebracht werden können.⁴⁸

Heute bieten Computerprogramme wie *Maya*, *Rhinoceros* und einige mehr viele Möglichkeiten für den Entwurfs- und Produktionsprozess in der Architektur. Die ursprünglich für die Automobil- und Flugzeugindustrie entwickelte Software enthielt zumeist keine bauspezifischen Funktionen und keine Möglichkeit der direkten Weiterbearbeitung von Daten mit Hilfe bauspezifischer CAD-Programme und der direkten Generierung normgerechter Grundrisse, Ansichten, Schnitte oder Detailpläne. Eine Datenweitergabe ist nur mit DXF, IGES, STEP etc. mit Informationsverlusten und der Notwendigkeit zur Nachbearbeitung von Daten möglich.

⁴⁸ Vgl. Wallisser, 2007, S. 1448

Nachfolgend folgt eine kurze Beschreibung von Software Programmen, die bei der Realisierung der drei vorgestellten Projekte (s. Punkt 4) verwendet wurden.

Autodesk Maya

Ist eine vorwiegend im Film- und Animationsbereich eingesetzte Visualisierungs- und Animationssoftware für 3D-Modellierung, Computeranimation und Rendering und wurde für die Bearbeitung der Form der Dachstruktur des Projektes Parasol in der Entwurfsphase verwendet.

Anwendungsbereiche: Industrielle Fertigung

Architekturvisualisierung und Rendering

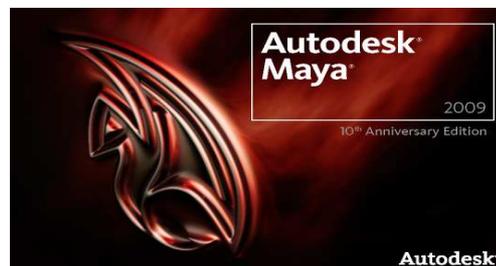


Abb. 2-7: Autodesk Maya Cover

Das Programm baut auf einer „offenen“ Architektur auf, so dass es durch eine Schnittstelle oder durch eine der beiden integrierten Skriptsprachen MEL (Maya Embedded Language) oder Python individuell angepasst werden kann, wodurch eine generative Modellierung freier Formen möglich ist.

Rhinoceros (Rhino)

Ist ein Programm zur Modellierung von NURBS-3D-Freifformflächen, von freigeschwungenen Formen sowie Volumenkörpern und komplexen Konstruktionen. Sowohl bei der Dachkonstruktion des Centre Pompidou Metz als auch der des Metropol Parasol Sevilla wurde im Entwurfsprozess die Modellierungssoftware Rhinoceros eingesetzt.

Anwendungsbereiche: 3D-Modellierwerkzeug für Architekten, Konstrukteure und Designer



Abb. 2-8: Rhinoceros Cover

Mit dem Programm *Rhinoceros* können auch Polygonnetze und Punktwolken verarbeitet werden. Es eignet sich als Ergänzung zu bauspezifischen 2D-/3D-CAD-Programmen um komplexe 3D-Flächen und 3D-Volumenmodelle aufzubauen.⁴⁹

Bocad-3D

Ist ein CAD-System für Planer und Konstrukteure im Holzbau für die Projektierung komplexer Bauvorhaben. Daten im Rhinoceros-Format wurden zum Beispiel beim Projekt Metropol Parasol für die Verwendung mit dem Programm Bocad-3D umgeschrieben, um sie in den in den Fertigungsprozess einzubinden. Über eine digitale Schnittstelle wurden die Daten direkt an die numerische Steuerung der 5-achsigen Fräse weitergegeben.⁵⁰

Anwendungsbereich: Architektur Holz, Glas, Stahl und Beton



Abb. 2-9: bocad-3D Logo

Alle benötigten Übersichten, Schnitte sowie beliebige Details als Ansicht oder Perspektive entstehen während der Konstruktion. Mit dem Programm wird die gesamte Spannweite zwischen individueller und standardisierter Konstruktion in den Bereichen Holz, Glas, Stahl und Beton abgedeckt.⁵¹

⁴⁹ Vgl. Behaneck, 2009, S. 50-54

⁵⁰ Vgl. Mayer H./Stockebrand, 2010, S. 199

⁵¹ Vgl. www.ips-fair.com, 2010

2.6 CNC - Fertigung

Die Herstellung von Holz-Elementen (BSH und FSH), wie sie in großer Anzahl bei den in dieser Arbeit vorgestellten Projekten zum Einsatz gekommen sind, konnte nur durch Abbundanlagen der neuesten Bauart verwirklicht werden.

Der hohe Nutzungsgrad beim Einsatz einer Abbundanlage mit hochpräziser CNC-Fünf-Achs-Bearbeitungstechnik (hier zum Beispiel die CNC-Abbundanlage „Oikos“⁵² des Herstellers Routech, Rimini) wird in erster Linie durch die komplette Bearbeitung eines Balkens an allen sechs Seiten in einem Arbeitsgang und ohne Umspannen erreicht. Insbesondere die Fünf-Achs-Einheit mit zwei gegenüberliegenden Elektrospondeln für alle Fräs- und Bohrbearbeitungen sowie das separate, ebenfalls fünfachsige Sägeaggregat für beliebige Sägeschnitte sichern zusammen mit dem automatischen Werkzeugwechsler mit zwölf Plätzen die außerordentliche Leistungsfähigkeit dieser innovativen, schnellen und gleichermaßen unkomplizierten Abbundtechnik. Zur erwähnten kompletten Rundumbearbeitung an allen sechs Seiten in einem Arbeitsgang wird der Holz-Balken - unabhängig von dessen Abmessungen - von einem robusten Spannzangensystem zu den Arbeitsaggregaten transportiert, danach positioniert sowie für die Bearbeitungen fixiert. Eine zweite Spannzange befördert den Balken zum Auslauftisch, von dem dann die fertigen Werkstücke auf eine Sammelstation zur Entnahme mittels Handlingsystem geschoben werden. Sogar unterschiedliche Querschnitte bis zu 80 cm x 30 cm (optional 35 cm) können hintereinander ohne Umrüsten der Tische und ohne Produktionsunterbrechung gespannt werden.

Gefördert wird die höchst ökonomische Arbeitsweise noch durch die Möglichkeit der vollautomatischen Beschickung (mit Pufferspeicher für Balken in den gängigsten Maßen von 2,5/5,0/7,5 m Länge) und Entnahme mit dem Stapler oder dem Kran. Die Anlagensteuerung erkennt den Querschnitt des jeweiligen

⁵² Oikos ist im Griechischen auch Stammwort für die Begriffe Ökonomie und Ökologie

Balkens und überwacht gleichzeitig, ob die Maße mit allen zuvor programmierten Bearbeitungsparametern übereinstimmen.

Danach folgt das Separieren der Balken, das Ausrichten und Zuführen, das Ablängen (rechter Winkel, Winkel, Gehrung), das Fräsen (Verbindungen, Formen, Schriften etc.). Hierbei ist es unerheblich, wo oben oder unten ist. Durch die Rundumbearbeitung muss der Balken ja nicht gedreht beziehungsweise gewendet werden.

Alle von anderen CNC-Bearbeitungszentren bekannten Vorzüge der Fünf-Achs-Bearbeitungstechnik können mit „Oikos“ praktisch zur unbegrenzten Balkenbearbeitung genützt werden, weil die Werkzeuge sowohl horizontal als auch vertikal arbeiten. Dank der interpolierenden Achsbewegungen werden alle stirnseitigen Abrundungen oder Profilierungen mit nur einem Werkzeug ausgeführt, das in beliebiger Neigung und Position arbeiten kann. Ebenso sind immer wieder andere gestalterische Verbindungsgeometrien sowie beliebige Profilgebungen jederzeit realisierbar, ohne zuvor die Anlage um- oder aufrüsten zu müssen. Somit ist der Holzbaubetrieb jederzeit in der Lage ohne Mehraufwand neue oder auch bisher kaum mögliche Gestaltungsvarianten umzusetzen.

Die weit reichenden Leistungspotentiale der Abbundanlage durch spezifische Arbeitsaggregate für Fräsen / Zerspanen, Bohren und Sägeschnitte werden noch durch die bedienerfreundliche Maschinensteuerung optimiert (automatischer Import von Dateien für den unmittelbaren Datenaustausch mit den gängigsten branchenspezifischen CAD/CAM-Systemen). So genügen wenige und einfache Befehle um die Arbeitszyklen zu automatisieren, den Rest übernimmt die maschineneigene Software. Eine Maschinenprogrammierung für die einzelnen Bauteile ist demnach nicht mehr erforderlich.⁵³

⁵³ Vgl. Bartl, 2007, S. 54

Die Bereitstellung des Rohmaterials kann bei komplexen Geometrien mit beträchtlich erhöhtem Aufwand verbunden sein: z.B. mussten die unterschiedlichen Brettschichtholz-Rohlinge für die Projekte in Metz (s. Punkt 4.1) und Yeosu jeweils individuell hergestellt werden. In Yeosu (s. Punkt 4.2) waren das ca. 500 unterschiedliche Formen mit Losgrößen bis zu 12 Stück, in Metz dagegen knapp 1.800 Einzelstücke.

Eine weitere Herausforderung ist die sinnvolle Segmentierung der Träger. Je länger nämlich ein Segment ist, desto wahrscheinlicher muss es aus einem gekrümmten Rohling gefräst werden. Nach Aussage von Fabian Scheurer sind einfach gekrümmte BSH-Rohlinge etwa zweimal, doppelt gekrümmte etwa sechsmal so teuer wie gerade Rohlinge. Auf der anderen Seite erhöhen sich bei einer höheren Anzahl kürzerer Segmente die Kosten für Produktion und Logistik. Da die Tragfähigkeit der Elemente von der Lage der Stöße, den Faserschnittwinkeln und damit von der Segmentierung abhängt, kann das Rohmaterial erst bestellt werden, wenn ein detailliertes 3D-Modell des gesamten Systems vorliegt und vom Statiker abgenommen ist.

Bei der Fertigung ist in erster Linie die Aufspannung in der Maschine problematisch. Fast alle komplex geformten Teile müssen zweimal aufgespannt werden, um von allen Seiten bearbeitet werden zu können. Spätestens bei der zweiten Aufspannung ist keine planare Auflagefläche mehr vorhanden, so dass Schablonen oder ähnliche Hilfsmittel verwendet werden müssen, um eine exakte Positionierung zu gewährleisten. Die Qualitätskontrolle stellt bei mehrfach gekrümmten Bauteilen eine wichtige Herausforderung dar, sowohl bei der Kontrolle und Aufspannung der Rohlinge als auch später bei der Vermessung der fertigen Elemente.⁵⁴

Das Rohmaterial für die Herstellung eines Brettschichtholz-Trägers wird zuerst einmal auf einem Lagerplatz ein halbes bis ein Jahr vorgetrocknet. Die Trocknung auf Verarbeitungsfeuchte wird dann in speziellen Trockenkammern

⁵⁴ Vgl. Scheurer, 2009, S. 32

vorgenommen. Vor der maschinellen Sortierung der Bretter erfolgt eine maschinelle Rohdichteverwiegung, dann folgen Keilzinkenfräsung (in Fünfer-Paketen), Vereinzeln, Beileimung, Verpressung zu beliebig langen Brettlamellen und eine Breitflächenhobelung. Die fertigen Lamellen werden mittig markiert und zwischengelagert. In der Fertigungshalle erfolgt der Kleberauftrag nach Längenzuschnitt mittels spezieller Gießmaschinen im Durchlaufverfahren. Eine Rutsche führt den Pressbetten für die Bauteile das Material zu. Die beileimten Lamellen werden in ein der Form des späteren Bauteils exakt entsprechendes Pressbett eingelegt und mit speziellen Pressvorrichtungen zusammengespannt. Im Pressbett ermöglichen die mittigen Markierungen eine exakte Ausrichtung der Lamellen.

Die Pressbettenhalle wird über Nacht beheizt, Ventilatoren drücken die Warmluft nach unten und garantieren eine dauernd gleichmäßige Temperatur. Innerhalb von zwölf Stunden bei rund 28°C härtet der Kleber zu 100 % aus. Im Anschluss werden die Binder auf ihre endgültige Bauteildicke gehobelt. Die dafür eingesetzte Vierwellen-Hobelmaschine mit einer Wellenbreite bis zu 2,30 m ist allseitig inklusive Schallschutzkabine verschwenkbar, die gekrümmten Träger haben so immer einen geraden Durchlauf. Der Abbund findet dann mittels einer CNC-gesteuerten Abbundanlage ebenfalls in dieser Halle statt.⁵⁵

2.7 Umsetzung

Für die Auswahl von Materialien für bestimmte Bauaufgaben sind die spezifischen Eigenschaften des jeweiligen Materials entscheidend. Volker Schmid sieht in der intelligenten Kombination unterschiedlicher Werkstoffe zu hybriden Tragwerken die Möglichkeit zu neuen, hocheffizienten Strukturen und zu einer neuen Formensprache. Diese widerspiegelt sich zum Beispiel an der

⁵⁵ Vgl. Schaffitzel Holzindustrie, 2007, S. 32

Mensa der Universität in Karlsruhe und bei der Konstruktion des Metropol Parasol in Sevilla.



Abb. 2-10: Mensa in Karlsruhe



Abb. 2-11: Metropol Parasol - Sevilla

Bei beiden Projekten von Jürgen Mayer H. wurde das Tragwerk aus Holz mit Polyurethan beschichtet, einer gummiartigen wasserabweisenden Schicht, wie sie zum Beispiel zur Abdichtung von Betonbrücken verwendet wird. Holz und Polyurethan sind bis dahin in dieser Form noch nie so zusammen verwendet worden.⁵⁶

In der Regel werden komplexe Formen eher mit Materialien wie Stahl, Beton oder Glas in Verbindung gebracht, doch bei genauerem Hinsehen lässt sich feststellen, dass der Werkstoff Holz an vielen Stellen besser zur Realisation gekrümmter Formen geeignet ist als seine Konkurrenten.

Wie die vorgestellten Beispiele, das Centre Pompidou – Metz, das Golf Resort - Yeoju und das Projekt Metropol Parasol - Sevilla zeigen, lassen sich solche komplexe Geometrien sogar sehr gut in Holz realisieren. Besonders gegenüber seinem „Hauptkonkurrenten“ Stahl kann sich Holz doch in einigen Punkten durchsetzen. Praktisch alle verfügbaren Baustoffe stehen entweder als gerade Stangen bzw. Stäbe oder als ebene Platten zur Verfügung. Um gekrümmte

⁵⁶ Vgl. Schmid, www.medport.de, 2010

Formen realisieren zu können, gibt es vorerst zwei Möglichkeiten, entweder werden die geraden Halbzeuge in die gebogene Form gebracht oder die gebogene Zielgeometrie wird in gerade Stücke aufgeteilt. Beim zweiten Ansatz ergibt sich zwangsläufig ein Widerspruch zwischen Präzision und Effizienz. Viele kleine polygonale Segmente erhöhen die Annäherung an die gewünschte Form, treiben aber auch mit Sicherheit den Aufwand und die Kosten in die Höhe. Wenige größere Segmente dagegen geben die Zielgeometrie nur in zu grober Form wieder. Der bessere Weg ist daher also die Anpassung der Bauteile an die gekrümmte Geometrie. Ebene Bauteile können dabei recht gut mit computergesteuerten Werkzeugen aus Platten geschnitten werden, aber bei stabförmigen Bauteilen und Profilen wird es schwieriger. „Zwar lässt sich Stahl inzwischen auch in industriellem Maßstab biegen, allerdings nur mit begrenzter geometrischer Freiheit (konstante Radien, ebene Kurven) und schwer zu beherrschenden Toleranzen durch Rückfedern“, sagt Fabian Scheurer.

Zwar tritt auch bei der Herstellung gekrümmter BSH-Rohlinge Rückfederung auf, doch fällt diese nicht so ins Gewicht, da die endgültige Geometrie erst beim Abspannen auf der CNC-Fräse entsteht. Holz hat hier den großen Vorteil, dass es sich sehr effizient und äußerst exakt spanend bearbeiten lässt.

Durch die hohe Präzision der digitalen Fertigung ist es auch möglich, komplexe Verbindungsdetails direkt in das Bauteil zu integrieren. Im Gegensatz zum Stahlbau, wo durch nachträgliches Anschweißen von Flanschen und Stirnplatten weitere Ungenauigkeiten entstehen können, werden so in einem einzigen Arbeitsschritt Elemente mit allen benötigten Anschlussdetails produziert. Beim Projekt in Yeosu sind so fast 15.000 in sich gekrümmte und tordierte Blattverbindungen und über 2.000 Schäftverbindungen präzise vorgefertigt worden.

Grundsätzlich kommt dem Werkstoff Holz zugute, dass die nötige Infrastruktur in Form computergesteuerter Abbundzentren (der Begriff Abbund umfasst dabei

sämtliche Arbeitsgänge, vom Aufreißen bis zur Herstellung des einbaufähigen Zustands der einzelnen Bauteile eines Holzbauwerks) bereits weit verbreitet ist.



Abb. 2-12: 5-Achs-Fräsaggregat



Abb. 2-13: Vollautomatische
5-Achs-Abbundmaschine

Zudem sind die Zimmerleute traditionell im Umgang mit dreidimensionalen Strukturen geschult. Trotz dieser Vorteile stellt der Umgang mit komplexen Formen und Geometrien Planer wie Ausführende vor ganz neue Herausforderungen, die über den gesamten Planungs- und Fertigungsprozess verteilt sind.

Zusammenfassend kann man sagen, dass der Werkstoff Holz sich sehr gut für die Umsetzung komplexer Geometrien eignet – insbesondere, weil er sich durch die spanende Bearbeitung äußerst präzise und inklusive aller Anschlussdetails fertigen lässt und so tatsächlich gekrümmte Bauteile ermöglicht, statt sich mit geraden Segmenten polygonal an die gewünschte Geometrie annähern zu müssen.

Die Herausforderungen liegen in der Durchgängigkeit der digitalen Produktionskette und im generellen Umgang mit Veränderungen und neuen Abhängigkeiten im Bauprozess, von der immensen Wichtigkeit eines sauberen 3D-Modells anstelle von 2D-Zeichnungen, bis zur Verschiebung zeitlicher Abläufe und der Neudefinition der Qualitätssicherung. Da diese Probleme aber bei allen Baustoffen gleichermaßen auftreten, ist der Werkstoff Holz für die Umsetzung

komplexer Geometrien im Vergleich zu anderen Baustoffen wie Stahl, Beton oder Glas besonders gut geeignet.⁵⁷

⁵⁷ Vgl. Scheurer, 2009, S. 31

3. WERKSTOFF HOLZ

„Holz kann von der Maschine nie geformt werden, wie es per Hand hingebungsvoll zum Beispiel zu einer Violine geformt wurde – es sei denn als eine leblose Imitation. Doch die herrlichen Eigenschaften des Holzes können durch die Maschine befreit und in die Hände des Architekten gelegt werden. Seine Vorstellungskraft muss es auf eine wahre Weise verwenden – auf eine Weise, die seiner Schönheit würdig ist. Die plastischen Effekte des Architekten werden das Leben des Holzes auffrischen, ebenso wie den menschlichen Geist, der es - als eine Inspiration – schon vor langer Zeit verloren hat“.⁵⁸

Diese den Werkstoff Holz verherrlichende Formulierung, die Frank L. Wright in seinem Artikel über die Bedeutung von Holz als Material in *Architectural Record* im Mai 1928 veröffentlichte, hat bis zum heutigen Tag nicht an Aktualität verloren.

3.1 Eigenschaften und Aufbau des Holzes

Holz und Stein sind die ältesten in der Natur in ausreichender Menge vorkommenden Baustoffe, die schon von frühester Zeit an aufgrund ihrer relativ einfachen Verarbeitung als Bau- und Werkstoff Verwendung fanden. Derzeit ist Holz aufgrund seines Volumens und seiner Masse der bedeutendste Rohstoff der Bauwirtschaft, der den Vorteil hat, dass er stetig nachwächst. Durch eine sinnvolle nachhaltige Forstwirtschaft kann ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Holzentnahme und Nachwachsen sichergestellt werden.

Außerdem braucht man für die Herstellung von Bauholz wesentlich weniger Energie als für die Produktion aller anderen Baustoffe. Im Vergleich (Maßeinheit MJ/t): Der Wert für Bauholz 1 MJ/t, für Stahlbeton 4MJ/t, für Ziegel 6 MJ/t, für

⁵⁸ Frank L. Wright, 1928

Glas 24MJ/t, für Stahl 60 MJ/t, für Aluminium 250 MJ/t und für Verbundfasern 4.000 MJ/t.⁵⁹

Die Verwendung von langlebigen Holzprodukten im Bauwesen trägt wesentlich zur Kohlenstoffspeicherung und zur Reduktion der CO²-Erhöhung in der Atmosphäre bei. Holz ist ein Kohlenstoffspeicher, bei der Photosynthese wird Kohlendioxyd aufgenommen und zu Kohlenstoff als Bestandteil der Biomasse sowie zu Sauerstoff umgewandelt. Bei der Verbrennung oder Verrottung von Holz wird die gleiche Menge Kohlenstoff im CO² wieder freigesetzt.⁶⁰

Bei der Verwertung von Holz gibt es so gut wie keinen Abfall, zumal Restholz, Rinde und Späne als Heizmaterial und minderwertiges Holz in der Papierindustrie verwertet werden.

Bauholz ist aufgrund seiner günstigen physikalischen und technologischen Eigenschaften leicht zu bearbeiten. Es besitzt hohe Festigkeiten, geringes Eigengewicht, gute Verarbeitbarkeit, ein günstiges Brand- und neutrales Löschverhalten und ist überwiegend resistent gegen viele chemische Einwirkungen. Aufgrund dieser Eigenschaften gelten Holzbauten als stabil, zäh und elastisch, mit einer enormen Tragfähigkeit bei geringem Eigengewicht.⁶¹

Vollholz ist ein Naturprodukt und daher durch Stammdurchmesser und -länge beschränkt, so dass es nur in begrenzten Abmessungen zur Verfügung steht.

Holzwerkstoffbauteile jedoch können Abmessungen besitzen, die größer sind als ihr Ausgangsprodukt. Sie werden industriell hergestellt mit verbesserten Eigenschaften gegenüber dem Ausgangsprodukt Vollholz ausgerichtet auf ihre zukünftige Verwendung.

⁵⁹ Vgl. Holzbau SpA, 2010

⁶⁰ Vgl. Neuhaus, 2009, S. XVIII

⁶¹ Vgl. Neuhaus, 2009, S. XVII

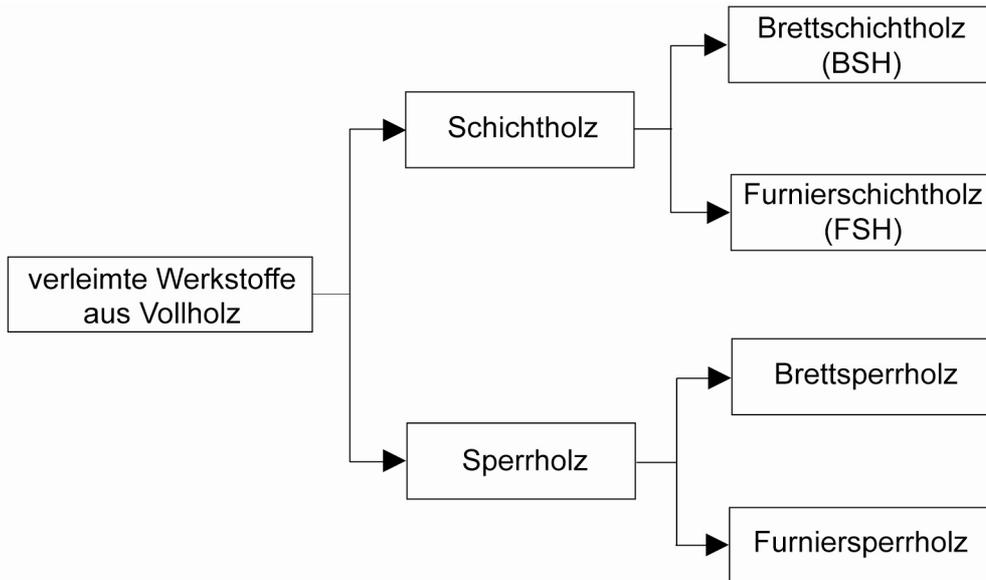


Abb. 3-1: Verleimte Werkstoffe aus Vollholz

Holz besteht vorwiegend aus fest miteinander verbundenen, lang gestreckten parallel zum Stamm verlaufenden Zellen, welche im lebenden Baum die Wasserleitung, den Stoffwechsel und die Festigung übernehmen. Nadelhölzer besitzen im Unterschied zu Laubhölzern, die im Aufbau komplizierter sind und mehrere Zellarten aufweisen, ein einfacheres, regelmäßiges Gefüge, das überwiegend aus einer Zellart besteht.

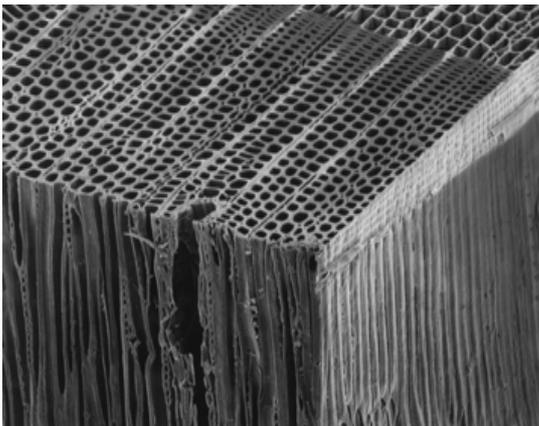


Abb. 3-2: Nadelholz (Fichte)

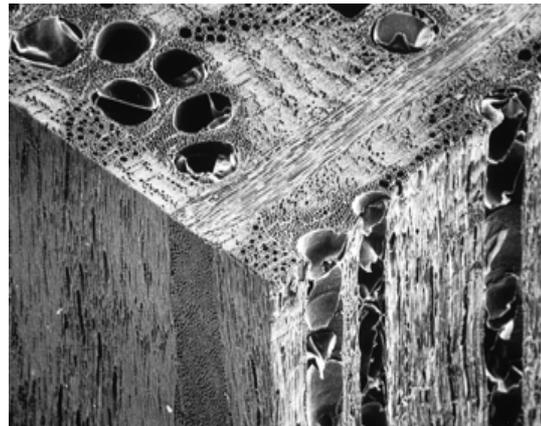


Abb. 3-3: Laubholz (Eiche)

Die Zellwandsubstanz (Holz) besteht im Wesentlichen aus einem Verbundsystem von tragenden (Zellulose) und verbindenden (Hemizellulose, Lignin) Teilen. Holz ist vergleichbar mit einer Röhrenstruktur, deren

Röhrenbündel stammparallel (in Faser- oder in Längsrichtung) verlaufen. In Längsrichtung liegen demnach wesentlich andere Eigenschaften vor als in Querrichtung; z.B. lässt sich ein Röhrenbündel in Querrichtung leicht zusammendrücken oder auseinander ziehen, während in Längsrichtung eine hohe Zugfestigkeit und eine dazu geringere Druckfestigkeit vorliegen. Stoffe, die ein solches richtungsabhängiges Verhalten zeigen, werden anisotrop genannt.

Der chemische Aufbau ist bei verschiedenen Holzarten überwiegend gleich, es treten jedoch bei den Anteilen der chemischen Verbindungen an der Gesamtmasse des Holzes große Unterschiede bei den einzelnen Holzarten auf. Zusätzlich bestimmen Inhaltsstoffe wie Harze, Fette, Wachse, Gerb- und Farbstoffe die Artenvielfalt und Holzeigenschaften wie Geruch, Farbe, Imprägnierbarkeit und natürliche Dauerhaftigkeit.⁶²

Ein Baumstamm ist von Rinde umschlossen, die aus zwei Schichten - Borke und Bast - besteht. Die Borke, der äußere, abgestorbene Teil der Rinde ist ein Schutz gegen die mechanische Beschädigung und Austrocknung.

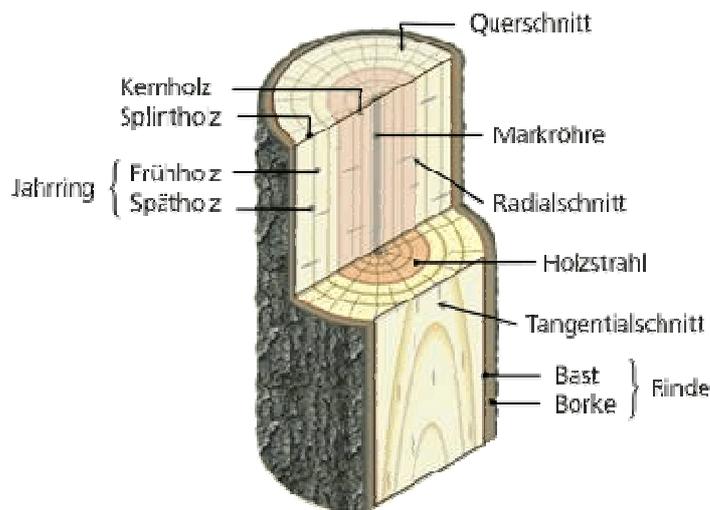


Abb. 3-4: Biologisch-physikalischer Aufbau des Holzes

⁶² Vgl. Neuhaus, 2009, S. 67

Durch den Bast – das innere lebende Gewebe der Rinde – werden die durch Fotosynthese gebildeten Nähr- und Reservestoffe von der Krone bis zu den Wurzeln transportiert. Das Kambium - ein Wachstumsring unter der Rinde – besteht aus sich ständig teilenden Zellen (nach innen werden Holzzellen und nach außen Bastzellen gebildet) und sorgt für den Dickenzuwachs der Bäume. Es besteht aus toten Zellen, die das Wasser mit gelösten anorganischen Nährstoffen von den Wurzeln bis in die Krone transportieren. Im Stammquerschnitt sind die Jahrringe mit dem zu Beginn der Wachstumsperiode gebildeten helleren Frühholz und dem dunkleren, dichteren Spätholz zu erkennen (Abb. 3-2). Deutliche Jahrringgrenzen sind für die Nadelhölzer und die ringporigen Laubhölzer charakteristisch.



Abb. 3-5: Stammquerschnitt einer Fichte mit Wachstumsringen

Das äußere, helle Splintholz dient zur Nährstoff- und Wasserleitung, während im inneren, oft dunkleren Kernholz der Durchfluss durch strukturelle Veränderungen und Einlagerungen von Stoffen wie Harze und Gärstoffe blockiert wird. Das Kernholz wird dadurch dichter, härter und widerstandsfähiger gegen Holz zerstörende Organismen.⁶³

⁶³ Vgl. Brauer, 2008, S. 81

Holz ist ein anisotroper (besitzt unterschiedliche richtungsabhängige Eigenschaften) und inhomogener (sich verändernde richtungsabhängige Eigenschaften) Stoff. Die Holzeigenschaften sind stark von den anatomischen Richtungen im Baumstamm abhängig. Man unterscheidet drei Hauptrichtungen denen sich drei rechtwinklig aufeinander stehende Hauptachsen zuordnen lassen:

- In Faserrichtung des Holzes (längs zur Faser)
- In Radialrichtung des Holzes (quer zur Faser, senkrecht zum Jahrring)
- In Tangentialrichtung des Holzes (quer zur Faser, parallel zum Jahrring)

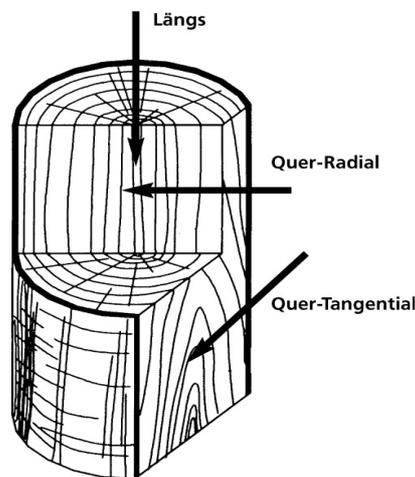


Abb. 3-6: Anatomische Hauptrichtungen

Ziel der Entwicklung der sogenannten „neuen“ Werkstoffe (Engineered Wood), wie z.B. Brettschichtholz und Furnierschichtholz war es, die festigkeitsbestimmende Holzstruktur durch gezielte Orientierung der Holzteile zu nutzen und gleichzeitig die wachstumsbedingte Inhomogenität des gewachsenen Holzes zu eliminieren.

Die meisten Baustoffe einschließlich Holz werden in der Praxis als homogen angesehen, obwohl sie – streng genommen – inhomogen sind, was aus bautechnischer Sicht zulässig ist und die Berechnungsmethoden vereinfacht.

Holzbaustoffe werden durch mechanisches Zerkleinern von Holz und anschließendem Zusammenfügen der Strukturelemente mit einem Bindemittel (Leim) erzeugt.

Der Oberbegriff „Holzbaustoffe“ umfasst alle in DIN 1052: 2004-08 angeführten Baustoffe für tragende und aussteifende Bauteile aus Holz und Holzwerkstoffen.

Holzbaustoffe	
Bauholz > zugeordnet sind:	Holzwerkstoffe > zugeordnet sind:
Vollholz aus Nadel- u Laubholz	Furnierschichtholz mit Querlagen
Balkenschichtholz	Brettsperrholz
Brettschichtholz	Sperrholz, OSB-Platten
Furnierschichtholz o. Querlagen	Spanplatten, kunstharz-, zementgebunden
	Faserplatten, Gipskartonplatten

Tab. 3-1: Holzbaustoffe, Zuordnung von Begriffen nach DIN 1052: 2004-08

Die Holzbaustoffe Brettschichtholz und Furnierschichtholz ohne Querlagen werden dem Bauholz und nicht den Holzwerkstoffen – wie das Furnierschichtholz mit Querlagen - zugeordnet, obwohl sie aus aufgetrenntem Vollholzmaterial bestehen und über Klebfugen geschichtet wieder zusammengefügt werden.

In dieser Arbeit werden nur die Holzbaustoffe Brettschichtholz (Centre Pompidou – Metz bzw. Golf Resort - Yeosu / Südkorea), sowie Furnierschichtholz mit Querlagen (Metropol Parasol – Sevilla) ausführlich behandelt. Beim Centre Pompidou wird die Dachkonstruktion aus Brettschichtholz in sechs Trägerlagen gebildet, die „Baumkonstruktion“ des Golf Resort dagegen besteht aus überblatteten Brettschichtholzträgern in nur einer Lage. Die Pilzlandschaft des Metropol Parasol wurde aus Furnierschichtholz-Elementen mit Querlagen hergestellt.

Brettschichtholz	b max = 300 mm	h max = 2500 mm	l = beliebig
	b min = 50 mm	h min = 100 mm	
Furnierschichtholz mit Querlagen	d = 27-69 mm	b = 1800 mm	l = bis 26,0 m

Tab. 3-2: Dimensionen von Brettschichtholz / Furnierschichtholz m. Querlagen

Der Holzbau hat sich neben der handwerklichen Ebene des klassischen Zimmererhandwerks zu einem Hochtechnologiebereich entwickelt. In früheren Jahren lieferte der Zimmermann bei einem Sägewerk seine Holzliste ab und die zugeschnittenen Profile wurden trocken oder ganz frisch, je nachdem welche Hölzer vorrätig waren, auf die Baustelle gebracht. Die Bewältigung eventueller durch das hygroskopischen Quell- und Schwindverhalten des Holzes („Holz lebt -Erlebnis“) verursachter Probleme beim Einbau war Aufgabe des Zimmermanns.

Heute ist das einfache Kantholz im Holzbau noch immer in Verwendung, es ist aber eine ansteigende Tendenz zu „Fertigprodukten“ erkennbar. Die Vorteile industriell gefertigter Holzbauteile ist, dass sie in beliebiger Anzahl, gewünschter Länge infolge präzise ausgeführter Keilzinken-Verbindungen und gewünschter Qualität erhältlich sind. Zusätzlich weist dieses moderne Konstruktionsvollholz aus gewachsenem Holz keine Schwach- und Fehlstellen mehr auf. Durch digital gesteuerte Fräsen und Sägen sowie auch Festigkeitssortierungen, die optisch oder maschinell vorgenommen werden, wird eine Standardisierung der modernen Kanthölzer erreicht. Diese Hölzer werden heute mit exakt definiertem Feuchtegehalt aus klimatisierten Lagerhallen mit optimalen Eigenschaften für den Einbau geliefert.⁶⁴

Bei der Auswahl und Montage der Bauteile aus Voll- und Brettschichtholz ist besonders auf die Einhaltung der festgelegten Sortierklasse nach DIN 4074-1

⁶⁴ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 72

bis 4 zu achten, um die bei der Bemessung gewählte Festigkeitsklasse der Bauteile sicherzustellen. Die europäischen Mindestanforderungen der visuellen und maschinellen Sortierung sind in DIN EN 518 und 519 festgelegt.

Bauteile aus Holzbaustoffen werden für ihre vorgesehene Nutzungsdauer vereinfachend in drei Nutzungsklassen (NKL) eingeteilt, um die Einflüsse des hygroskopischen Verhaltens auf die Festigkeitseigenschaften und Verformungen (Kriechen) zu berücksichtigen:

Nutzungsklassen	Umgebungs-klima
NKL 1	allseitig geschlossene und beheizte Bauwerke
NKL 2	überdachte, offene Bauwerke
NKL 3	Konstruktionen, frei der Witterung ausgesetzt

Tab. 3-3: Nutzungsklassen von Holzbaustoffen

Die maschinelle Holzsortierung ermöglicht gegenüber der visuellen eine wesentlich sicherere Sortierung, wodurch die Ausnutzung hoher Festigkeiten gewährleistet ist. Die Bezeichnungen der Festigkeitsklassen für Voll- und Brettschichtholz sind: „C“ für Nadelholzbaum (conifer), „D“ für Laubbaum (deciduous tree) und „GL“ für Brettschichtholz (glued).⁶⁵

3.2 Vom Stab zur Platte

Traditioneller Holzbau bestehend aus zusammengefügt behauenen oder gesägten Balken, diente den Menschen ursprünglich als Wetterschutz, später auch den Haustieren. In Europa unterscheidet man zwei Arten von traditionellen Holzkonstruktionen: Blockbau und Fachwerkbau. Während beim Blockbau Raum bildende Bauteile entstehen, ist beim Fachwerk die Wandkonstruktion in ein Skelett aus Balken aufgelöst. Die Konstruktionen entstehen durch das

⁶⁵ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 79, 183

Fügen von stabförmigen, eindimensionalen Bauteilen von denen jedem einzelnen Bauteil nur eine Funktion zukommt. Vor allem bei größeren Konstruktionen gibt es eine „hierarchische“ Anordnung: Der Hauptträger oder Binder trägt die Pfette, diese den Sparren und dieser wiederum die Schalung.

Neue Sägewerkstechniken machten eine einfachere Herstellung von Brettern und eine bessere Materialnutzung möglich. In der Folge wurden Decken aus Balken oder Halbrundhölzern (Doppelbaumdecken) ersetzt durch Balkendecken mit darüber liegender Brettschalung oder dazwischen liegendem Blindboden (Tramdecken). Bretter wurden vermehrt auch für die Verschalung von Fachwerken eingesetzt, da sich durch ihre diagonale Anordnung (Bepunktung) schräge Streben erübrigten.

In Nordamerika entwickelten sich ab 1850 die „Platform-Frame“- und die „Balloon-Frame“ - Bauweise mit ihren eng liegenden, vertikal angeordneten Ständern. Beim „Platform-Frame“ - System wird geschossweise abgebunden.



Abb. 3-7: Platform-Frame Bauweise

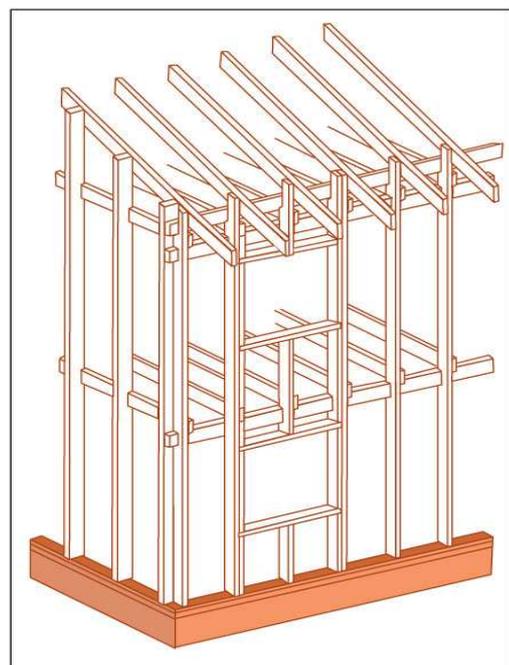


Abb. 3-8: Balloon-Frame Bauweise

Dieses Bausystem bietet die Möglichkeit der Standardisierung und der Vorfabrikation und ermöglicht den Einsatz genormter Bauteile, es ist heute in den USA die häufigste Baumethode für ein- und zweigeschossige Bauten. Beim "Baloon-Frame" – System laufen die Wandrippen über zwei oder mehr Geschosse durch.

Die ersten europäischen Holzrahmen-Bauten nach amerikanischem Plattform-Frame-Vorbild entstanden in Deutschland ab 1930. Der Holzbau blieb bis über die Mitte des 20. Jahrhunderts vorwiegend ein Bau mit Stäben, obwohl mit der Entwicklung von Brettschichtholz zu Beginn des letzten Jahrhunderts ein neuer Werkstoff entstanden war. Einen Wechsel im konstruktiven Holzbau bewirkten kostengünstige Plattenmaterialien. Großformatige Platten eröffneten neue Perspektiven des Konstruierens. Mit Platten alleine oder im Verbund mit einem Gerippe aus stabförmigen Querschnitten können flächige, zweidimensionale Bauteile konzipiert werden, die im Gegensatz zu Balken mehrere Funktionen übernehmen. Es entstehen integrale und multifunktionale Elemente, die zugleich tragen, aussteifen, Raum bilden und verkleiden.

Zu den anfänglich großformatigen Sperrholzplatten (Kerto Q, Fa. Finnforest) und Dreischichtplatten (z.B. K1 multiplan, Fa. Mayr-Melnhof Kaufmann) kamen Platten hinzu, die wie Dreischichtplatten aus gekreuzten Brettlagen bestehen, jedoch eine größere Anzahl von dickeren Lagen aufweisen.

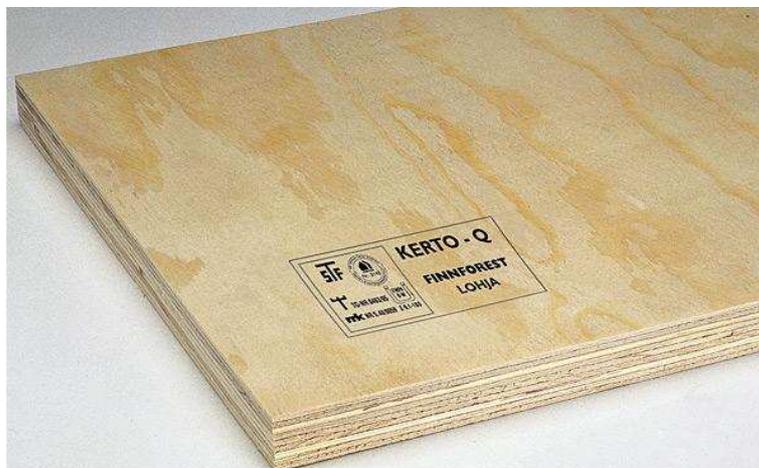


Abb. 3-9: Kerto-Q Platte

Diese Brettsperrholz- bzw. Kreuzlagenholz-Platten werden in Dicken von 80 bis 300 mm eingesetzt, wodurch ein aussteifendes Gerippe wie im Holzrahmenbau nicht mehr erforderlich ist, deshalb spricht man beim Bauen mit Brettsperrholz auch von „Holzmassivbau“. Die Vorteile dieser Bauweise sind vielfältig, vom vereinfachten Schichtaufbau über bessere Dimensionsstabilität bis zur Möglichkeit der zweiachsigen Lastabtragung.⁶⁶



Abb. 3-10: Holzmassiv-Bauteil

Unter Holzwerkstoffen versteht man stab- und plattenförmige Bauteile, die durch Verpressen von zerkleinerten Holzteilen wie Bretter, Furniere, Furnierstreifen, Stäbe, Streifen (Langspäne), Späne, Fasern und Holzwolle unter Zugabe von Bindemitteln wie Kleber oder Zement entstehen. Durch das Zerkleinern und anschließende, überwiegend gerichtete Zusammenfügen werden einige physikalische und mechanische Eigenschaften des Ausgangsproduktes Holz verändert.

Nach diesem Bearbeitungsprozess besitzt das Endprodukt „Holzwerkstoffbauteil“ nahezu ideale Eigenschaften - keine Wachstumsfehler, ein verbessertes Festigkeits- und Verformungsverhalten als Vollholz und eine verminderte Empfindlichkeit gegenüber Holzfeuchte. Darüber hinaus wird durch

⁶⁶ Vgl. Merz, 2009, S.167

den speziellen flächigen Aufbau bei plattenförmigen Holzwerkstoffbauteilen das anisotrope Verhalten des Holzes reduziert.⁶⁷

Bei der heutigen Holzverarbeitung werden drei Bearbeitungsstufen in der Halbfabrikatherstellung unterschieden. Im ersten Abschnitt werden hoch- und mittelwertige Schnitthölzer, wie Bohlen, Kanthölzer, Bretter und auch Brettschichtholz erzeugt. Im zweiten Abschnitt erfolgt die Produktion von Leisten, Latten und Lamellen, die zu Mehrschichtplatten, Blockholztafeln usw. verarbeitet werden. Aus den „Abfällen“, die weiter zerkleinert werden, entstehen z.B. hochfestes Furnierstreifenholz und auch Spanplatten (zum Beispiel OSB-Platten). Im letzten Abschnitt werden die Feinabfälle zu einem fasrigen Brei zerkocht. Fasern und holzeigener Saft (Lignin) werden getrennt und in Pressen zu Platten verfestigt, wobei Hartfaser-, mitteldichte Faser- und Weichfaserplatten etc. entstehen.

Jeder Stufe der Zerkleinerung entspricht eine gegenläufige des Zusammensetzens in Form von Platten und Scheiben, wobei die Verleimung ein entscheidender Faktor für die künftige Biegsamkeit des Materials ist. Die Weiterverarbeitung in Richtung Präfabrikation eines Bauwerks ist der Grund, weshalb das Material schließlich Eigenschaften besitzt, die bestens geeignet sind für die formende Bearbeitung mit CNC-Maschinen. Der Werkstoff Holz entspricht in diesem Produktionsverfahren einem frei modellierbaren und damit indifferenten Grundmaterial.

Deplazes stellt fest, dass das „Grundelement“ des aktuellen Holzbaus nicht mehr der Stab ist, sondern die Platte, die theoretisch in beliebiger Dimension endlos, praktisch aber nur in transportablen Abmessungen produziert werden kann.⁶⁸

⁶⁷ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 47

⁶⁸ Vgl. Deplazes, 2009, S. 27

3.3 Brettschichtholz (BSH)

Brettschichtholz (Projekte Centre Pompidou in Metz und Golf Resort in Yeosu), ist ein aus mindestens drei faserparallel verklebten, getrockneten Brettern oder Brettlamellen industriell gefertigter Holzbalken, der durch seine Maßhaltigkeit und geringe Rissanfälligkeit viele Vorteile für den Bau von Holzkonstruktionen mit sich bringt. Die maximale Breite ist mit 30 cm und die maximale Höhe mit 250 cm festgelegt (DIN EN 390: 1995-03). Ausgangsstoff für die Herstellung sind bestimmte dimensionierte Holzbretter, die hintereinander mit Keilzinkstößen versehen und kraftschlüssig mit Leim verbunden werden. Der entstehende Brettstrang wird in Brettschichten verleimt und zu Brettschichtholz verarbeitet (DIN 1052: 2004-08).

Die parallel zur Faserrichtung liegenden Brettlamellen sind zu einem rechteckigen Querschnitt verklebt. Diese können entweder horizontal oder vertikal laminiert werden; derzeit wird vorwiegend die horizontale Laminierung eingesetzt.



Abb. 3-11: Brettschichtholz

Brettschichtholz muss den Anforderungen der DIN EN 385: 2007-11, DIN EN 386: 2002-04, DIN EN 390: 1995-03, DIN EN 1194: 1999-05 und DIN 1052: 2004-08, Anhang H entsprechen.

3.3.1 Herstellungsverfahren

Brettschichtholz als Holzbaustoff ist bei sachgerechter Verwendung formstabil, sehr maßhaltig und praktisch frei von Rissen mit Ausnahme von Witterungsbeanspruchung und extremen Klimaverhältnissen. Es kann in vielfältigen Formen, Querschnitten, kleinen bis sehr großen Längen hergestellt werden und entspricht deshalb sehr hohen Anforderungen an die Tragfähig- und Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken.

Die einzelne Lamelle des horizontal laminierten Brettschichtholzes hat eine Höchstbreite von $b_{\max} = 30$ cm. Sie kann aus einer Brettlage oder aus zwei nebeneinander liegenden Brettern bestehen (DIN 1052: 2004-08). Die „oben“ und „unten“ liegende äußere Lamelle müssen in Abhängigkeit von Einsatz und Nutzungsklassen (NKL 1-3) seitenverklebt sein. Bei vertikal laminiertem Brettschichtholz, das aus mehreren Einzelbrettern besteht, müssen je nach Aufbau und Einsatz in den Nutzungsklassen die äußeren Lamellen seitenverleimt sein.

Entlastungsnuten bei Einzelbrettern reduzieren Spannungen, die infolge von Holzfeuchteänderungen auftreten und vermindern den Schüsselungseffekt (Wölbung), insbesondere bei breiten Einzelquerschnitten. Aus diesem Grund werden Lamellen ohne oder mit längs verlaufenden Entlastungsnuten hergestellt.

Bei der Herstellung von Brettschichtholz ist der Verlauf der Jahrringe in den Einzelbrettern zu beachten. Es ist stets die „rechte“ Seite als Kern nahe Seite und die „linke“ Seite als Kern abgewandte Seite zu verkleben (DIN EN 386: 2002-04). Zum Beispiel muss bei Brettschichtholz in NKL 3 zusätzlich die rechte Seite (Kern nahe Seite) auf den beiden außen liegenden Querschnittseiten angeordnet werden. Formänderungen bzw. Quer-(Zug-)spannungen durch (nachträglich) auftretende Holzfeuchteänderungen der Einzelbretter werden dadurch minimiert.

.Die einzelnen durch Keilzinkenverbindungen an den Stirnenden längsgestoßen verklebten Brettlamellen müssen vor dem Hobeln auf die erforderliche Gesamtlänge gebracht werden. Die Klebeflächen der einzelnen Lamellen werden mittels Hobelmaschinen mit Absaugeinrichtungen bearbeitet, um eine genaue Passfähigkeit zu erzielen.

Anschließend werden die Lamellen von Brettschichtholzträgern hochkant nebeneinander gelegt. Die so entstehenden Brettschichträger-Rohlinge werden waagrecht liegend, meist mehrere übereinander in Winkelböcken verpresst und nach ausreichender Klebstoffaushärtung seitlich gehobelt und weiter bearbeitet (Abbund wie z.B. Bohrungen für Verbindungsmittel, Holzschutzmittelbehandlung und dgl.).⁶⁹

Brettschichtholz wird vorwiegend mit symmetrischem und geregelter Aufbau hergestellt und verwendet (DIN 1052: 2004-08). Beim homogenen Brettschichtholz (h) gehören alle Lamellen einer Festigkeitsklasse (= Sortierklasse) an. Anders verhält es sich beim kombinierten Brettschichtholz (c), bei dem nur die äußeren Lamellen einer Festigkeitsklasse angehören, während die inneren aus der nächst niedrigeren stammen. Als äußere Lamellen gelten die Bereiche von 1/6 der Trägerhöhe auf beiden Seiten, mindestens jedoch zwei Lamellen. Nicht geregelter Aufbau des Brettschichtholzes, das heißt andere als die oben angeführten geregelten Aufbauten sind nach DIN 1052: 2004-08 zugelassen, zum Beispiel mit unsymmetrisch kombiniertem oder freiem Aufbau unter Berücksichtigung der Angaben nach DIN EN 1194: 1999-05).

Die Querschnittabmessungen von Brettschichtholz sind auf $b_{\max} = 30 \text{ cm}$ und $h_{\max} = 250 \text{ cm}$ begrenzt (DIN EN 390: 1995-03). Durch die Begrenzung der Breite mit 30 cm werden zu große Formänderungen infolge von Holzfeuchteänderungen vermieden. Die Querschnittshöhen von Brettschichtholzbauteilen sind „theoretisch“ genauso beliebig hoch herstellbar

⁶⁹ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 79

wie ihre Längen, die Höhenbegrenzung wurde unter anderem wegen der Arbeitsbreiten derzeit verfügbarer Hobelmaschinen festgelegt.

Für Biegeträger liegt das Verhältnis von Höhe zur Breite meist bei ca. $h/b = 3$ bis 10. Querschnittsverhältnisse von $h/b > 10$ sollten nur in Ausnahmen erreicht werden.

Brettschichtholzbauteile könnten in jeder beliebigen Länge gefertigt werden, da die Einzelbretter in Längsrichtung durch Keilzinkenverbindungen nach DIN EN 385: 2002-03 und DIN 1052: 2004-08 an ihren Stirnseiten (Hirnholz) miteinander verbunden Endlosbretter ergeben. In der Praxis werden diese „Endlosbretter“ durch die Abmessungen der Werkhallen, des Verklebungsbettes und besonders durch die Transportmöglichkeiten auf die durchschnittliche Länge von ca. 35 m bis 40 m begrenzt.⁷⁰

Der ästhetische Gesamteindruck von Brettschichtholzbauteilen hängt überwiegend von der sichtbaren Oberflächenqualität ab, die nicht in Baunormen, sondern in einer Vereinbarung der *Studiengemeinschaft Holzleimbau* geregelt ist. Die Einteilung reicht von Industrie-Qualität über Sicht-Qualität bis zur Auslese-Qualität. Die Oberflächenqualität sollte nach Art und Nutzung des Brettschichtholzbauteils sowie nach Beleuchtung und Betrachterposition festgelegt werden.

Brettschichtholz kommt bei tragenden Bauteilen in Innenbereichen des Wohnungs-, Büro-, Gewerbe- und Industriebaus ebenso zum Einsatz wie bei tragenden Bauteilen von Hallen. Im Außenbereich findet Brettschichtholz wegen seines im Vergleich zu anderen Baustoffen geringeren Eigengewichts bei Brücken für Fußgänger, Radfahrer und für den Straßenverkehr Verwendung.⁷¹

⁷⁰ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 82

⁷¹ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 85

3.3.2 Holzarten

In Mitteleuropa werden europäische Nadelhölzer wie Fichte, Tanne, Kiefer, u.a. aufgrund ihrer günstigen Eigenschaften als Bauholz eingesetzt. Sie besitzen gute Festigkeitseigenschaften bei geringem Eigengewicht sowie geringe Quell- und Schwindmaße und sind darüber hinaus leicht bearbeitbar. Zur Herstellung von BSH sind nur die in DIN 1052: 2004-08 angeführten europäischen Nadelholzarten zugelassen. Generell wird Fichtenholz aus Nordeuropa oder höher gelegenen Regionen Mitteleuropas wegen seiner besseren Holzqualität verwendet. Bei stark witterungsbeanspruchtem BSH der Nutzungsklasse 3 sind dauerhaftere Nadelholzarten wie die europäische Lärche oder die nordamerikanische Gelbe Zeder (Yellow Cedar) vorteilhaft.

Brettschichtholz kann beim Vorliegen ausreichender Anforderungsangaben über die Verklebung auch aus Laubholz hergestellt werden (siehe DIN EN 386: 2002-04).

Grund der häufigen Verwendung von Fichtenholz ist seine günstige Umtriebszeit von 80 – 110 Jahren. Bei speziellen Bauteilen wie Auflagerplatten, Dübel, Schwellen u.a. werden Eiche und Buche eingesetzt. Sie besitzen ein höheres Eigengewicht und höhere Quell- und Schwindmaße (nur Buche). Durch ihre größere Rohdichte sind sie schwerer bearbeitbar und auch teurer als europäische Nadelhölzer. Die nordamerikanischen Nadelhölzer Southern Pine, Western Hemlock und Yellow Cedar sind für Bauzwecke zugelassen (DIN 1052: 2004-08). Sie besitzen oft günstigere Wuchseigenschaften und sind geradliniger als europäische Nadelhölzer. Ebenso zugelassen sind auch die überseeischen, aus den Regenwäldern Westafrikas, Süd- und Mittelamerikas sowie Südostasiens stammenden Laubhölzer Teak, Keruing (Yang), Afzelia, Merbau, Angélique (Basralocus), Azobé (Bongossi) und Ipe. Sie besitzen gleiche oder höhere Festigkeiten als europäische Laubhölzer und eine

überwiegend gute bis sehr gute natürliche Dauerhaftigkeit, wie sie für den Brücken - und Wasserbau erforderlich ist.⁷²

3.3.3 Holzverbindungen

Geklebte Holzverbindungen, starre „flächenhafte“ Verbindungen von Holzbauteilen durch Kleber, sind äußerst steif und unter Belastung unverschieblich. In der Klebfuge können besonders Scherkräfte übertragen werden. Im Unterschied zu den geklebten Holzverbindungen sind Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln (Nägel, Stabdübel, Bolzen, Holzschrauben und Dübel besonderer Bauart) „punktweise“, nachgiebig und weitaus weniger steif. Geklebte Verbindungen des Holzbaus werden überwiegend bei Brettschichtholz, Balkenschichtholz, Furnierschichtholz, bei T-, I- und Kastenquerschnitten und dgl. verwendet.

„Klebstoff“ ist nach DIN 16 920: 1981-06 ein nicht metallischer Stoff, der Fügeile wie Holzteile durch Flächenhaftung mittels Adhäsion und durch innere Festigkeit mittels Kohäsion verbindet.

Für tragende geklebte Verbindungen nach DIN 1052: 2004-08 werden mehrere Holzbauteile mit Beschränkung der Einzeldicke zu einem Gesamtquerschnitt miteinander verklebt. Brettschichtholzträger größerer Abmessungen werden vorwiegend mit Kaltklebung (etwa $T \leq 30^\circ\text{C}$) bei $\geq 20^\circ\text{C}$ oder in temperierter Klebung (etwa $T = 30^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}$) hergestellt. Bei Serienproduktionen werden häufig Warmklebung (etwa $T = 50^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}$) oder Heißklebung (etwa $T > 80^\circ\text{C}$) mit wesentlich geringeren Press- und Heizzeiten eingesetzt. Geeignete Kleber für tragende Holzbauteile, so genannte Bauholzkleber, sind härtbare Kunstharzkleber.

Bauholzkleber sind Mehrkomponentenkleber (Klebstoff, Härter, evtl. Füllmittel) und werden in mechanischen Mischern oder in automatischen Dosier- und

⁷² Vgl. Neuhaus, 2009, S. 67

Mischanlagen hergestellt. Der Klebstoffauftrag wird ein- oder zweiseitig mittels Klebstoffauftragsmaschinen (Walzen, Gießen) ausgeführt. Dieser sollte je Klebfläche gleichmäßig erfolgen, wobei je nach Klebstoffart ca. 300 bis 600 g/m² pro Klebfuge erforderlich sind. Die Verarbeitungsdauer der gebrauchsfertigen Klebstoffmischung (Tropfzeit) liegt im Normalklima T = 20°C, φ = 65%) bei ca. ein bis zwei Stunden, sie verringert sich jedoch bei höheren Temperaturen und geringerer Luftfeuchte. Bei Brettschichtholz nach DIN 1052: 2004-08 muss die Raumtemperatur beim Verkleben mind. T = 20°C betragen, darunter liegende Temperaturen sind wegen der Gefahr von Fehlleimungen zu vermeiden.

Die derzeit verwendeten Bauholzkleber sind in die folgenden Klebstoffarten nach DIN EN 301: 2006-09 unterteilt:

Klebstoff: Abkürzung nach DIN 4076-5		Typ	Nutzungsklasse	Einsatzbereiche
Harnstoffharz	KUF	II	NKL 1	nur innen
Melaminharz	KMF	I	NKL 1-3	innen u. außen
Resorcinharz	KRF	I	NKL 1-3	innen u. außen
Polyurethan	PUR	I	NKL 1-3	innen u. außen
Epoxidharz	KEP	I	NKL 1-3	innen u. außen

Tab. 3-4: Bauholzkleber zum Kleben tragender Holzbauteile nach DIN EN 301: 2006-09

Die mit ihren Klebflächen zusammengefügte Holzeinzelteile werden während des größeren Teils der Aushärtezeit des Klebers bei mind. 20° C unter Pressdruck gehalten. Bei Brettschichtholz aus Nadelholz mit einer Lamellendicke von t = 35 bis 45 mm beträgt der Pressdruck 0,6 bis 1,0 N/mm² bei einer Presszeit von 6 bis 20 Stunden je nach Kleber-Härter-Kombination. Mit dem erforderlichen Pressdruck werden eine gegenseitige Fixierung der Einzelteile sowie eine gleichmäßig verteilte dünne Klebefuge erreicht. Gekrümmte Bauteile benötigen einen höheren Pressdruck als parallelgurtige. Für Brettschichtholz, Balkenschichtholz und dgl. werden Spindel- und

Hydraulikpressen, für Tafелеlemente hydraulische Plattenpressen verwendet. Nach Entnahme aus dem Pressebett und einer dreitägigen Lagerung im warmen Lagerraum von mind. 20° C können die verklebten Holzbauteile in der Regel voll belastet werden.⁷³

Mehrere Einzelbauteile aus Brettschichtholz mit Einzeldicken $a \geq 60$ mm können zu Verbundbauteilen „blockverklebt“ werden (DIN 1052: 2004-08). Die Klebfugen, auch als Blockfugen bezeichnet, dürfen nur Dicken bis zu 2 mm haben. Geklebte Verbundbauteile dürfen nur in den Nutzungsklassen 1 und 2 verwendet werden, andernfalls sind diese durch einen dauerhaften Bewitterungsschutz abzudecken um größere ungleichmäßige Holzfeuchteänderungen, die zu unverträglichen Rissbildungen führen, zu verhindern.⁷⁴

Die Holzfeuchte sollte möglichst gleich sein. Sie darf bei unbehandelten Brettschichtholz-Lamellen zwischen $\omega = 8$ % und 15 % (DIN EN 386: 2002-04) liegen, bei zu verklebenden Brett lamellen im Mittel bei $\omega = 10$ % bis 12 %. Die Feuchteunterschiede der Einzellamellen sind jedoch auf $\Delta\omega \leq 4$ % zu beschränken. Um diesen Wert zu erreichen, ist eine künstliche Holz Trocknung der Einzelbauteile erforderlich.

Für die Herstellung geklebter tragender Holzbauteile nach DIN 1052 sind qualifizierte Fachkräfte und besondere technische Einrichtungen wie künstliche Holz Trocknungsanlagen, Festigkeitssortierungen, klimatisierte Werk- und Lagerhallen, Hobel-, Keilzinken- und Klebstoffauftragmaschinen, Dosier- und Mischanlagen für Klebstoffe, Vorrichtungen für einen geeigneten Pressdruck, Raumklima- und Holzfeuchtemeßgeräte sowie eine ausreichende Produktions- und Qualitätskontrolle nötig, um die Anforderungen z.B. der DIN EN 385, 386 oder 387 einzuhalten.

⁷³ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 129

⁷⁴ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 88

Die Qualitätskontrolle durch den Hersteller umfasst unter anderem Festigkeitsprüfungen der Keilzinkungen und Prüfung der Klebstofffugengüte sowie das Führen eines Produktionstagebuches („Klebstoffbuch“) zur Dokumentation. Zusätzlich werden zweimal jährlich unangekündigte Überprüfungen der Betriebe durch eine autorisierte Prüfstelle durchgeführt. Diese Maßnahmen sind erforderlich um Fehllebungen, die nachträglich schwer zu erkennen sind und größere Folgen für die Tragfähigkeit haben können, zu vermeiden.⁷⁵

Da direkte Längsstoßverbindungen mit Klebern nicht möglich sind, wurden indirekt geklebte Verbindungen entwickelt, bei denen die Längszugbeanspruchung einer Holzverbindung im Wesentlichen über Scherbeanspruchung übertragen werden kann. Da die Scherfestigkeit des Holzes nur etwa 1/10 der Zugfestigkeit beträgt, muss die geklebte Fläche einer längsgestossenen Holzverbindung etwa das Zehnfache der Querschnittsfläche betragen, was mittels Keilzinkung erreicht wird. Beanspruchungen der indirekt längsgestossenen und faserparallelen geklebten Verbindungen infolge von Quell- und Schwindspannungen sind gering, zumal die verbundenen Holzteile sich jeweils in vergleichbaren Richtungen verformen und nicht gegenseitig absperren. Die Keilzinkung als Klebeverbindung zur Herstellung tragender Längsstöße bei Brechtschichtholz ist einfacher auszuführen als die Schäftung bei Furnierschichtholz.⁷⁶

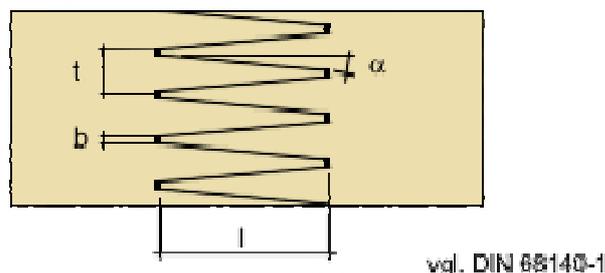


Abb. 3-12: Keilzinkenverbindung als geklebter tragender Längsstoß von Hölzern desselben Holzart

l = Zinkenlänge b = Breite des Zinkengrundes
 t = Zinkenteilung α = Flankenwinkel

⁷⁵ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 135

⁷⁶ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 131

Die Querschnittsbreite des Bauteils sollte mindestens der fünffachen Zinkenteilung t entsprechen. Der Flankenwinkel α ist etwa gleich groß wie der entsprechende Neigungswinkel α bei einer Schäftung ($\max \alpha = 5,7^\circ$), so dass die Klebefuge bei der Keilzinkung auch überwiegend auf Abscheren beansprucht wird.

Klebstofffugen in tragenden Holzbauteilen werden zur Gewährleistung dauerhafter standsicherer Konstruktionen auf Abscheren beansprucht, wobei die Klebverbindung stets fester ist als das zu verbindende Holz.

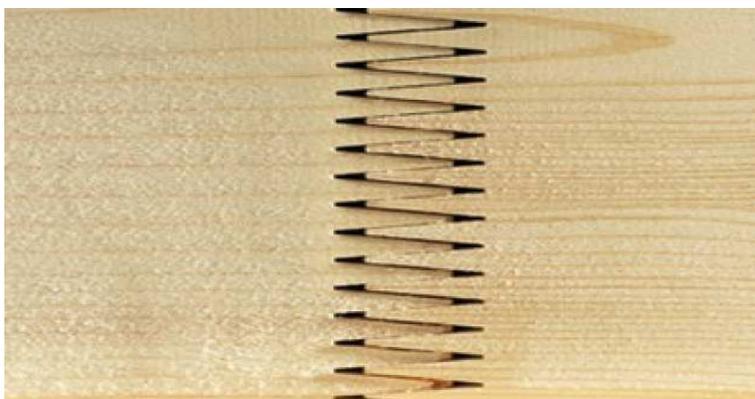


Abb. 3-13: Keilzinkenverbindung

Keilzinkenverbindungen der Einzellamellen von Brettschichtholz müssen nach DIN 1052: 2004-08 und DIN EN 385: 2007-11 ausgeführt werden. Bei den Einzellamellen werden derzeit meist Zinkenlängen von 10 mm bis 20 mm eingesetzt.

Die Verwendung von Brettschichtholz mit üblichen Keilzinkungen der Einzellamellen ist in allen drei Nutzungsklassen zugelassen. Universal-Keilzinkenverbindungen sind Voll- oder Generalstöße des gesamten Querschnitts an einer Stelle mit Zinkenlängen von $l \geq 50$ mm. Sie dürfen nur in den Nutzungsklassen 1 und 2 verwendet werden. Bei einer Verwendung in Nutzungsklasse 3 könnte Niederschlagswasser in den Zinkengrund eindringen einen Befall Holz zerstörender Pilze im Querschnittsinneren verursachen.

Die Herstellung von Keilzinkenverbindungen für Voll- und Brettschichtholz erfolgt in automatischen Keilzinkenanlagen. Die zu verbindenden Enden zweier Hölzer werden mit zueinander passenden Zinken gefräst und unter kurzzeitigem Pressdruck verklebt. So können beliebig lange Holzbauteile wie Bretter, Bohlen, Einzellamellen, Kanthölzer durch Aneinanderfügen vieler Einzelteile erzeugt werden. Der Herstellerbetrieb von Keilzinkenverbindungen nach DIN 1052 muss einen Nachweis der Eignung zum Kleben tragender Holzbauteile besitzen.

Eine Keilzinkung hat eine Schwächung des Querschnitts zur Folge. Diese darf nach DIN 1052 bei der Bemessung von Brettschichtholzbauteilen vernachlässigt werden, da die Keilzinkenverbindungen der Einzellamellen bzw. Einzelhölzer in unterschiedlichen, meist weit voneinander entfernten Querschnitten liegen, und es daher sehr unwahrscheinlich ist, dass alle Lamellenlagen in ein und demselben Querschnitt keilgezinkt gestoßen werden. Dagegen müssen die Querschnittsschwächungen von Universalkeilzinkenverbindungen bei Brettschicht- und Balkenschichtholz (DIN EN 387: 2002-04) bei keilgezinkten Vollstößen und keilgezinkten Rahmenecken aus Brettschichtholz für Tragfähigkeitsnachweise in Rechnung gestellt werden.⁷⁷

Mechanische Holzverbindungen sind tragende Verbindungen von Bauteilen aus Holzbaustoffen, die mit stiftförmigen metallischen und sonstigen mechanischen Verbindungsmittel zusammen gefügt sind (DIN 1052: 2004-08). Die miteinander verbundenen Teile erfahren infolge Scherbelastung lastabhängige Verschiebungen verursacht durch Lochleibungsverformungen in den einzelnen Teilen und aus Verformungen der Verbindungsmittel.

Im Unterschied zu den geklebten starren „flächenfesten“ Holzverbindungen sind die mechanischen Holzverbindungen nachgiebige „punktweise“ Verbindungen. Dazu gehören stiftförmige metallische Verbindungsmittel wie Stabdübel, Passbolzen, Bolzen, Nägel, Gewindestangen, Holzschrauben, selbst-

⁷⁷ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 139

schneidende Holzschrauben und Klammern, die alle rechtwinkelig zu ihrer Längsachse (Stiftachse) auf Abscheren, einige auch auf „Herausziehen“ oder kombiniert beansprucht werden können. Verbindungen mit eingeklebten Stahlstäben wie z.B. Gewindestangen und Betonrippenstähle werden bei Vollholz, BSH und FSH, verwendet. Weitere Verbindungsmittel mechanischer Art sind Dübel mit scheiben- oder kreisringartiger Fläche, Nagelplatten und Stahlblechformteile. Zimmermannsmässige Holzverbindungen wie Versätze, Zapfen- und Holznagelverbindungen aus Eichenholznägeln befürden keiner metallischen Verbindungsmittel zur Kraftübertragung.⁷⁸

3.3.4 Gekrümmte BSH-Bauteile

Brettschichtholzbauteile werden vorwiegend als „gerade“ Bauteile mit parallelgurtigen Trägerkanten gefertigt, können aber auch als „gekrümmte“ Bauteile mit gebogenen Trägerkanten hergestellt werden. Dazu werden die vor dem Verkleben noch leicht formbaren Einzelbretter in die gewünschten Formen gekrümmt. Mit Brettschichtholz ist beinahe jede Form realisierbar, sofern sie statisch sinnvoll ist.



Abb. 3-14: In der Ebene gekrümmter Bauteil im Pressbett

⁷⁸ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 183

Die beim Krümmen der Einzelbretter während der Herstellung entstehenden Biegespannungen (bis zu 80% mehr als bei üblichem Bauschnittholz) reduzieren sich zum Teil infolge rheologischen Verhaltens (Quellen, Schwinden) des Holzes. Die damit verbundene Vorbelastung der Einzelbretter muss jedoch nach DIN 1052: 2004-08 bei der Bemessung gekrümmter Bauteile berücksichtigt werden.⁷⁹

Die Ausbildung gekrümmter Bereiche wird von den zulässigen Biegeradien R der Einzellamellen und den Lamellendicken t begrenzt, wobei zwecks Geringhaltung der auftretenden Querspannungen, insbesondere Querspannungen, die Biegeradien nicht zu klein gewählt werden sollten.⁸⁰

Die Biegeradien gekrümmter Bauteile und die Dicken der Einzelbretter müssen den Anforderungen der DIN 1052: 2004-08 und der DIN EN 386: 2002-04 entsprechen.

Mindest-Biegeradius R gekrümmter Bauteile:	
NKL 1: $R \geq 230.t$	Biegeradien bis $R \geq 150.t$ sind zulässig, wenn die Bedingung eingehalten wird: $t \leq 13 + 0,4 (R/t - 150)$
NKL 2: $R \geq 230.t$	
NKL 3: $R \geq 205.t$	
t Dicke des Einzelbrettes (Lamelle) in mm R ... Biegeradius des Brettschichtholzbauteiles in mm	

Tab. 3-5: Mindest-Biegeradien gekrümmter (gebogener) Bauteile
BSH-Bauteile aus Nadelholz nach DIN 1052: 2004-08

Brettschichtholz kann in Bauteillängsrichtung vielfältig geformt werden. Die gute Bearbeitbarkeit des Holzes lässt gerade und gekrümmte Bauteilkanten oder Mischformen von beiden zu. Durch Auslaufen der Einzelbretter an den Bauteilrändern entstehen veränderliche Trägerhöhen, deren Anschnittwinkel

⁷⁹ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 413

⁸⁰ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 89

wegen der im Randbereich auftretenden Spannungskombination (Längs-, Quer- und Schubspannungen) nicht größer als 10° betragen sollte.⁸¹

Gekrümmte Träger aus Brettschichtholz mit Rechteckquerschnitt werden überwiegend symmetrisch zur Trägermitte hergestellt. Es gibt zwei Herstellungsarten tordierter Träger:

1) Die gerade gefertigten Träger werden in Form gepresst, wobei durch Einpassung der Keile in der Pressvorrichtung der gewünschte Drehwinkel erreicht wird, wobei es allerdings bei diesem Verfahren zu Rückstellungen kommen kann.



Abb. 3-15: Doppelt gekrümmter Bauteil (Yeoju Golf Resort)

2) Aus einem einfach gekrümmten BSH-Balken wird mit einer CNC-Fräse die gewünschte dreidimensionale Form herausgearbeitet.

Das überschüssige Material wird mit der CNC-Fräse entfernt und der Brettschichtholz-Balken mit dem intendierten Krümmungsverlauf bleibt übrig. Diese Präzision der Formgebung im Zehntel-Millimeter-Bereich ermöglicht es nun die Montage der Bauteile schnell und zwängungsfrei durchzuführen.

⁸¹ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 83-84



Abb. 3-16: Mehrfach gekrümmter Bauteil



Abb. 3-17: Dreidimensional gefräster Bauteil

Die Auswahl des Trägerrohlings hängt vom Faserschnittwinkel ab, der die Belastbarkeit des Trägers bei Biegebelastungen beeinflusst, weshalb bei der Planung keine allzu großen Krümmungen um die zweite Achse vorgesehen werden sollen.⁸²

Für die Verklebung gekrümmter Bauteile ist ein höherer Pressdruck erforderlich als für parallelgurtige Bauteile. Durch viele in Brettschichträger-Längsrichtung hintereinander stehende Winkelböcke ist es möglich „gerade“ und „gekrümmte“ Bauteile herzustellen und zu pressen. Die Rohlinge werden nach ausreichender Klebstoffaushärtung seitlich gehobelt und weiterbearbeitet.⁸³

Aufgrund seiner Faserstruktur kann Holz zwar Zugspannungen in Längsrichtung sehr gut aufnehmen, quer zur Faser weist das Material aber nur eine geringe Zugfestigkeit auf. Bisher wurden hierfür metrische Gewindestangen oder profilierte Bewehrungsstäbe zur Querszugverstärkung in Brettschichtholzbauteile eingeklebt. Dazu wird ein Stahlstab in ein Loch eingedreht, das mit Kunstharz aufgefüllt wird. Nachteil dieser Methode ist, dass die Holzbauteile erst nach dem Aushärten des Kunstharzes vollständig belastet werden können. Bei großen Bauteilen, wie bei geneigten und gekrümmten Brettschichtholzträgern, kam es immer wieder zu Querszugrissen. Mit der DIN

⁸² Vgl. Neuhaus, 2009, S. 413

⁸³ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 133

1052: 2004-08 wurde die Querkzugfestigkeit auf ein sicheres Niveau angepasst, indem die innen liegenden Verstärkungen aus eingeklebten, metrischen Gewindestangen oder Bewehrungsstäben aufgenommen wurden.⁸⁴

3.4 Furnierschichtholz (FSH)

Furnierschichtholz wurde in den 1920er Jahren für den Flugzeugbau entwickelt und wird seit dem Jahr 1970 von der Trus-Joist-MacMillan Corporation in Nordamerika unter dem patentierten Namen „Microllam“ industriell gefertigt. In Europa begann die Fa. Finnforest in der Nähe von Helsinki/Finnland im Jahr 1975 anfangs in einer Versuchsanlage, später ab dem Jahr 1981 mit der industriellen Fertigung von Kerto Q/S Furnierschichtholz.⁸⁵

Furnierschichtholz mit Querlagen (Kerto-Q), das beim Projekt Metropol Parasol in Sevilla zum Einsatz kam, besteht aus mehreren ca. 3 mm dicken miteinander verklebten Furnierlagen (zumeist aus Nadelhölzern), wobei jeweils die zwei außenliegenden Deckfurniere in Faserrichtung verlaufen und einzelne Furnierlagen senkrecht zum Faserverlauf der Deckfurniere angeordnet sind.



Abb. 3-18: Furnierschichtholz

⁸⁴ Vgl. Göttlein, 2008

⁸⁵ Vgl. www.proholz.at, 2010

Es können Bauteile bis zu einer Länge von 26 Metern hergestellt werden. Für die Produktion von Furnierschichtholz ist eine bauaufsichtliche Zulassung nach DIN 1052: 2004-08 erforderlich.

Durch die schichtweise Verleimung und Reduzierung natürlicher Fehlstellen besitzen Furnierschichthölzer in der Regel eine größere Festig- und Steifigkeit als das Ausgangsprodukt Nadelvollholz. Furnierschichtholz kann für tragende Balken, Pfetten, Stützen, Streben, Fachwerkstäbe, Rippen im Holzrahmenbau und für zusammengesetzte Stäbe eingesetzt werden.

Der Aufbau von Furnierschichtholz mit Querlagen ist im Wesentlichen gleich wie jener ohne Querlagen. Einige in Querrichtung orientierte zusätzliche Furnierlagen (ca. 20 % Querfurniere), ermöglichen die Verwendung in Platten- und Scheibenkonstruktionen.⁸⁶

Eine der größten Veränderungen für den Holzbau hat die Entwicklung von Kerto-Furnierschichtholz gebracht, welches sowohl als flächiges Element wie auch als hoch belastbarer Träger im Dachstuhl oder bei Deckenkonstruktionen verwendet werden kann. Decken- oder Dachkonstruktionen werden in der Werkhalle vorgefertigt und als Elemente auf die Baustelle gebracht, wo sie nach dem Einbau sofort begeh- und belastbar sind.⁸⁷

Balkenförmige Holzwerkstoffe, die aus mehreren faserparallel verklebten Furnierschichten bestehen, werden als Furnierschichtholz oder Laminated Veneer Lumber (LVL) bezeichnet. Die einzelnen Furnierlagen bilden dicht schließende Schäftungsfugen, die in Abständen von mindestens 150 mm angeordnet sind. Diese versetzte Schichtung der einzelnen Furniere gewährleistet eine statische Verteilung der produktionsbedingten Schwachstellen und der in den einzelnen Furnierschichten vorhandenen

⁸⁶ Vgl. Kerto Handbuch, 2000, S. 2ff

⁸⁷ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 67

Holzfehler, wie z.B. Äste oder Risse. Mittels dieses Verfahrens wird eine merkbare Verbesserung der Holzeigenschaften erreicht.

3.4.1 Herstellungsverfahren

Weltweit sind die USA der größte Produzent und auch Verbraucher von Furnierschichtholz, welches in Europa ausschließlich von der Fa. Finnforest hergestellt wird. Als Rohstoff für Kerto-Q und Kerto-S, die sich in der Ausrichtung der einzelnen Furnierlagen unterscheiden, werden Fichten- oder Kiefernrohschäfte verwendet. Während Kerto-S die gleiche faserparallele Anordnung der Furniere wie Microllam aufweist, besitzt Kerto-Q eine geringe Anzahl von Furnieren (ca. 20%), die mit ihrer Tracheidenstruktur rechtwinkelig zur Produktionsrichtung ausgerichtet sind. Aufgrund der unterschiedlichen Lagenorientierungen besitzen die beiden Produkte verschiedene Eigenschaften und werden unterschiedlich verwendet: Kerto-Q für plattenförmige und Kerto-S für stabförmige Anwendungen.

Die Furniere werden im Schälverfahren aus finnischem Fichtenstammholz hergestellt. Die beim Schälvorgang entstehenden dicht nebeneinander liegende feinen Risse bilden eine der Voraussetzungen für die Homogenität des fertigen Baustoffs, welche die volle Durchtränkung jeder Plattendicke mit Holzschutzmitteln ermöglicht.



Abb. 3-19: Kerto-Furnierschichtholz

Der Produktionsablauf beginnt mit dem Zuschneiden und Schälen der gewässerten maximal 75 cm dicken Rohschäfte auf eine Länge von 1,8 m. Im Anschluss daran werden die 3,2 mm dicken Furniere, die nach der Verpressung nur mehr ca. 3 mm dick sind, auf gleiche Breiten geschnitten. Nach dem Trocknen der Schälurniere erfolgt die einseitige Beileimung mit einem Phenol-Formaldehyd-Harz-Leim. Anschließend werden die Furniere mit den geschäfteten Stößen im Abstand von mindestens 150 mm versetzt aufeinander geschichtet. Nach einer Vorpressung werden die Platten in der Heißpresse bei einer Temperatur von 140 °C und einem Druck von ca. 1,5 N/mm² verpresst. Schwindverformungen wie Verdrehungen und Risse sind bei sachgemäßer Anwendung nahezu ausgeschlossen. Die fertigen Furnierschichtholzplatten haben Abmessungen von 26 m x 1,8 m und Plattendicken von 21 mm bis 75 mm (Kerto-S) bzw. 27 mm bis 69 mm (Kerto-Q). Abschließend erfolgt als letzter Produktionsschritt die Besäumung und Ablängung der Platten.⁸⁸ Stöße und Verschnitte werden aufgrund der Fertigung im Endlosverfahren als homogene Platte reduziert und festigkeitsschwächende Keilzinkungen vermieden.

Aus dem plattenförmigen Werkstoff, der für Flächentragwerke (Platten, Scheiben) oder zugeschnitten als stabförmiger Bauteil verwendet wird, lassen sich andere Querschnittsformen und -abmessungen herstellen, die aus Vollholz nicht hergestellt werden können.

Kerto ist ein bautechnisches Konstruktionsholz, das als Balken, Stütze, Platte oder Scheibe in verschiedensten Tragwerken eingesetzt werden kann. Durch die Eigenschaften von Kerto ergeben sich völlig neue Konstruktionsmöglichkeiten beim Bau von weitgespannten Tragwerken. Kerto eignet sich auch bestens als Rohmaterial für die Weiterverarbeitung zu anderen Produkten, bei denen stabile Elemente mit großen Abmessungen benötigt werden.⁸⁹

⁸⁸ Vgl. Brauer, 2008, S. 81ff

⁸⁹ Vgl. Kerto Handbuch, 2000, S. 4

Kerto-Furnierschichtholz ist ein außergewöhnlich fester Holzwerkstoff aus Fichte, der mit allen üblichen Sägen, Hobel- und Schleifmaschinen bearbeitet und wie andere Hölzer oder Holzwerkstoffe angestrichen werden kann. Das geringe Gewicht von ca. 500 kg/m³ erleichtert Transport und Montage. Die Standardoberfläche besteht aus ungeschliffenen Fichtenschäl furnieren, die alle in regelmäßigen Abständen eine dunkle Schäftungsfuge aufweisen.

Kerto-Furnierschichtholz – Oberflächen:



Abb. 3-20: Links Vorderseite Deckfurnier ungeschliffen, rechts Vorderseite Deckfurnier geschliffen



Abb. 3-21: Links Rückseite Deckfurnier ungeschliffen, rechts Rückseite Deckfurnier geschliffen

Durch ausgesuchte Deckfurniere und durch Schleifen der Oberfläche sind die Fugen nahezu unsichtbar.⁹⁰

⁹⁰ Vgl. Kruse/Venschott, 2001

Kerto mit seiner wasserbeständigen Verleimung kann, wenn erforderlich, im Kesseldruckverfahren für Anwendungen im Freien oder in feuchten Umgebungen komplett durchimprägniert werden. Bei Feuchteeinwirkung können sich bei geschliffenen Platten im Stoßbereich der Deckfurniere die Schäftungen nachträglich aufstellen.



Abb. 3-22: Kerto-Platten in der Praxis

Wie Fichtenholz können sich Kerto-Furnierschichtholzplatten, die nicht gegen UV-Einstrahlung und/oder Feuchtigkeit geschützt sind, verfärben und auch vergrauen.

3.4.2 Holzarten

Kerto-Platten werden aus Fichtenstammholz hergestellt. Die für die Fichte charakteristische sternförmige Anordnung der Äste am Stamm bewirkt ein häufiges Vorkommen der Äste beim Schälen im Furnier. Die Sortierung der Furniere erfolgt nach der Festigkeit und nicht nach optischen Gesichtspunkten wie Maserung etc. Bei den Platten mit „ausgesuchten Deckfurnieren“ können die Astigkeit, Farbe und Maserung der Furniere der Platten gemäß den natürlichen Schwankungen variieren.⁹¹

⁹¹ Vgl. Kruse/Venschott, 2001

3.4.3 Holzverbindungen

Die Schäftung oder Schäftungsverbindung ist eine Klebverbindung zur Herstellung tragender faserparalleler Längsstöße in Bauteilen aus Furnierschichtholz sowie Vollholz, Brettschicht- und Balkenschichtholz (DIN 1052: 2004-08). Sie wird überwiegend nur bei dünnen Holzbauteilen wie Holzlamellen und Furnieren verwendet, da sie schwieriger auszuführen ist als die Keilzinkenverbindung. Die Schäftung darf nur von Betrieben mit einem entsprechenden Nachweis der Eignung zum Kleben tragender Holzbauteile hergestellt werden.

Bei der Schäftung werden die zu verbindenden Hölzer unter einem „flachen“ Winkel α zwischen Klebfuge und Faserrichtung des Holzes angeschnitten und miteinander verklebt; die Klebflächenneigung darf $h/l \leq 1/10$ ($\alpha \leq 5,7^\circ$) nicht überschreiten. Um möglichst kleine Quer-(Zug-)spannungen in der Klebfläche zu erzielen, ist es sinnvoll, eine sehr „flache“ Ausführung der Schäftung zu wählen. Da eine Klebfläche überwiegend auf Abscheren beansprucht und diese Beanspruchung möglichst von kleiner Größe sein soll, kann eine standsichere Kraftübertragung nur unter einem kleinen Neigungswinkel α erfolgen.

Als Nachweis der Tragfähigkeit von Schäftungen gelten die Bemessungswerte der ungeschwächten Stoßteile. Werden Holzbauteile ungleicher Festigkeiten miteinander verbunden, gilt der Bemessungswert der geringeren Festigkeit. Bauteile mit Schäftungen dürfen nur in Nutzungsklasse 1 und 2 eingesetzt werden.⁹²

Zur Herstellung von Holzverbindungen mit Kerto-Furnierschichtholz dürfen nur Stabdübel, Bolzen, Nägel, Schrauben, Klammern und Einlassdübel des Typs A unter Beachtung der Einschränkungen der Zulassung verwendet werden (DIN 1052: 2004-08). Einlassdübel des Typs A dürfen dabei in den Stirn-, Schmal-

⁹² Vgl. www.proholz.at, 2010

und Deckflächen des Kerto-S- und Kerto-Q-Furnierschichtholzes angeordnet werden. Dagegen sind Stabdübel, Bolzen, Nägel und Schrauben nur in den Schmal- und Deckflächen von Kerto-S zulässig. Bei Kerto-Q dürfen Stabdübel und Bolzen nur in den Deckflächen, Nägel und Schrauben in den Schmal- und Deckflächen des Furnierschichtholzes angeordnet werden. Klammern sind bei beiden nur in den Deckflächen zulässig.⁹³

Mechanische Verbindungen mit eingeklebten Stahlstäben, die bei FSH mit Querlagen ebenso angewendet werden wie bei Brettschichtholz, übertragen in Richtung der Stahlstab-Längsachse Zug- oder Druckkräfte und können quer zur Stahlstab-Längsachse auf Abscheren beansprucht werden. Die Stahlstäbe können in der Faserrichtung und senkrecht zur Faserrichtung des Holzes eingeklebt werden. Es können Gewindestangen mit metrischem Gewinde oder Betonrippenstähle mit Nenndurchmessern $8 \text{ mm} \leq d \leq 30 \text{ mm}$ verwendet werden. Vor dem Verkleben werden die Bohrlöcher mit Pressluft gereinigt und danach die sauberen und entfetteten Stahlstäbe eingesetzt. Dann wird der Kleber injiziert, wobei darauf zu achten ist, dass der Hohlraum zwischen Stahlstab und Bohrlochwand vollständig mit Kleber ausgefüllt ist. Eingeklebte Stahlstäbe als Verbindungsmittel sollten nur in den Nutzungsklassen 1 und 2 angewendet werden, bei einem Einsatz in Nutzungsklasse 3 ist in jedem Fall ein baulicher Holzschutz vorzusehen wie zum Beispiel in Form einer Polyurethan-Beschichtung, die bei der Holzkonstruktion des Metropol Parasol in Sevilla aufgebracht wurde.⁹⁴

3.5 Holzschutz

Holz und Holzwerkstoffe sind gegen bestimmte Schadeinflüsse durch Organismen (Pilze, Insekten), Feuer, Witterung, chemische und mechanische Beanspruchungen sowie Verschmutzung zu schützen um eine dauerhafte

⁹³ Vgl. www.lga.de

⁹⁴ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 283-285

Nutzung von Holzbauteilen/-werken sicherzustellen. Die Dauerhaftigkeit metallischer Bauteile und Verbindungsmittel wird durch den Korrosionsschutz gewährleistet.

Die Dauerhaftigkeit eines Tragwerks ist seine für eine vorgegebene Nutzungsdauer angemessen dauernde Funktionstüchtigkeit unter Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen sowie eines entsprechend vertretbaren Instandhaltungsaufwandes. Dazu gehören Maßnahmen zum Schutz der Baustoffe und der Baukonstruktion, eventuell auch chemische Schutzmaßnahmen und Oberflächenschutz (DIN 1055-100: 2001-03).

Der chemische Holzschutz beinhaltet vorbeugende Maßnahmen gegen Gefahren von Bauschäden durch Holz zerstörende Insekten und Pilze sowie durch Auswaschungen und Moderfäule (DIN 68 800-3). Bei einer Holzfeuchte von über 20% sind Oberflächenanstriche zumeist langfristig wirkungslos. Dampfsperrende Beschichtungen können Holz durch erhöhte Feuchteansammlung unterhalb des Anstriches gefährden. Auswaschungen des Holzschutzmittels entstehen durch Niederschläge, Spritzwasser etc. und nicht durch temporäres Tauwasser oder Reif. Die Ursache von Moderfäule ist ständiger Erd- oder Wasserkontakt sowie erhöhte Schmutzablagerung in Rissen, Spalten und Fugen von Außenbauteilen.

Für tragende und aussteifende Holzbauteile ist im Allgemeinen ein vorbeugender chemischer Holzschutz durch zugelassene Holzschutzmittel mit Prüfzeichen erforderlich (DIN 68 800). Dieser kann entfallen, wenn durch bauliche Schutzmaßnahmen eine unzulässig hohe Feuchtebeanspruchung verhindert oder/und ein unkontrollierter Insektenbefall ausgeschlossen werden kann.

Holzschutzmittel enthalten biozide Wirkstoffe zum Schutz des Holzes gegen Holz zerstörende Pilze und Insekten, das heißt, die meisten Schutzmittel sind giftig für Menschen, Nutztiere und Umwelt. Die Wirksamkeit chemischer Holzschutzmaßnahmen ist von der Wahl eines geeigneten Holzschutzmittels

und Einbringverfahrens ebenso abhängig wie von der Holzart, Holzfeuchte und auch Oberflächenbeschaffenheit. Dazu gehören drucklose Verfahren (Streichen, Spritzen, Tauchen), Druckverfahren (Voll-, Wechseldruck- und Vakuumtränkung), Langzeitverfahren (Trogränkung) und Sonderverfahren (Bohrlochtränkung, Diffusion). Die Eindringtiefe ist je nach Einbringverfahren und Holzart unterschiedlich. Laubholz hat eine größere Aufnahmefähigkeit als Nadelholz, Splintholz eine größere als Kernholz, dagegen sind Fichte und Douglasie nur schwer imprägnierbar. Die Feuchteaufnahmefähigkeit oder Imprägnierbarkeit von Bauholz und dessen Dauerhaftigkeit bestimmen wesentlich die Nutzungsdauer ungeschützter Holzbauteile.

Oberflächenbehandlungen wie Anstriche und Beschichtungen von Holzbauteilen gehören nicht zum Holzschutz, sie sind zwischen Bauherrn und Auftragnehmer zu vereinbaren (DIN 68 800). Durch geeignete Anstriche kann eine schützende Wirkung gegen Feuchtigkeit, Insekten, Schimmelpilzbefall, Verfärbung und auch Verschmutzung erreicht werden. Eine Oberflächenbehandlung besteht aus einem Grundier-, einem oder mehreren Zwischen- und einem Deckanstrich (Dünn- oder Dickschichtlasuren oder deckende Lacke). Der Grundanstrich bereitet die Holzoberfläche vor und kann auch fungizid wirksam sein.

Durch nachträgliche Beschädigungen der Anstriche können die oben angeführten schützenden Wirkungen verloren gehen. Zum Beispiel bei Feuchte beanspruchten Holzbauteilen besteht die Gefahr, dass Feuchte in tropfbarer Form eindringt und aufgrund der in anderen Bereichen noch intakten Beschichtung kaum wieder austrocknen kann. Aus diesem Grund ist eine Nachbehandlung bei feuchtigkeitsbeanspruchten Holzbauteilen in Zeitabständen sinnvoll.⁹⁵

Bei Furnierschichtholz sind Holz zerstörende Insekten kein Problem, da infolge der feinen Lamellierung und dem weitgehenden Fehlen großer Risse keine

⁹⁵ Vgl. Ambrozy/Giertlová, 2005, S. 46-54

Möglichkeit der Eiablage und der Entwicklung der Larven gegeben ist. Schutz vor Luftfeuchte ist erforderlich, da Feuchte zu Schwinden und Quellen führt und in weiterer Folge Rissbildungen verursachen kann. Außenanstriche (Beschichtungen) bei Furnierschichtholz dienen zum einen dem Feuchteschutz gegen Schlagregen wie auch gegen Luftfeuchte, zum anderen dem Schutz vor UV-Strahlung.

Die natürliche „Alterung“ des äußeren Erscheinungsbildes einer Oberfläche bringt eine von den Witterungseinflüssen abhängige Vergrauung und ein damit verbundenes Rauwerden mit sich. Durch die Bewitterung öffnen und schließen sich Schälrisse an der Oberfläche, was im Laufe der Zeit dazu führt, dass das Material „ruppiger“ wirkt. Daher muss ein genügend feuchteabweisendes und elastisches Anstrichsystem verhindern, dass trotz des „Arbeitens“ die Furniere auf dem Untergrund haften und nicht abblättern. Zum Schutz der Oberfläche gegen Risse, Bläue, Vergrauung etc. sind zusätzliche Anstriche mit Lasuren oder deckenden Beschichtungen erforderlich. Anstrich und Imprägnierung müssen jedoch aufeinander abgestimmt sein, da es zu Unverträglichkeiten zwischen den Bestandteilen kommen kann. In den Fällen, wo ein baulich konstruktiver Holzschutz zur Erreichung eines dauerhaften Schutzes nicht ausreicht, kann Furnierschichtholz mit einem Holzschutzmittel effizient imprägniert werden (DIN 68 800-3).⁹⁶

Beim Projekt Metropol Parasol besteht der Holzschutz der Furnierschichtholz-Elemente aus einer vollflächig haftenden, diffusionsoffenen, sandfarbenen und 3 mm dicken Polyurethan-Spritzbeschichtung (flüssige Folienbeschichtung), die vor Ort aufgebracht wird. Diese ist wurzelfest und geht einen festen Verbund mit der Unterlage ein. Die Vorimprägnierung der Elemente erfolgt werkseitig in einer speziellen Hochdruckkammer. Eventuelle Beschädigungen beim Einbau können vor Ort nachbearbeitet werden, was aber optisch wahrnehmbar ist. Über einen Temperaturbereich von - 30° C bis + 80° C verhält sich diese Beschichtung dauerelastisch.

⁹⁶ Vgl. Kerto Handbuch, 2000, S. 2

Holz bzw. Holzwerkstoffe sollten nur bis zu einer Feuchte von max. 12% beschichtet werden. Die Lufttemperatur muss mind. 10° C betragen. Um eine ausreichende Haftung im Bereich von Kanten zu gewährleisten, sollte eine Fase, bzw. Rundung von 3 mm bis 5 mm vorgesehen werden.

Der erste Schichtauftrag besteht aus einem Haftgrund, der je nach Materialuntergrund verschieden sein kann. Grundsätzlich ist die Polyurethan-Beschichtung (Dehnfähigkeit bis zu 400%) rissüberbrückend. Bei einem Materialwechsel mit unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten nimmt ein eingearbeitetes Dehnungsband die Verformungen auf. Nach dem Aufbringen des Haftgrunds wird erfolgt die ca. 3 mm dicke eigentliche Abdichtung in einem Arbeitsgang maschinell aufgespritzt. Die Haltbarkeit dieser Beschichtung übertrifft nach Herstellerangaben die von konventionellen Abdichtungsbahnen. Wird die Beschichtung nicht abgedeckt und somit einer UV-Strahlung ausgesetzt, ist eine zusätzliche UV-Schutzversiegelung notwendig. Der UV-Schutz muss alle 10 Jahre erneuert werden, wozu eine Reinigung der alten Beschichtung, das Auftragen eines Haftvermittlers und eine anschließende Neuversiegelung erforderlich sind.⁹⁷

3.6 Korrosionsschutz

Ein geeigneter Korrosionsschutz stellt die dauerhafte Tragfähigkeit von Verbindungsmitteln während der Nutzungsdauer eines Holzbauwerkes sicher. Als geeignete Maßnahmen gegen Korrosion sind Beschichtungen, Metallüberzüge oder korrosionsbeständiges Metall anzusehen. Hölzer, die mit chemischen Holzschutzmitteln imprägniert sind, können den Korrosionsschutz metallischer Bauteile herabsetzen und diese korrodieren, weshalb die Mindestanforderungen für mäßige Korrosionsbeanspruchung eingehalten werden und die Verträglichkeit von Holz- und Korrosionsschutzmitteln überprüft werden sollte (DIN 1052: 2004-08). Korrosion kann auch durch den Kontakt mit

⁹⁷ Vgl. Zukunft Holz, 2010, S. 1016

bestimmten gerbstoffreichen Hölzern wie zum Beispiel bei der Douglasie entstehen.⁹⁸

⁹⁸ Vgl. Neuhaus, 2009, S. 67

4. PROJEKTE

Centre Pompidou - Metz / Frankreich

Golf Resort - Yeosu / Südkorea

Metropol Parasol - Sevilla / Spanien

Die in dieser Arbeit vorgestellten Projekte bestehen hauptsächlich aus Freiform-Holzkonstruktionen, deren Herstellung und Fertigung das Ergebnis digitaler Holzbearbeitungsmaschinen sind. Auf die Dokumentation der beiden von Shigeru Ban entworfenen, aus Brettschichtholz hergestellten Bauten in Metz/Frankreich (Museum) und Yeosu/Süd-Korea (Golfklub), folgt eine Dokumentation der von Jürgen Mayer H. geplanten und aus Furnierschichtholz hergestellten Marktplatzüberdachung Metropol Parasol in Sevilla/Spanien.

4.1 Centre Pompidou - Metz / Frankreich

Metz ist die Hauptstadt der Region Lothringen, liegt ca. 400 km von Paris entfernt und ist mit diesem Museumsbau um eine herausragende kulturelle Einrichtung reicher. Deutschland, die Schweiz und Luxemburg sind nicht weit weg und der neue TGV Est Européen schafft die Strecke Paris – Metz in weniger als eineinhalb Stunden. Diese erste kulturelle Dezentralisierung ist ein Trumpf für Metz und es kann damit gerechnet werden, dass Lothringen außer den französischen Besuchern auch Gäste aus Ost- und Nordeuropa anziehen wird.⁹⁹

Als Ort der Errichtung des Centre Pompidou - Metz wurde das Quartier de l'Amphithéâtre festgelegt, das sich auf dem Gelände des ehemaligen Güterbahnhofs und damit an einer Schlüsselstelle des Strassen- und Wegenetzes im Großraum Metz befindet. Hier führen zwei Hauptstraßen unter dem Schienennetz in Richtung Stadtzentrum und ermöglichen zugleich die südliche Zufahrt zum Bahnhof.

⁹⁹ Vgl. Communiqué de Presse



Abb. 4-1: Situation im Quartier de l'Amphithéâtre

Aus diesem Grund wurde diese strategische Lage auch für die Errichtung des Projektes bestimmt. Hier wird ein mit dem alten Zentrum verbundenes, vielseitiges Stadtviertel mit einer neuen kulturellen Einrichtung entstehen.

Das Centre Pompidou – Metz wird keine eigenen Werke besitzen oder erwerben, sondern sich auf die Bestände des Centre Pompidou – Paris stützen, die im Rahmen von speziell für Metz konzipierten Ausstellungen oder Veranstaltungen gezeigt werden. Es soll den ursprünglichen Auftrag des Centre Pompidou weiterführen, nämlich die Vorstellung und Einführung in sämtliche künstlerischen Ausdrucksformen, das Heranführen einer möglichst breiten Öffentlichkeit an die wichtigsten Werke des 20. und 21. Jahrhunderts und die Einpassung in die europäische Kulturlandschaft als führendes Ausstellungszentrum und Stätte der künstlerischen Initiativen sowie Ausdruck der zeitgenössischen Kunstproduktion.¹⁰⁰

Um der Öffentlichkeit die Möglichkeit zu geben, das Projekt während der Bauzeit mitverfolgen zu können, wurde vor Ort das Projekthaus im Quartier de l'Amphithéâtre eingerichtet. Es fungierte als Informationszentrum und gab den Interessierten bei freiem Zugang Gelegenheit, sich in allen Einzelheiten mit der Architektur der in Metz entstehenden Kulturstätte vertraut zu machen. Den

¹⁰⁰ Vgl. Centre Pompidou - Metz

Besuchern wurden hier Modelle, Pläne, Zeichnungen, perspektivische Darstellungen, sowie Multimedia-Präsentationen gezeigt, um ihnen die ausdrucksvolle Architektur nahe zu bringen. Das Projekthaus wurde ebenfalls von den beiden Architekten entworfen. Eine Außen-Treppe führte auf eine Aussichtsplattform auf dem Dach des Projekthauses von der man den Fortgang der Bauarbeiten mitverfolgen konnte.¹⁰¹

Im März 2003 wurde der internationale Architekturwettbewerb für ein neues Museumsgebäude in Metz ausgeschrieben. Aus 157 eingegangenen Projekten wurden sechs für die engere Wahl bestimmt und schließlich dem japanischen Architekten Shigeru Ban zusammen mit dem französischen Architekten Jean de Gastines einstimmig der Zuschlag erteilt. Am 12. Mai 2010 wurde diese Filiale des Centre Pompidou – Paris eröffnet.



Abb. 4-2: Gesamtansicht

Projektdate:

Bauherr:	Stadt Metz
Architektur:	Shigeru Ban, Tokio & Jean de Gastines, Paris
Funktion:	Museum: Ausstellungsräume, Ateliers, Konferenzräume, Büros und ein Restaurant
Nutzfläche:	10.700 m ² , davon 5.000m ² Ausstellungsfläche

¹⁰¹ Vgl. Le Magazine des Centre Pompidou-Metz, 2006, S. 3

Baubeginn:	2006
Fertigstellung:	2010
Dachfläche:	8.500 m ²
Tragwerksentwurf:	Ove Arup & Partners
Tragwerksplanung:	Création Holz GmbH
Konstruktionstyp:	Dreidimensionaler Rahmen
Geometrieaufbereitung:	iCapp
CAD-Tools:	designtoproduction
Struktur:	Gitterstruktur aus Brettschichtholz in sechs Trägerlagen
Dachhaut:	Teflon beschichtete Glasfaserfolie
Ausführung:	Holzbau Amann GmbH
Baukosten:	ca. 69 Millionen Euro, davon 51 Millionen Baukonstruktion

4.1.1 Architektonisches Konzept

Shigeru Ban und Jean de Gastines wollten mit ihrem Entwurf ein nach allen Seiten offenes Bauwerk entwickeln, das im Rahmen des Möglichen ohne Barrieren auskommt, die den Innen- vom Außenbereich trennen, es sollte ein Gebäude als natürliche Verlängerung des öffentlichen Raums entstehen. Aus diesem Grund kann die Fassaden-Glaskonstruktion im Eingangsbereich zum Forum hin komplett geöffnet werden. Die vollständig aus Brettschichtholz hergestellte Dachkonstruktion besteht aus sechseckigen Modulen in sechs Lagen und ist mit einer wasserdichten, transluzenten Membran überzogen. Unter dieser Dachkonstruktion überlagern sich drei Galerien als Ausstellungsflächen (jeweils 85 Meter lange rechteckige Stahlbetonröhren), die sich in Form eines Parallellachs kreuzen. Unter diesen Galerien befindet sich das offene Forum, mit bis zu 21 Metern Höhe, das den Kommunikationsmittelpunkt im Erdgeschoss bildet.¹⁰²

¹⁰²Vgl. Le Magazine des Centre Pompidou-Metz, 2006, S. 4

„Das Balkenwerk orientiert sich in der Horizontalen, Vertikalen und in der Drehung“ sagt Jean de Gastines. „Das ist unglaublich schwer zu berechnen und sehr kompliziert zu bauen. Kein französisches Unternehmen hat sich an dieses Abenteuer gewagt, allein die deutsche Spezialfirma Amann war dazu bereit.“

Die Elemente der Dachkonstruktion wurden am Boden vormontiert, mit Kränen angehoben und mit hydraulischer Unterstützung in die richtige Position geschoben. Die gesamte Konstruktion stützt sich auf vier Säulen aus wetterbeständigem Lärchenholz, deren organisches Geäst wie mächtige Tulpensträuße wirken.

Jean de Gastines, der die Arbeit mit seinem „genialen Kollegen“ Shigeru Ban als symbiotisches Zusammenwirken beschreibt, meint, dass das Bauwerk so wie geplant gebaut werden konnte, einzig und allein das Restaurant musste aufgrund von zu kostspieligen Sicherheitsauflagen vom Dachgeschoß in 21 Metern Höhe in den ersten Stock verlegt werden.¹⁰³

4.1.2 Beschreibung des Bauwerks

Das Gebäude wird wie ein Ufo wirken, eingeflogen aus einer neuen Welt, wie von einem Maler in die Landschaft komponiert mit einem riesigen, gewölbten Dach, das aus der Ferne aussehen wird, als sei es aus Papier und in der Nacht wie ein beleuchtetes Zelt wirken wird. Die Sechsecke der Holzstruktur erinnern zwar an die Form von Davidsternen, aber eigentlich wurde Shigeru Ban durch einen Hut zu diesem Bau inspiriert. Diese chinesische Kopfbedeckung hat er vor vielen Jahren in einem kleinen Geschäft in Paris erstanden und war so fasziniert von der einfachen und natürlichen Struktur des handgemachten, stabilen aber trotzdem flexiblen Geflechts, dass er beschloss die

¹⁰³ Vgl. Simons, 2009, S. 2

Dachkonstruktion des Centre Pompidou in Metz dieser Form nachzuempfinden.¹⁰⁴

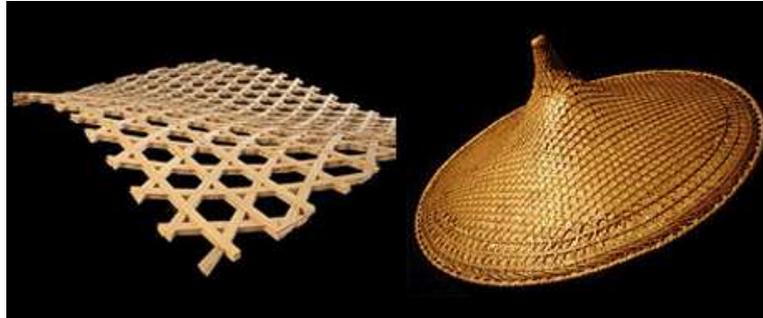


Abb. 4-3: Netzstruktur des Daches (links) und ein chinesischer Hut als Modell für die Dachkonstruktion (rechts)

„Shigeru Ban Architects Europe“ arbeiteten an diesem Metzger Projekt in einem Büro in Paris, das sich im sechsten Stock des „Original“ Centre Pompidou befindet, das von Renzo Piano vor 30 Jahren gebaut wurde. Shigeru Ban hat mit Renzo Pianos Erlaubnis sein Büro für die architektonische Abwicklung dort eingebaut.¹⁰⁵



Abb. 4-4: Büro Shigeru Ban im 6. Stock des Centre Pompidou in Paris

Es handelt sich hier um einen vorübergehenden Bürobau, um das Architekten-team während der Arbeiten am Centre Pompidou – Metz zu beherbergen. Der

¹⁰⁴ Vgl. Meister, 2009

¹⁰⁵ Vgl. Schaefer, 2009

Bau ist 36,5 m lang und 4,4 m breit, ist wie eine Röhre ausgebildet mit einem tonnenförmigen Dach und mit einer membranartigen Folie überzogen. Er ist jenem Struktursystem aus Papprollen nachempfunden, das Shigeru Ban schon beim Bau des japanischen Pavillons auf der Weltausstellung 2000 in Hannover verwendet hat.¹⁰⁶

Das Centre Pompidou – Metz besteht aus einer weitläufigen modularen Struktur mit einer 77 Meter hohen Spitze in der Mitte, welche ein Hinweis auf das Eröffnungsjahr des Centre Pompidou in Paris im Jahr 1977 sein soll. Von oben betrachtet bildet das Dach ein Sechseck mit einer Breite von 90 Metern. Die Architekten wollten mit dem sechseckigen Grundriss die Form der Außengrenzen Frankreichs (ein Hexagon) nachvollziehen.

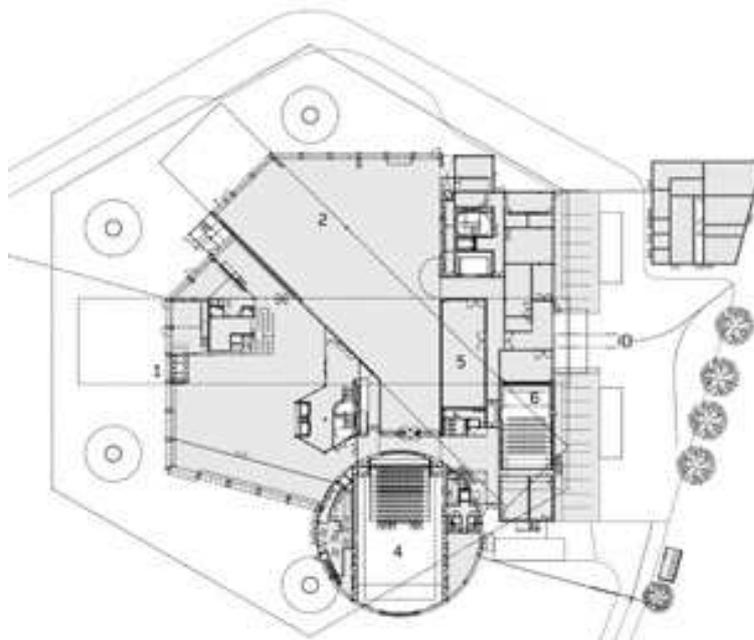


Abb. 4-5: Erdgeschoss (Ebene $\pm 0,00$)

1 Entrée	4 Studio de Création
2 Halle	5 Lager
3 Café	6 Auditorium

Das Gebäude ist im Wesentlichen in vier Ebenen gegliedert: das Erdgeschoß in der Ebene $\pm 0,00$ m mit der großen Halle, das erste Obergeschoß in der Ebene $+7,00$ m mit dem Restaurant, das zweite Obergeschoß in der Ebene $+14,57$ m

¹⁰⁶ Vgl. Communiqué de Presse

mit den Büroräumen und das dritte Obergeschoß in der Ebene +22,14 m mit dem Gebäudetechnikraum. Von der gesamten Nutzfläche von 12.500 m² sind für die eigentliche Präsentation der Ausstellungsstücke gesamt 5.000 m² in den drei Obergeschoßen vorgesehen. Die größten Ausstellungsflächen befinden sich in den drei 85 Meter langen Galerien, die sich im ersten, zweiten und dritten Obergeschoß befinden. Sie gehören zu den wichtigsten Elementen des Gebäudes. Daneben gibt es in jedem Geschoß weitere Möglichkeiten für Ausstellungen in den anderen Räumen. Der Haupteingang befindet sich auf der Westseite, gegenüber dem Vorplatz, von wo aus die verschiedenen Empfangs- und Ausstellungsräume zu erreichen sind. An der Ostseite befinden sich die Verwaltung und sämtliche Einrichtungen für die Annahme und Konservierung der Werke. Im Erdgeschoss befinden sich außerdem die Zugangskontrollen, der Buchladen, das Dokumentationszentrum und der Betreuungsraum für Besuchergruppen.

Beim Betreten des Forums richtet sich der Blick automatisch auf das Hauptschiff, in dem außergewöhnliche, großformatige Werke ausgestellt werden sollen, die in anderen französischen Museen wegen ihrer Größe nicht präsentiert werden können.



Abb. 4-6: Forum

Das bemerkenswerte Volumen des Hauptschiffes mit seiner Höhe von 21 Metern und die Vielfalt der Ausstellungsbereiche, in denen große Freiflächen mit Bereichen zum Verweilen wie Skulpturengärten, Terrassen und

Galeriedächern abwechseln, bieten Raum für Erholung und können auch zu Überraschungen durch nicht erwartete Ausblicke führen.

Vom Forum aus gelangt man direkt in ein Auditorium mit 144 Plätzen sowie in das Studio de Création, einem runden Mehrzweckbau an der Südseite des Gebäudes, der für Veranstaltungen mit bis zu 200 Personen und aber auch für Ausstellungen genutzt werden kann. Die oberen Stockwerke sind über einen markanten Turm zu erreichen, in dem eine Treppe und zwei Aufzüge untergebracht sind. Von dort gelangt man in das Café-Restaurant mit einer Terrasse auf dem Dach des Studios de Création und in die jeweiligen großen Ausstellungsgalerien.

Diese Ausstellungsgalerien sind in drei 85 m langen, 14 m breiten und 5 m hohen übereinander platzierten Röhren, die gegeneinander jeweils um 45° versetzt sind in den Geschoßen eins bis drei untergebracht. Sie sind als Ausstellungsflächen besonders geeignet weil sie ohne jegliche Trägerkonstruktion im Innenbereich auskommen. Sie bieten zusätzlich eine weitere Attraktion, da der Besucher durch die großflächigen Verglasungen an

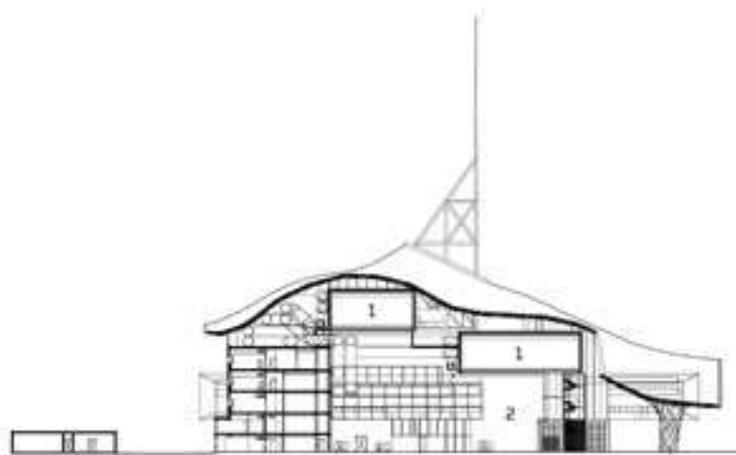


Abb. 4-7: Centre Pompidou - Metz, Schnitt 1 Ausstellung 2 Halle

den Enden der Galerien ausgewählte Ausblicke und Panoramaansichten von der Stadt Metz, vom Bahnhof der Hochgeschwindigkeitsstrecke und vom direkt

vor dem Centre Pompidou liegenden Seille – Park genießen kann und das in sechs Richtungen und aus drei verschiedenen Höhenlagen.¹⁰⁷

4.1.3 Konstruktionsdetails

Um das Centre Pompidou in Metz errichten zu können, mussten aufgrund des nicht sehr tragfähigen Untergrunds vor der Betonierung der Bodenplatte 400 Betonpfeiler gesetzt werden.

Im Wesentlichen besteht das Objekt aus drei Baustoffen: die drei Galerien, das Nebengebäude für die Logistik, sowie Lager und Verwaltung sind aus Stahlbeton. Der Stiegenhaus-Turm im Zentrum des sechseckigen Grundrisses ist eine Stahl-Konstruktion. Mit Treppen und Aufzügen verbindet er die drei übereinander geschobenen Ausstellungshallen. Überragt wird er von einer Stahlspitze von 77 Metern Höhe. Die überwiegend aus Brettschichtholz der Festigkeitsklasse GL24h¹⁰⁸ hergestellte Dachkonstruktion aus Fichtenlamellen ist mit einer Glasfaserfolie, die mit Teflon beschichtet ist, überzogen. Durch dieses Material wird der notwendige Witterungsschutz gewährleistet und ein natürlich temperiertes Umfeld im Gebäudeinneren erreicht. Diese transparente 8.500 m² große, unregelmäßig geschwungene Dachhaut lässt tagsüber 15 Prozent des Lichtes durch und strahlt nachts als matt leuchtendes Zelt mit dem sich abzeichnenden Geflecht der darunter liegenden Holzkonstruktion.¹⁰⁹

Die Konstruktion des Holzdaches besteht aus einem Flechtwerk aus Brettschichtholz-Elementen, das aus sechs Trägerlagen besteht. Anders als Schalen- oder Membrankonstruktionen kann dieses Brettschichtholzgeflecht auch Biegemomente aufnehmen.

¹⁰⁷ Vgl. Le Magazine des Centre Pompidou-Metz, 2005, S. 4-6

¹⁰⁸ GL24h (glue laminated timber): BSH homogen (h) = Lamellen nur einer Sortierklasse, zul. Biegespannung 24 N/mm²

¹⁰⁹ Vgl. Simons, 2009, S. 1-2

Die Einzelhölzer aus verleimten Fichtenlamellen sind bis zu 14 m lang, sie haben eine Breite von 44 cm und sind 14 cm dick. Im fertig montierten Zustand werden diese Träger an den Knoten- bzw. Überlagerungspunkten mit Gewindestangen verbunden. Die Gewindestangen werden durch 15.000 verstärkende Nocken aus Furnierschichtholz geführt, die in die Brettschichtholzträger eingebaut werden. Für den festen Verbund der sechs Trägerlagen sorgen breite Unterlegbleche.



Abb. 4-8: Balkenlage mit Furnierschichtholz-Nocken und Scherblöcken

In jeder der drei Trägerrichtungen verlaufen zwei Träger, deren Achsen die obere und die untere Kante der „Leitfläche“ definieren, die an jedem Punkt immer senkrecht zur Dachreferenzfläche steht.

Zur Verstärkung der Holzknotten dienen zusätzlich 8.000 Schubverbinder, die ebenfalls aus Furnierschichtholz bestehen. Sie sind an jenen Stellen des sechslagigen Knotens platziert, an dem gerade kein Holzträger aufläuft. Die Längsverbinding der Elemente an den Stirnseiten wird durch eingezinkte Stahlbleche sichergestellt.



Abb. 4-9: Schlitz für die Montage der Stahlbleche

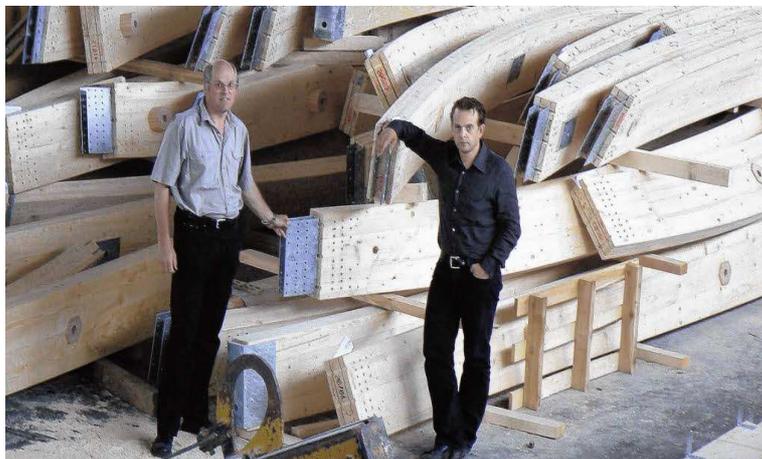


Abb. 4-10: Elemente mit eingezinkten Stahlblechen



Abb. 4-11: Stütze



Abb. 4-12: Stützenkomponenten

Das gesamte Dach ist ein gänzlich sich selbst tragendes Element, das von vier Stützen getragen wird.

Für die 8.000 m² große Dachkonstruktion wurden insgesamt etwa 1.000 m³ Lamellen aus Fichte auf einer Fünffachs-Abbundmaschine verarbeitet, über 1.790 Einzelhölzer wurden gefräst mit einer Gesamtlänge von 18.000 Laufmetern. Durch die hohe Präzision der Vorfertigung ist eine Nachbearbeitung der in Längsrichtung zumeist in zwei Richtungen geschwungenen Elemente oder gar ein Nachbiegen während der Montage nicht nötig. Außerdem kann auf Verleimungen auf der Baustelle vollständig verzichtet werden.

Ausführliche Versuche wurden mit dem Modell des Centre Pompidou-Metz durchgeführt, sogar im Windkanal wurde getestet und auch die Klima-, Schnee- und Windtests aus dem Jahr 2006 bestätigten die Standsicherheit der Dachkonstruktion.¹¹⁰



Abb. 4-13: Modell

¹¹⁰ Vgl. Klein, 2008, S. 24

Wie es in diesem Modellbild gut zu sehen ist fungieren als Stützen für die geschwungene 8.500 m² große Dachkonstruktion nur ein Metallturm in der Mitte mit der 77 m hohen Spitze und vier kegelförmige Säulen (die vierte Säule befindet sich auf der Rückseite). Auf der ganzen Welt gibt es nur einige wenige Projekte, die geometrisch so komplex sind wie dieses hier, aber keines besitzt eine derartige Holzstruktur.¹¹¹

4.1.4 Bauliche Umsetzung

Am Beginn der ingenieurmäßigen Bearbeitung des Wettbewerbsprojekts von Shigeru Ban & Jean de Gastines für das Centre Pompidou in Metz im Jahr 2003 bestanden die Ausgangsunterlagen aus einer Skizze einer verflochtenen hexagonalen Netzstruktur, die sich auf einem Sechseckgrundriss mit einer Diagonalen von 100 Metern aufbaute. Nur vier Stützen, die ebenfalls als verflochtenes Netz ausgebildet sind, sollten die Kräfte des geschwungenen zeltartigen Daches in die Fundamente leiten. Angesichts der großen Aussparungen im Netz durch die drei Galerien mit einer Breite von 14 Metern und einer Höhe von 5 Metern war von Anfang an unsicher, ob es gelingen würde, die Konstruktion mit den von Knoten zu Knoten verlaufenden Einzelstäben ins Gleichgewicht zu bringen. Eine wichtige Frage für Hermann Blumer war auch: wie kann die Geometrie der Fläche mathematisch exakt formuliert werden, wie dies für die statische Berechnung, die maßgenaue Herstellung und die schnelle Montage nötig sein würde? Das Projekt war anfangs auch durch Ungewissheiten blockiert, wie gegensätzliche Vorstellungen über die Geometrieerfassung, das anzunehmende statische Modell, die Herstellung der gekrümmten und verdrillten Holzbänder und die geeignete Verbindungstechnik. Der Montageablauf sollte möglichst konfliktfrei ablaufen und die Gerüstung sollte auf das Nötigste reduziert möglich sein. Es war auch unklar, wie die Membran gespannt und auf der Holzkonstruktion befestigt werden sollte. Hinzu kamen Überlegungen zur Verträglichkeit der

¹¹¹ Vgl. Le Magazine des Centre Pompidou-Metz, 2007, S. 5

darunter liegenden Beton- und Stahlkonstruktion mit den Elementen des Holzdaches.

Der wichtigste Punkt für die Ableitung aller geometrischen Daten war bei der Dachkonstruktion die mathematisch exakt definierte Masterfläche, die Mittelfläche der insgesamt 90 cm dicken Netzwerkkonstruktion. Mit den von Création Holz und designtoproduction generierten Programmen konnten Daten aus dieser Masterfläche in die Bereiche Statik, Fertigung und Montage vollzählig übertragen und in beide Richtungen genutzt werden. Änderungen in der Geometrie konnten daher dank der Digitalisierung jederzeit berücksichtigt werden. Die Schwierigkeit der statischen Berechnung bestand auch in der Menge der zu berechnenden 200 Lastfälle für 30.000 Knoten und 45.000 Stäbe und in der Wechselwirkung mit den Unterkonstruktionen in Stahl und Beton.

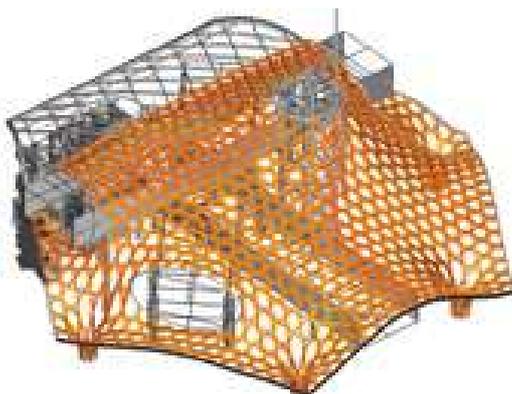


Abb. 4-14: Digitales Gesamtmodell der Statik

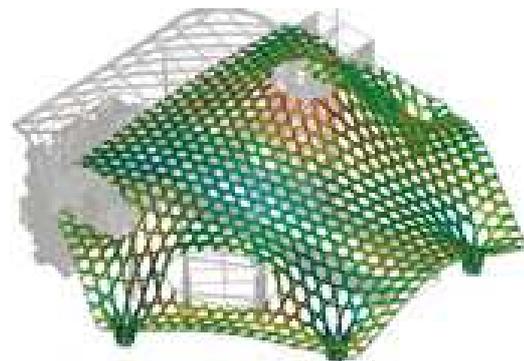


Abb. 4-15: Digitales Modell der Beanspruchungen der Stäbe

Hermann Blumer ist der Meinung, dass ohne das sehr detaillierte Tragwerk-Statikmodell es nicht möglich gewesen wäre, während des ganzen Projektverlaufs auf die ständig im Planungsumfeld auftauchenden Detailfragen Antworten zu liefern bzw. Lösungsvorschläge zu erarbeiten.

Bei der Montage bestand eine weitere Herausforderung darin, dass für das Verflechten der sechs Bänder und die Koppelung von jeweils vier sich treffenden Bändern eine neuartige Lösung gefunden werden musste.

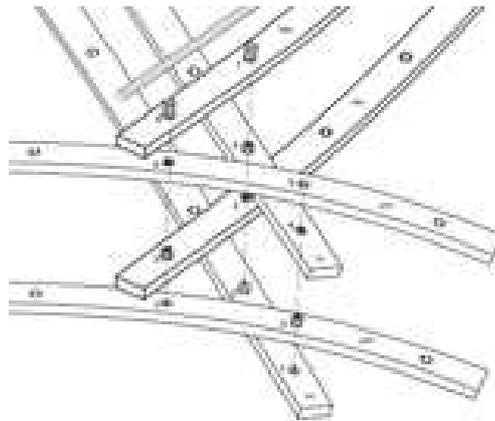


Abb. 4-16: Skizze der räumlichen Verbindung der sechs Holzbänder mit Dollen

Da die Bänder gekrümmt und verdreht sind, mussten die Verbindungen räumlich gedreht zurechtgelegt werden. Schließlich wurde die Variante mit selbstzentrierenden Dollen und einer lageweisen Montage gewählt. Damit war allerdings noch nicht geklärt, ob die Schnittkräfte übertragen werden könnten und wie steif diese Dollenknotenpunkte in sich und im Verbund sein würden.

Diese Fragen konnten dann nur durch die positiven Ergebnisse einer ausgedehnten Versuchsreihe an der Hochschule für Architektur, Bau und Holz in Biel beantwortet werden. Ohne diese Versuche hätte diese Dachkonstruktion des Centre Pompidou nicht verwirklicht werden können.¹¹²

Eröffnung am 12. Mai 2010

Mit der Eröffnung des Centre Pompidou im Mai 2010 als erste Außenstelle des Pariser Centre Pompidou in der französischen Provinz könnte Metz, ähnlich wie Bilbao durch das Guggenheim-Museum, zu einem kulturellen Anziehungspunkt werden. Dieses Museum soll die Zielsetzungen des Centre Pompidou - Paris verkörpern: Weltoffenheit, Vielfalt und Förderung der zeitgenössischen Kunst.

¹¹² Vgl. Blumer, 2010, S. 34



Abb. 4-17: Centre Pompidou – Metz vor der Eröffnung

Die Stadt Metz erhält mit dem Centre Pompidou die Chance, in den Rang einer großen europäischen Kulturmetropole aufzusteigen.¹¹³

4.2 Golf Resort - Yeosu / Südkorea

Die vom japanischen Architekt Shigeru Ban in Zusammenarbeit mit Kevin S. Yoon entworfene und im Februar 2009 fertig gestellte komplexe Dachkonstruktion des Klubhauses in Yeosu, eine Fahrstunde südlich von Seoul, ist der Mittelpunkt der privaten 18-Loch-Golfanlage und wie ein Baumbestand mit ineinander übergreifenden Kronen ausgebildet.

Die weitläufige Anlage besteht aus drei Gebäudekomplexen: einem großzügig angelegten dreigeschossigen Klubhaus für reguläre Mitglieder, dem Trakt für VIP-Mitglieder und den Empfangsräumen für VIP. Jeder Bauteil ist unterschiedlich geplant. Das baulich prägende Klubhaus besteht aus einer Holzkonstruktion, der VIP-Teil ist weitgehend eine Stahlkonstruktion und das VIP-Klubhaus besteht zum Teil aus Beton.¹¹⁴

¹¹³ Vgl. Le Magazine des Centre Pompidou-Metz, 2005, S. 1

¹¹⁴ Vgl. Blumer, 2010, S. 35

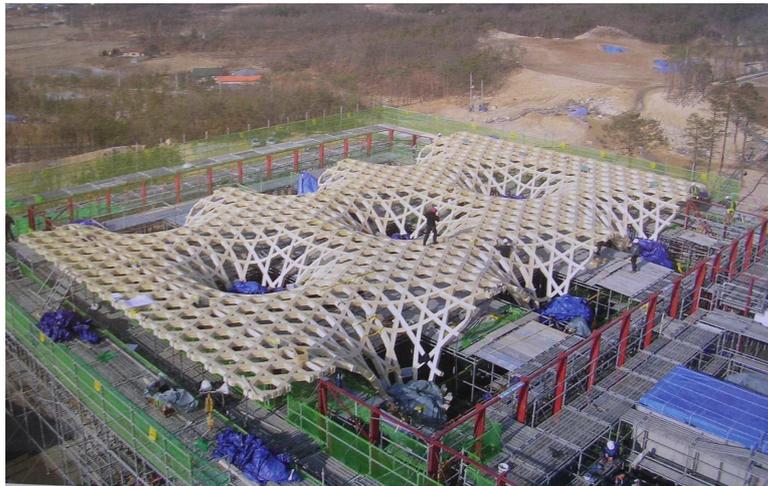


Abb. 4-18: Dachkonstruktion vor der Montage des Trägerrostes

Projektdate:

Bauherr:	Hasley-Nine Bridges Golfklub / Yeoju
Architektur:	Shigeru Ban, Tokio & Kevin S. Yoon, Seoul
Funktion:	Klubhaus
Baubeginn:	2008
Fertigstellung:	2009
Dachfläche:	2.600 m ²
Tragwerksplanung:	Création Holz GmbH
Konstruktionstyp:	Vernetztes, zweiseitig lastabtragendes Tragwerk
Geometrieaufbereitung:	iCapp
CAD-Tools	: designtoproduction
Struktur:	Hexagonale Flechtstruktur aus Brettschichtholz
Ausführung:	Blumer-Lehmann AG
Baukosten:	5 Millionen SFR (nur Blumer-Lehmann AG)

4.2.1 Architektonisches Konzept

Der Golfklub Hasley-Nine Bridges in Yeosu, Südkorea ist eine private 18-Loch-Anlage. Die Architekten Shigeru Ban und Kevin S. Yoon entwarfen für die Mitglieder des Golfklubs ein extravagant gestaltetes Klubhaus. Das Klubhaus ist das Herzstück der 18-Loch-Anlage und besticht durch seine Einzigartigkeit. Diese Golfanlage zählt zu den Top Ten der Welt und ist eine Anlage für die Reichen und Prominenten.

Aus ökologischen und bautechnischen Gründen setzte Shigeru Ban vor allem auf das Material Holz, wobei die Vorzüge des Materials und die Vorarbeiten in der Schweiz trotz des langen Transportweges überzeugt haben. Jeweils sieben baumförmige Säulen in drei Reihen tragen ein ca. 2.600 m² großes „Geflecht“ aus Trägern, die nicht in verschiedenen Ebenen wie beim Centre Pompidou - Metz verlaufen, sondern sich gegenseitig durchdringen. Die Dachkonstruktion basiert auf einem regelmäßigen Raster und ist aus fünf verschiedenen Typen von 9,00 m x 9,00 m großen Elementen zusammengesetzt.

Das die Anlage dominierende Klubhaus besteht aus einer Holzkonstruktion, die in ihrer Grundform auf das traditionelle koreanische, aus Holzspänen geflochtene, „bamboo wife“ genannte Sommerkissen zurückgeht.¹¹⁵



Abb. 4-19: Korean „bamboo wife“

¹¹⁵ Vgl. Antemann, 2009, S. 10

4.2.2 Beschreibung des Bauwerks

Die Räumlichkeiten des dreigeschossigen Klubhauses sind großzügig angelegt. Die Empfangshalle mit der Stiege, die in den offenen Bereich des ersten Obergeschoßes führt, ist der höchste Raum und erstreckt sich über die gesamte Gebäudehöhe von über 13 Metern.

Im Erdgeschoss befinden sich der Restaurantbereich, Konferenzräume, ein Spa-Bereich, kleine Appartements für Mitglieder und technische Räume sowie Küchen, Vorratsräume und Büros. Das erste Obergeschoß enthält weitere Räume des Spa, eine VIP-Lounge und Appartements. Im zweiten Obergeschoß befindet sich ein Aufenthalts- und Esssaal mit Bar. Von hier aus ist die Holzkonstruktion aus nächster Nähe zu sehen, deshalb wurde höchster Wert auf die Qualität der Detailausbildung und auf die Passgenauigkeit der Holzverbindungen gelegt. Die einzelnen vorgefertigten und auf der Baustelle als große Strukturen zusammengefügte Teile der Dachkonstruktion sollten sich wie ein Möbelstück in den darunter liegenden Bereich einfügen.



Abb. 4-20: Empfangshalle

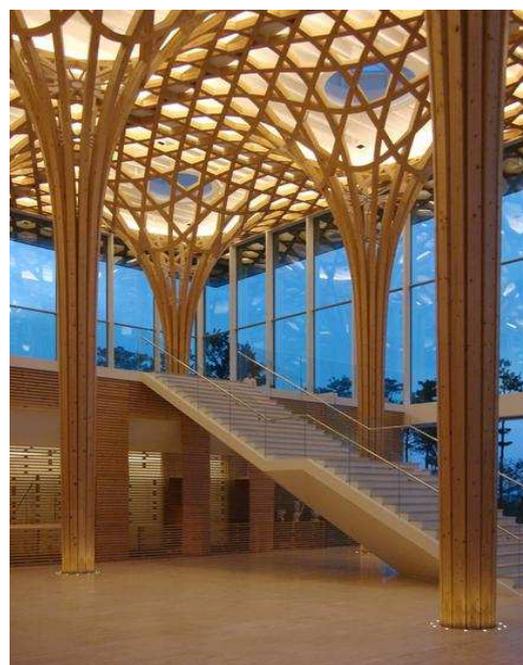


Abb. 4-21: Empfangshalle: Blick nach oben



Abb. 4-22: Aufenthaltsraum im 2. Obergeschoß

Die Dachkonstruktion des Klubhauses besteht ausschließlich aus Flächen, die mit einfach oder zweifach gekrümmten Brettschichtholzelementen gebildet werden, die eine Dachlandschaft wie die ineinander verwobenen Baumkronen eines Waldes bilden. Die äußere Hülle bildet eine Glasfassade vor einer Stützenkonstruktion aus Stahl.

Der Querschnitt gibt einen Überblick über die Räumlichkeiten und ihren Verwendungszweck.

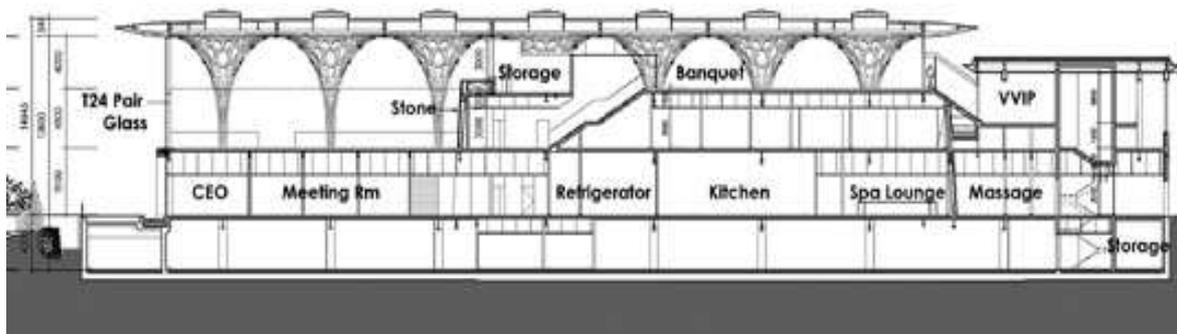


Abb. 4-23: Klubhaus Hasley, Schnitt

Erste Kontakte mit den Koreanern erfolgten anlässlich einer Werksbesichtigung der Blumer Lehmann AG in Gossau/Schweiz durch eine koreanische Delegation von Architekten und Baufachleuten. Diesem ersten unverbindlichen Kontakt folgte die Anfrage zur Erstellung eines Angebots für die Entwicklung,

Planung und Herstellung der Holzkonstruktion für das Golfklubdach und das auf Basis eines außerordentlich knappen Bauzeitplans. Das Dach sollte Ende Februar 2009 fertig sein. Innerhalb von ein paar Tagen wurde von Hermann Blumer nach den Konzeptplänen der Koreaner das statisch-konstruktive Tragwerkskonzept für eine zweifach gekrümmte Dachkonstruktion erarbeitet und angeboten. Nach der Vertragsunterzeichnung war es nötig ein Konzept zu entwickeln nach dem es möglich war, die Dachkonstruktion in nur sechs Monaten zu planen, zu produzieren und dann zeitgerecht in Korea zu montieren.

Durch den eigentlich einfachen, rechteckigen Grundriss war es möglich technisch vorteilhafte Wiederholungen von Ausführungsdetails zu entwickeln. Die Dachkonstruktion konnte in fünf Elementtypen aufgeteilt werden. Die Kennzeichnung aller Bauteile durch ein sechsstelliges Nummernsystem war aufgrund der großen Anzahl der Elemente unbedingt zur Identifizierung bei der Montage auf der Baustelle notwendig. Für den Transport des Materials von der Schweiz nach Korea auf einer Distanz von 8.000 km wurden insgesamt 26 Container verschifft und 9 Flüge notwendig. An der Montage waren 39 Fachleute aus der Schweiz beteiligt, die Montagezeit total betrug 10 Wochen. Das Versetzen der einzelnen, sehr großen Kronen bedingte das gleichzeitige Einfahren von 24 Schlitzblechen. Die Koreaner stellten einen oben drehenden Baustellenkran mit koreanischem Kranführer zur Verfügung, der nach Funkanweisungen die Elemente versetzte.¹¹⁶

4.2.3 Konstruktionsdetails

Die ca. 2600 m² große Holz-Dachkonstruktion auf den 21 baumförmigen Säulen, die direkt in ein „Geflecht“ aus Trägern übergehen, ist als geometrisch ausgerichteter „Wald“ aus 21 Bäumen entworfen. Die gesamte Höhe der Konstruktion beträgt 13,6 Meter.

¹¹⁶ Vgl. Blumer, 2010, www.nextroom.at

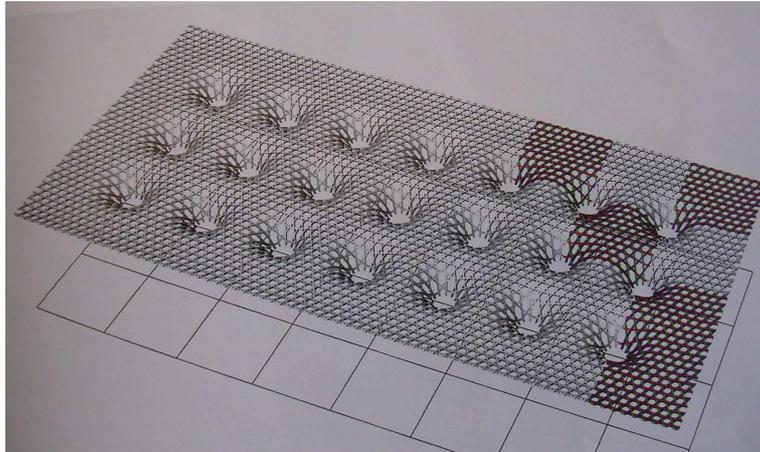


Abb. 4-24: Dachkonstruktion mit den 21 Bäumen

Da jeder Träger aus zwei parallelen Lagen besteht, sind an jedem Kreuzungspunkt zwei Blattverbindungen nötig – insgesamt genau 14.824 Stück sind in der gesamten Dachkonstruktion verteilt.

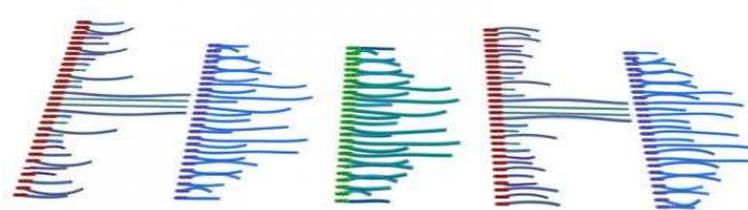


Abb. 4-25: Ein Dachelement des Golfklubdachs besteht aus vielen Trägersegmenten

Die insgesamt knapp 3500 Trägersegmente haben „nur“ 467 unterschiedliche Geometrien, die für die Fertigung auf der Fünffachs-Abbundmaschine alle einzeln konstruiert und durchnummeriert werden mussten, bevor sie nach Südkorea verschifft und dort montiert wurden.¹¹⁷

Die gesamte Dachkonstruktion besteht aus 32 Kronenelementen in 5 verschiedenen Typen. Das zweiseitige, die Last abtragende „Astgeflecht“ der

¹¹⁷ Vgl. Scheurer, 2009, S. 30

Kronen verläuft bis in das 4,50 Meter auskragende Vordach. Wie in der Natur, so ist auch bei diesem Kronengeflecht kein Stab gerade, und alle Oberflächen sind einfach und zum großen Teil zweifach gekrümmt. An jedem der 21 Bäume schließen vier Dachelemente an.

Die Anschlüsse wurden mit Hilfe eines sternförmigen Stahlringes und daran angeschweißter Schlitzbleche ausgeführt, darüber befinden sich jeweils die Lichtkuppeln, insgesamt 21 Stück. Diese Lichtkuppeln mit einem Durchmesser von 3,00 Metern sind in ein Flachdach integriert, das aus einer Trägerrostkonstruktion mit Haupt- und Nebenträgern besteht und mit einer witterungsbeständigen Kunststoffolie gedeckt ist.¹¹⁸

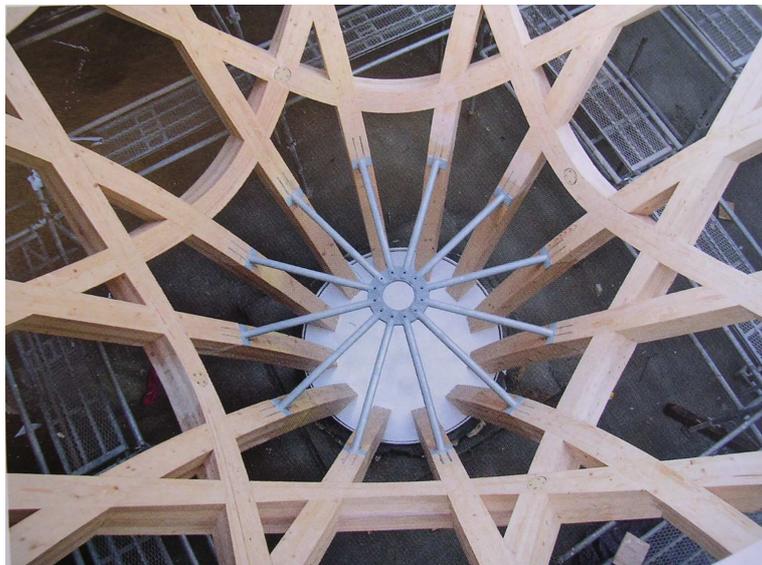


Abb. 4-26: Anschluss der Dachelemente an den Stahlring

Das statische Konzept für das Gebäude kommt ohne jegliche diagonale Verstrebungen in den Fassaden aus. Es war daher nach jedem Montageschritt die Konstruktion auszurichten und zu stabilisieren. Nur so konnte sichergestellt werden, dass die umlaufende Glasfassade präzise eingebaut werden konnte. Erst mit der Fertigstellung des gesamten Tragwerks war die Stabilität sichergestellt.

¹¹⁸ Vgl. Antemann, 2009, S. 10

4.2.4 Bauliche Umsetzung

Vorarbeiten

Hermann Blumer gelang es in weniger als acht Monaten die Masterfläche¹¹⁹ zu definieren, die Konstruktion des Golfhauses zu entwickeln, die statische Berechnung durchzuführen, eine neue CNC-Anlage zu bauen und zu programmieren, die Holzbauteile in der Schweiz abzubinden, diese in einem sechswöchigen Schifftransport nach Südkorea zu bringen und dann vor Ort die Montage fristgerecht durchzuführen.¹²⁰



Abb. 4-27: Fünffachs-Abbundmaschine beim Zuschnitt eines doppelt gekrümmten BSH-Rohlings

Die geometrischen Angaben dann in maschinentauglichen Daten umzusetzen erforderte sehr viel Zeit, sowohl die Programmierer als auch die Maschinisten waren drei Monate lang in 3 Schichten damit beschäftigt.

Es folgte die Aufteilung der Dachkonstruktion in fünf Elementtypen als Grundlage für ein sechsstelliges Nummernsystem, das eine eindeutige

¹¹⁹ Masterfläche ist die Bezeichnung für die Mittelfläche einer Netzwerkkonstruktion. Ihre Definition ist nötig um exakte Daten für die Bereiche Statik, Fertigung und Montage zu erhalten und diese verlustfrei übertragen zu können. Notwendige Änderungen in der Geometrie von Konstruktionen können so dank der Digitalisierung bis zur Endmontage berücksichtigt werden.

¹²⁰ Vgl. Blumer, 2010, www.nextroom.at

Identifizierung aller Bauteile gewährleistet. Für die Qualitätssicherung war es entscheidend, die Komplexität im Werk zu bewältigen und alle Prozesse auf der Baustelle, so gut es geht, im Voraus zu planen und zu definieren.

Das Montagekonzept und die Verbindungen in diesen geometrischen Anforderungen waren eine technische und baubetriebliche Herausforderung, die alle Bereiche des Holzbauwissens erfordert. Die zulässigen Toleranzen sind aufgrund der Vielzahl von Verbindungspunkten äußerst gering.



Abb. 4-28: Bezeichnung der fünf Elementtypen mit einem sechsstelligen Nummernsystem

Herstellung

Alle Holzbauteile wurden in der Schweiz auf einer fünfchsigesteuerten CNC-Anlage produziert und anschließend nach Fernost verschifft. Zur Qualitätssicherung war es notwendig, alle möglichen Prozesse auf der Baustelle möglichst naturgetreu im Voraus zu planen und zu definieren. Außerdem war zu berücksichtigen, dass die einzelnen Bauteile eine Länge von maximal 11 Metern nicht überschreiten durften, damit sie in einen Container passen.

Bei den Stäben erforderten die Faserrichtungen der Hölzer besonderes Augenmerk, Abweichungen waren nur in einem begrenzten Maß zulässig. Ebenso musste aus Gründen der Wirtschaftlichkeit die Ausbeute beim Brettschichtholz besonders beachtet werden. Je stärker die Krümmung des einzelnen Teiles innerhalb der gesamten Geometrie, desto mehr Holz braucht es, um ein Bauteil aus einem Rohling herauszuarbeiten. Je nach Radien und Krümmungen ergaben sich verschiedene Schichtdicken der einzelnen Lamellen für die Brettschichthölzer. Bei den BSH-Stäben mit sehr kleinen Krümmungsradien bis zu einem Meter war es nötig diese Tragwerksteile aus vielen dünnen Schichten mit Lamellendicken bis zu 5 mm herzustellen.

Die Holzverbindungen selbst wurden verleimt und verschraubt. Dies gilt auch für die Längsholzverbindungen. Die Stöße und Überblattungen wurden in der Schweiz getestet und unter kontrollierten Bedingungen auf der Baustelle vor Ort verleimt.

Martin Antemann von der Blumer-Lehmann AG stellte in seinem Projektsbericht fest, dass dieses Freiformprojekt mit einer Losgröße von 12 einen sehr vorteilhaften Wiederholungsfaktor hat, der sich in weiterer Folge sehr günstig auf alle Planungs- und Produktionsprozessen auswirkte.¹²¹

Montage vor Ort

In Südkorea waren zum Zeitpunkt des Beginns der Montage im Januar 2009, Temperaturen von -15°C vorherrschend. Es war daher unerlässlich für die optimale Verleimung der Bauteile vor Ort ein beheiztes Zelt einzurichten, in dem ein konstantes, verleimgerechtes Klima mit den notwendigen Temperaturen und Luftfeuchten vorherrscht.

Zuerst wurden die Bauteile für jedes der 32 Dachelemente vorsortiert, bis zu 138 Stück pro Element. Anschließend wurden 5 Lagen auf einer Schablone aufgebracht, statisch verbunden und vormontiert. Die Verbindung der einzelnen

¹²¹ Vgl. Scheurer, 2009, S. 30

Bauteile in den Elementen wurde durch Schäftungen und Ausblattungen hergestellt. Durch dieses Verbindungskonzept konnte sichergestellt werden, dass die Bauteile an allen Stellen in der Konstruktion passgenau zusammengefügt werden konnten. Wie die Oberflächen des Holztragwerks waren auch die Oberflächen in den Verbindungspunkten nicht planar. Die Kontaktflächen in den Ausblattungen waren ausnahmslos doppelt gekrümmte, sogenannte HP-Flächen, auch hyperbolisches Paraboloid genannt. Nur die Verbindungen der „Stämme“ zu den „Kronen“ und der Elemente untereinander waren Stahl-Holz-Verbindungen.



Abb. 4-29: Aufbau der Trägersegmente mit Hilfe von CNC-gefertigten Schablonen

Für die Zusammenfügung der Bäume mit den Kronen wurden Gerüst-Plattformen aufgestellt um die Montage zu ermöglichen. Durch den Höhenunterschied der drei Ebenen von insgesamt 10 Metern und auch durch die Plattformen waren das Einmessen und das Einsetzen der doppelt gekrümmten Bauteile ziemlich schwierig.

Beim Versetzen der Kronenelemente machte sich die Präzision aus Planung, Produktion und Vormontage deutlich bemerkbar. Nach dem Versetzen der Kronen wurde das eigentliche Dach mit der Montage des Trägerrostes, der Pfetten, der Dreischichtplatten als Trägermaterial für die Dachabdichtung und den Lichtkuppeln fertig gestellt.



Abb. 4-30: Versetzen eines Dachelementes

Für die Montage der 32 Kronenelemente war es nötig, in oberflächenfertiger Qualität in 24 Schlitzbleche gleichzeitig einzufahren, was eine besondere Herausforderung für das Montageteam war. Für diese Arbeiten war ein Zeitraum von 10 Wochen vorgesehen.



Abb. 4-31: Glasfront mit durchscheinender Holzkonstruktion

Durch die um das gesamte Klubhaus verlaufende Glasfront ist es möglich, dass diese imposante Holzkonstruktion auch von außen bewundert werden kann.¹²²

¹²² Vgl. Antemann, 2009, S. 10

4.3 Metropol Parasol - Sevilla / Spanien

Die Plaza de la Encarnación, der Bauplatz, liegt im Zentrum der Altstadt Sevillas und war seit der Mitte des 19. Jahrhunderts ein zentraler Marktplatz mit einer Markthalle, die aus mehreren Einzelgebäuden bestand und 1973 im Zug einer stadtstrukturellen und baulichen Erneuerung Sevillas abgebrochen wurde. Der Bau der geplanten neuen Markthalle mit Tiefgarage wurde jedoch nie realisiert. Stattdessen lag das Areal fast 20 Jahre brach und wurde großflächig als Parkplatz genutzt.

Nach der Entdeckung von Ruinen einer römischen Kolonie mit Resten von Wohnhäusern auf dem ca. 10.000 m² großen Gelände im Jahr 1992 wurden Pläne zur Errichtung eines Einkaufszentrums wieder gestoppt und der Platz blieb für einige Jahre nahezu ungenutzt.

Schließlich wurde im Jahr 2004 ein internationaler Ideenwettbewerb für die Neugestaltung der Plaza de la Encarnación in Sevilla ausgeschrieben mit der Vorgabe die wertvollen archäologischen Funde aus dem 5. Jahrhundert v. Chr. in eine zeitgenössische urbane Platzgestaltung einzubinden, bestehend aus einer neuen Markthalle, Restaurants, Bars und einem Platz für öffentliche Veranstaltungen. Gleichzeitig sollte das historische, jedoch für den Tourismus wenig erschlossene Quartier in der Altstadt durch diesen neuen Mittelpunkt attraktiviert werden und in weiterer Folge eine wirtschaftliche Aufwertung dieses Platzes mit sich bringen.¹²³

Im Juni 2004 wurde Metropol Parasol, der Entwurf von Jürgen Mayer H. unter zehn in der zweiten Phase noch verbliebenen Projekten von der Jury zur Realisierung ausgewählt. Baubeginn war schließlich im Jahr 2005.

¹²³ Vgl. Mayer H./Stockebrand, 2010, S. 195



Abb. 4-32: Gesamtansicht Richtung Norden

Projektdaten:

Bauherr:	Stadt Sevilla
Architektur:	Jürgen Mayer H., Berlin
Funktion:	Urbanes Zentrum: Archäologisches Museum, Markthalle, Event-Bereich, Aussichtsebene mit Restaurant
Baubeginn:	2005
Fertigstellung:	2010
Tragwerksentwurf:	Ove Arup & Partners
Konstruktionstyp:	Holz-Stahl-Hybridkonstruktion
Planung:	Finnforest Merk GmbH (FFM)
Ausführung:	Finnforest Merk GmbH (FFM)
Baukosten:	ca. 60 Millionen Euro

4.3.1 Architektonisches Konzept

Das von Jürgen Mayer H. Architekten für den Wettbewerb entwickelte Konzept für diesen Platz besteht aus einem Komplex über vier Ebenen, wobei im

Untergeschoss ein offenes Museum vorgesehen ist, auf das durch Glasbauelemente im Boden von der neuen Markthalle aus Einblicke auf die archäologischen Funde möglich sind. Eine neue Platzebene, eine 4.500 m² große multifunktionale Veranstaltungsfläche für kulturelle Events ist vom Marktplatz aus über lange Treppen erreichbar.¹²⁴ Das geforderte Programm des Wettbewerbs wurde um eine ausladende Dachkonstruktion und ein darin untergebrachtes Restaurant erweitert, was wiederum eine weitere touristische Aufwertung des Planungsareals mit sich brachte.¹²⁵

Diese Dachkonstruktion ist eine komplexe, dreidimensionale weitgespannte Holz-Struktur mit einer Länge von ca. 150 m, einer Breite von ca. 70 m und einer von Höhe ca. 30 m. Diese riesige, pilzartige Dachkonstruktion in Form von Sonnenschirmen steht im Mittelpunkt des Projekts. Durch diese außergewöhnliche Konstruktion erhält Sevilla ein neues Wahrzeichen und einen touristischen Anziehungspunkt inmitten der mittelalterlichen Altstadt.¹²⁶

Im Wettbewerbsbeitrag wurde besonderes Augenmerk auf ein möglichst homogenes Erscheinungsbild der insgesamt sechs fließend ineinander übergehenden „Pilze“ gelegt. Da waren sie noch durch ein freitragendes Stahlblech-Gewebe geformt, dessen Form sich sowohl aus der Berücksichtigung der städtebaulichen Gegebenheiten, aus Optimierungen nach statischen Gesichtspunkten sowie auch aus der genauen Berechnung der Jahressonnenstände ergeben hat. Die computergenerierte Stahlhülle bildete dabei zugleich das Tragwerk. Die Ausführung in Stahl kam aber aufgrund ihrer dreidimensionalen Komplexität nicht in Frage, weil einfach die Grenzen des wirtschaftlich Machbaren nicht eingehalten werden konnten.

Nachdem gemeinsam mit Arup erarbeitete Alternativen – etwa mit einer von der äußeren Hülle getrennten Tragstruktur – und auch Überlegungen zu

¹²⁴ Vgl. Santer, 2008, S. 45

¹²⁵ Vgl. Mayer H./Stockebrand, 2010, S. 196

¹²⁶ Vgl. Santer, 2008, S. 45

Konstruktionen in Faserbeton aufgrund fehlender Zulassungen und Referenzobjekte nicht zum Ziel führten, kam es zur Entwicklung der auf einer Beton-Stahlkonstruktion aufgesetzten Furnierschichtholz-Konstruktion.

Dass die Wahl hierbei auf Holz fiel, hat aus Sicht von Roland Pawlitschko vor allem zwei Gründe. Zum einen ist Holz ein relativ günstiger Baustoff mit hoher gesellschaftlicher Akzeptanz, zum anderen handelt es sich dabei um ein leicht zu bearbeitendes, elementierbares und nachhaltiges Baumaterial.¹²⁷

Einige Kritiker diffamierten „Metropol Parasol“ angesichts seiner Großmaßstäblichkeit bereits im Vorfeld, wie z.B. Berthold Volberg in „Architektonische Giftpilze in Sevilla“.¹²⁸

4.3.2 Beschreibung des Bauwerks

„Mich interessiert generell eine Architektur, die kräftig ist und einen starken Ausdruck hat, aber gleichzeitig elastisch und flexibel genug ist, mit unterschiedlichen Funktionen zu arbeiten“, erklärt Jürgen Mayer H. das Zeichenhafte seiner Architekturentwürfe. Er baut amorphe Gebilde, die keinen Hinweis auf ihre Nutzung geben. Die Formgebung scheint in keinerlei Beziehung zur Konstruktion zu stehen.

Bei der riesigen Pilzlandschaft in der Altstadt von Sevilla, „Metropol Parasol“, die ab der Fertigstellung 2010 archäologische Ausgrabungen, eine Markthalle, einen Versammlungsplatz und eine Aussichtsplattform in einer psychedelischen Struktur unterbringen wird, hat Jürgen Mayer H. die „Travestie von Zweckarchitektur“ schließlich auf die Spitze getrieben.¹²⁹

¹²⁷ Vgl. Pawlitschko, 2007, S. 1444

¹²⁸ Vgl. Volberg, 2007

¹²⁹ Vgl. Briegleb, 2009, 56



Abb. 4-33: Modell der Finnforest Merk GmbH (FFM)

Teilweise Wiedergabe eines Interviews, das Jürgen Mayer H. dem Büro für Stadtfragen im Juni 2009 gab, in dem die Besonderheiten dieses einzigartigen Bauwerks aufgezeigt wurden: „Beim Projekt Metropol Parasol geht es hauptsächlich um einen Marktplatz (180 m lang und 100 m breit), als Zentrum eines jahrelang vernachlässigten Platzes mitten in der Stadt. Der Wettbewerb gab vor, das archäologische Ausgrabungsfeld mit Resten der Römischen Stadt als Museum zu nutzen und zu erreichen, dass die Marktstände, und mit ihnen das nachbarschaftliche Leben, auf die Plaza de la Encarnación zurückkommen. Deshalb ist das Projekt Metropol Parasol für Sevilla weit mehr als eine touristische Einrichtung.



Abb. 4- 34: Plaza de la Encarnación

Es spricht gleich mehrere räumliche Dimensionen an: es geht zunächst um die lokalen Nachbarschaften, für die sind der Marktplatz und die Markthalle entscheidend. Dann geht es um Städtebau im Sinn einer Stadtreparatur und

einer Aufwertung der benachbarten Quartiere. Und schließlich will Sevilla auch international wahrgenommen werden.

Den Beteiligten geht es um die Positionierung der Stadt als innovativer Standort. Dazu war ein Sprung notwendig, denn man muss sich vorstellen: Die Plaza de la Encarnación war dreißig Jahre lang eine Art schwarzes Loch. Da war nichts außer einem provisorischen Parkplatz. Nun geht es darum, den Ort mit Hilfe von kulturellen und kommerziellen Nutzungen und der richtigen Architektur aufzuwerten und wieder in das Stadtleben zu integrieren. Sevilla misst sich dabei mit anderen spanischen Städten wie Bilbao, Valencia, Teneriffa oder Gran Canaria. Sie alle wollen in einer Art sportlichem Wettkampf um Aufmerksamkeit und Reputation, ihre Fähigkeit zur urbanistischen Erneuerung und mit Hilfe der entsprechenden Architektur inszenieren. In Sevilla sollen das historische Erbe und neue innovative Attraktionen, zum Beispiel internationale Architektur, gleichzeitig gezeigt und angeboten werden. Letztlich geht es darum, neben Touristen auch junge Berufstätige und mit ihnen die Wirtschaft in die Stadt zu holen.

Der so genannte „Bilbao-Effekt“ scheint gut zu funktionieren. Bilbao ist mit dem Museumsbau von Frank O. Gehry zu einem touristischen Anziehungspunkt geworden, verbunden mit einem großen wirtschaftlichen Aufschwung und das möchte auch die Stadt Sevilla erreichen.

Metropol Parasol hat jedoch eine andere städtebauliche Aufgabe und das Programm ist vielfältiger. Neben dem archäologischen Museum im Untergeschoß und dem Markt auf Platzebene wird es kommerziell nutzbare Flächen geben. Und über Allem der Parasol, die Sonnenschirme, mit einem Café und einem Panorama-Rundgang mit Aussichtsplattform in einem der fächerartigen Schirme mit einem großartigen Blick über die Dächer der Stadt. Trotz kommerzieller Nutzungen wird die Plaza öffentlich zugänglich und benutzbar bleiben. Das Dach der Markthalle ist im Prinzip nur eine erhöhte Plaza.

Metropol Parasol ist ein Public-Private-Partnership-Projekt. Die rund 60 Mio. Euro Baukosten teilen sich je zur Hälfte die Stadt Sevilla und die private Baufirma Sacyr, die als Bauherr auftritt. Ihre Schwesterfirma Testa wird das Bauwerk für die ersten 40 Jahre betreiben. Insgesamt wird Metropol Parasol eine atmosphärische Großskulptur sein, die Sevilla ein neues, unverwechselbares Stadtbild gibt. Tagsüber spenden die Parasols Schatten und nachts werden sie durch Lichtspiele und Akustik zu einem Himmel.



Abb. 4-35: Blick aus Nordosten

Die Konstruktion und Materialisierung des geplanten, gitterförmigen Rasters wurde mit den Ingenieuren von Arup konkretisiert. In Sevilla wurden die Themen wie Kostensicherheit, Unterhalt, Wartung, Vorfabrikation, Bauzeit, Logistik in der Anwendung von verschiedenen Materialien verglichen. Holz hat sich schließlich im Vergleich als die eindeutig beste Variante ergeben¹³⁰.

Die verschiedenen Nutzungen des Projekts Metropol Parasol sind in vier Ebenen organisiert. Auf der Ebene 0 im Untergeschoss auf einer Höhe von ca. sechs Metern unter Platzniveau befinden sich die archäologischen Ausgrabungsstätten. Diese als Museum ausgebaute Fläche kann über eine öffentliche Rampen- und Treppenanlage oder per Aufzug direkt erreicht werden und von Aussichtsplattformen aus können die archäologischen Funde besichtigt

¹³⁰ Vgl. Mayer H., 2009

werden. Neben den Ausgrabungen befinden sich in dieser Ebene auch die unterirdische Ver- und Entsorgung für die darüber liegende Markthalle und alle Lager- und Technikbereiche.



Abb. 4-36: Blick auf die Ausgrabungsstätte

Die Ebene 1 liegt auf dem Strassen- bzw. Platzniveau. Sie beinhaltet die gesamte Plaza de la Encarnaciòn inklusive der Seitenplätze und den Zugang zu einer noch zu planenden U-Bahnstation. Über dem archäologischen Feld befindet sich die neue Markthalle, von der durch Glasbauelemente im Boden Einblicke auf die archäologischen Funde möglich sind. Durchgängig geöffnete Tapasbars und Restaurants sollen auch nach Geschäftsschluss des Marktes für eine dauernde Belebung des Platzes sorgen.



Abb. 4-37: Blick auf die Plaza Elevada

Die Ebene 2, die Plaza Elevada, liegt fünf Meter über dem Strassen- bzw. Platzniveau. Dieser erhöhte Platz über dem Markt soll ein großer städtischer Treffpunkt sowohl für Muße und Erholung als auch für zufällige Begegnungen sein, aber auch eine Stätte für groß angelegte Veranstaltungen wie z.B. Flamenco-Festivals oder Konzerte werden.



Abb. 4-38: Veranstaltungsraum für Festivals und Konzerte

Die Plaza Elevada wird über drei große Freitreppen- und eine Rampenanlage erschlossen. Eine spezielle Infrastruktur in den Parasols und im Boden der Plaza ermöglicht die Abteilung und die Bespielung verschiedener Event-Bereiche. Über einen eigenen Regieraum mit Einblick in die Szenerie sind die Infrastrukturkomponenten steuerbar.

Die Ebene 3 als Aussichtsebene liegt in und auf den Parasolen in einer Höhe von ca. 21 bis 28 Metern. Sie ist über drei Aufzüge und verschiedene Treppenanlagen erreichbar.

Ebenfalls auf Höhe der Ebene 3 befindet sich ein Restaurant mit ca. 300 Plätzen. Es ist aus der Parasolstruktur ausgehöhlt, die sich an exponierten Stellen in Form von Panoramafenstern öffnet.



Abb. 4-39: Panoramafenster mit Blick auf Sevilla

Schließlich bietet am Dach der Parasols in 28 Meter Höhe ein 600 Meter langer, gewundener, auf- und absteigender Rundweg (die Paseos) mit Aussichtsplattformen, einen weiten und imposanten Ausblick auf die gesamte Stadt.



Abb. 4-40: Beginn des Panoramagangs

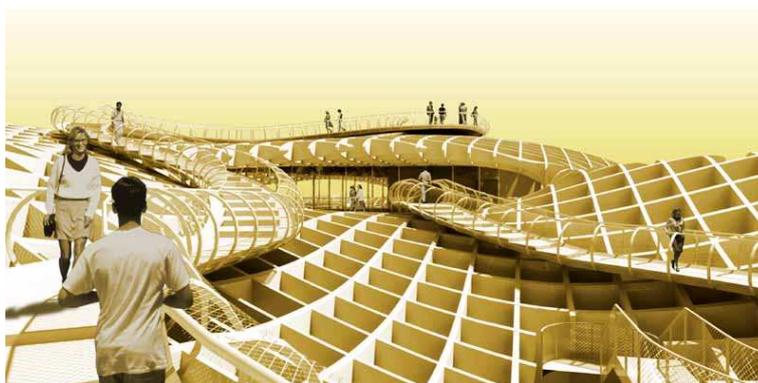


Abb. 4-41: Panoramagang auf den Parasols

Bei der Planung der Panoramawege, die auf der unregelmäßigen Topografie der Dachstruktur angelegt sind, kam es zunächst darauf an eine Lauflinie zu definieren, welche die gewünschten Positionen unter Berücksichtigung einer möglichst geringen Steigung für den Besucher erreichbar macht. Die aus diesen Überlegungen entstandene „Ideallinie“ wies eine über ihren gesamten Verlauf stark variierende Steigung auf, die anhand der örtlichen Bauvorschriften optimiert wurde um eine Vereinheitlichung der Steigungsverhältnisse der notwendigen Treppenanlagen zu erreichen.¹³¹

4.3.3 Konstruktionsdetails

Metropol Parasol ist eine hölzerne, schirmartige Beschattungskonstruktion, die von sechs mit Holz verkleideten, 25 Meter hohen Stahlbetontürmen getragen wird. In den Türmen P3 und P4 sind die Treppenhäuser und Aufzugschächte integriert. In den Türmen P1, P2 und P5, P6 wurden Nottreppenhäuser eingebaut, die in Stahlbauweise ausgeführt sind.

Über diese beiden Türme gelangt man entweder nach unten in das Museum oder nach oben auf die multifunktionale Plaza und weiter in die hölzerne Dachschaale mit einem Café in den muschelförmigen Aufweitungen des Dachbereichs.

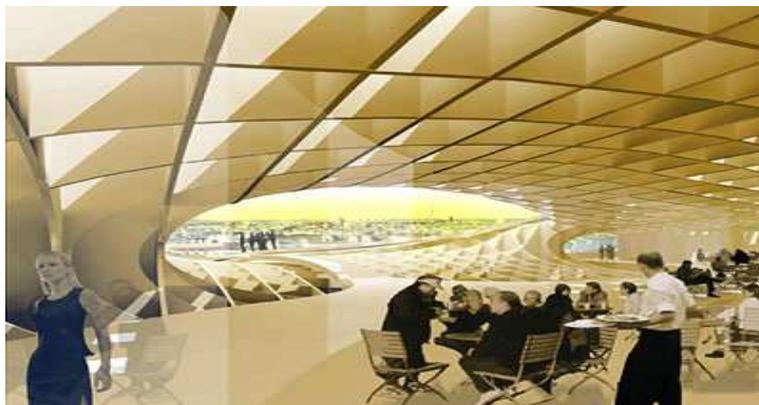


Abb. 4-42: Blick vom Sky Café auf Sevilla

¹³¹ Vgl. Santer, 2008, S. 42

Die hölzerne Dachkonstruktion und auch das Dach über den Cafés bestehen überwiegend aus ca. 7 cm dicken, großformatigen Kerto-Q – Furnierschichtholzplatten mit einer Länge bis zu 16 Metern. Die kürzesten Träger haben eine Länge von ca. 1,5 Meter entsprechend dem Raster des Trägerrostes.¹³²

Die Furnierschichtholzscheiben des Trägerrostes bilden ein ungerichtetes, die Konturen der Pilzformen nachzeichnendes Gitternetz. Die einzelnen Scheiben werden über passgenaue Winkel- und Kopfplatten verbunden. Furnierschichtholzplatten können Festigkeiten wie Beton aufweisen und ihr Verhältnis zwischen Eigengewicht und Belastbarkeit ist vergleichsweise besser als bei Stahl. Die sichtbare Tragstruktur wird aus einem quadratischen Achsraster mit der Seitenlänge 1,5 m x 1,5 m gebildet, wobei die Materialdicke entsprechend den auftretenden Kräften insbesondere an den Verbindungen zwischen 69 mm und 224 mm schwankt.

Alle Sonnenschirme sind über eine Holzgitterstruktur, die durch Stahldiagonalen ausgesteift wird, miteinander verbunden. Die Tragwerksstruktur besteht aus

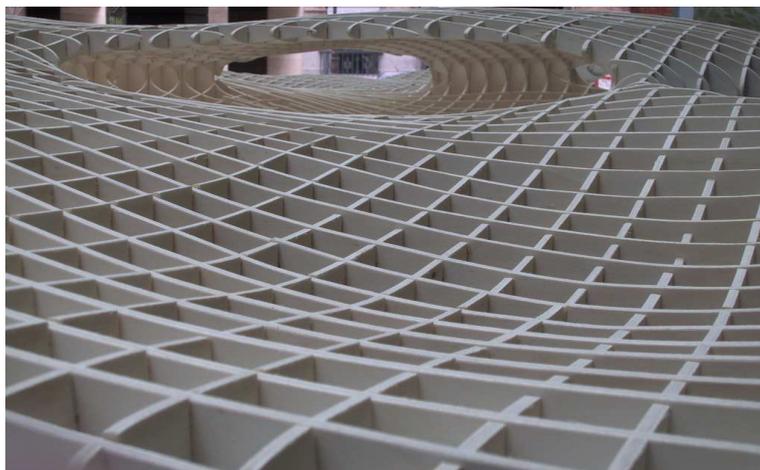


Abb. 4-43: Trägerrost

sich kreuzenden, biegesteif angeschlossenen Furnierschichtholzscheiben. Für eine reine Holzverbindung wären die Kräfte an den Verbindungsstellen zu groß

¹³² Vgl. Harrer Ingenieure

und es wurden daher Stahl-Zugelemente aus Rundstahl in die Holzquerschnitte so integriert, dass sie nur an den Anschlussstellen sichtbar werden.

Zur Verbesserung des Tragverhaltens und um Verformungen zu reduzieren, wurden die Verbindungen der wabenartigen Holzkonstruktion vorgespannt. Eine Stahlplatte überträgt Druckkräfte auf das Element. Die Verbindungen werden deutlich steifer, da die erzeugte Vorspannkraft über diese Stahlplatte in den Querschnitt eingeleitet wird und sich dadurch das Furnierschichtholz am Lastabtrag beteiligt. Die Zugkraft wird von der, ohne Verbund in die Holzscheiben eingelassenen Gewindestangen aufgenommen. Bei einem konstant wirkenden Moment verbleibt die Zugkraft komplett im Stahl und wird nicht vom Furnierschichtholz aufgenommen. Dieser Vorgang verhindert ein Auseinanderklaffen der Verbindungen und erhöht somit die Steifigkeit der Gesamtstruktur.¹³³

Positiver Nebeneffekt: Durch die Vorspannung der Gitternetzstruktur und die größere Steifigkeit können erhebliche Materialeinsparungen erzielt werden. Das Tragwerk kann als eine Holz-Stahl-Hybrid-Konstruktion bezeichnet werden.¹³⁴



Abb. 4-44: Stahlbetontürme mit den Nottreppen

¹³³ Vgl. Zauft, 2008

¹³⁴ Vgl. Pawlitschko, 2007, S. 1444

Die Höhen der Scheibenelemente liegen zwischen einem Meter und drei Metern, die Dicken variieren zwischen 69 mm und als Verbundplatten bis 224 mm, einerseits aufgrund der organischen Struktur, andererseits wegen der Größe der einwirkenden Kräfte.



Abb. 4-45: Scheibenelement

Die Kanten der Elemente wurden nicht einfach orthogonal abgeschnitten, sondern folgen der Ausrichtung der skulpturalen Oberfläche der Hüllform. Um exaktere Ergebnisse zu erzielen wurden sie nicht gesägt, sondern dreidimensional gefräst. Aus optischen Gründen und vor allem als Witterungsschutz wurde eine drei Millimeter dicke sandfarbene Polyurethan-Spritzbeschichtung aufgetragen.¹³⁵

Um das Risiko von Beschädigungen der Oberfläche der bis zu 16 Meter langen Bauteile während des Transports per LKW aus Deutschland zu minimieren, erfolgte das Aufbringen dieser schützenden drei Millimeter dicken Deckschicht aus Polyurethan und der farbigen Oberfläche in einer Werkshalle vor Ort. Dabei wurden die Aussparungen für die mechanischen Verbindungen bei der Montage frei gelassen, die dann später in einem letzten Arbeitsgang nach erfolgter Montage nachbeschichtet wurden. Die vorbeugende Grund-Imprägnierung

¹³⁵ Vgl. Santer, 2008, S. 43

wurde schon zuvor im Hersteller-Werk in einer speziellen Hochdruckkammer vorgenommen.



Abb. 4-46: LKW-Transport der Scheibenelemente

Die PU-Schicht in Verbindung mit einem UV-schützenden Farbanstrich bildet letztendlich eine dichte Haut, welche die Holzbauteile dauerhaft gegen Verwitterung schützt und gleichzeitig aufgrund ihrer diffusionsoffenen Eigenschaften dem Material weiterhin den natürlichen Feuchtigkeitsaustausch ermöglicht.

Der zeitliche Ablauf des Transports der Elemente von Deutschland nach Sevilla war auf den Montageablauf abgestimmt. Nach einem Projektschlüssel wurden die einzelnen Teile der Dachkonstruktion nummeriert und möglichst effizient auf wenige LKW-Ladungen verteilt.¹³⁶

4.3.4 Bauliche Umsetzung

Die Herausforderung für die Tragwerksplaner bestand darin, eine komplexe dreidimensionale Holz-Struktur in einem Maßstabsbereich zu entwickeln, für den keine Vorbilder existieren: ca. 150 Meter Länge, ca. 70 Meter Breite und

¹³⁶ Vgl. Mayer H./Stockebrand, 2010, S. 201-202

ca. 30 Meter Höhe. Hierbei waren sowohl innovative Nachweismethoden, als auch die Verwendung von innovativer Materialtechnologie erforderlich.

Zur Umsetzung der konstruktiven Idee in ein konkretes Tragwerk waren ungewohnte Planungs- und Fertigungsverfahren nötig, die sich zwischen analogen Abstimmungsprozessen und nur noch digital möglicher Verarbeitung der Datenmengen bewegten. Die Kräfteverläufe innerhalb der Holzquerschnitte wurden mit Hilfe eines 3D-Computermodells ermittelt, in das die im Vorfeld berechneten Bauteildicken sowie die vom Hersteller vorgegebene Elementierung eingearbeitet wurden. Die Querschnitte und Verbindungen wurden immer wieder durch Rückkoppelung zum 3D-Modell optimiert und auch das Modell selbst wurde laufend durch neue Erkenntnisse modifiziert und ergänzt.

Ebenfalls mit Hilfe des digitalen Modells wurde die Form der schrägen, bis zu einem Meter hohen Randanschnitte der ansonsten nicht gekrümmten Holzbauteile ermittelt. Die dreidimensionalen Geometrien der Holzbauteile sowie deren genaue Lage im Raum wurden als 3D-Format bzw. Excel-Tabelle bereitgestellt und in eine CAD-Software eingelesen. Im Anschluss daran berechneten spezifisch programmierte Makros die digitalen Daten für die Fertigung der vielen unterschiedlichen Bauteile durch zahlreiche Fräsroboter. Jeder der ca. 8000 Anschlüsse ist im Prinzip individuell verschieden und es mussten zum Beispiel besondere Ausfräsungen durch ein spezielles Programm automatisch eingefügt und auf die jeweilige Situation angepasst werden.¹³⁷

Exkurs

Das Animationsprogramm Maya wurde für die Entwurfsphase und die dafür nötige intuitive Phase verwendet um damit die Entwurfsidee in eine entsprechende komplexe räumliche Form zu übersetzen. Mit der Modellierungssoftware Rhinoceros wurde der fertige, geformte Entwurf in seine konstruktiven Elemente zerlegt und auf den technischen Produktionsprozess

¹³⁷ Vgl. Santer, 2008, S. 44

hin optimiert. Die Übergabe der schon der schon detailliert nach Vorgaben der ausführenden Firma bearbeiteten geometrischen Daten erfolgte im Rhinoceros-Format. Mit Hilfe eines Scripts wurden diese Daten für die Weiterverwendung mit dem Programm Bocad umgewandelt, um eine nahtlose Einbindung in den Planungs- und Fertigungsprozess zu gewährleisten. Bocad verfügt über optimierte Planungswerkzeuge für die Verwendung in der Holzbearbeitung und war über eine digitale Schnittstelle direkt an die numerische Steuerung der 5-achsigen Fräse angebunden.¹³⁸

Eine Vereinheitlichung war nur begrenzt möglich, da jeder Anschluss rechnerisch auf den Kräfteverlauf in jedem anderen Punkt Einfluss hat. Daher stand man vor dem Problem, jeden einzelnen Anschluss planen, darstellen, abstimmen, verwalten, freigeben und schließlich herstellen zu müssen.

Zwischen Planung und Fertigung würden in einem normalen Ablauf einige Prüf- und Freigabeschritte durchgeführt. Innerhalb dieses voll digitalisierten Planungsablaufes wären diese Schritte fast die einzigen noch notwendigen analogen Arbeitsschritte, die aber auf Grund der Datenmengen praktisch nicht durchführbar sind.¹³⁹



Abb. 4-47: Anschlussdetail

¹³⁸ Vgl. Mayer H./Stockebrand, 2010, S. 199

¹³⁹ Vgl. Santer, 2008, S. 44

Um die konstruktiven Möglichkeiten der großformatigen Kerto-Q-Platten auszunützen und die Anzahl der nötigen Holzverbindungen möglichst gering zu halten, wurde bei der Aufteilung der Geometrie darauf geachtet, möglichst große Elemente herstellen zu können.



Abb. 4-48: Abstützungen während der Montage

Für den Montageablauf vor Ort bedeutete dies aber einen besonderen Koordinationsaufwand, da beim Einbau der einzelnen Stücke neben dem Einsatz großen Geräts verstärkt auf Abhängigkeiten mit anderen Bauteilen (Treppen, Stahlkonstruktionen) und die daraus resultierende Montage-reihenfolge geachtet werden musste. Da die gesamte Konstruktion des Parasols als zusammenhängendes Tragwerk konzipiert ist, waren für den gesamten Zeitraum der Montage Abstützungen teilfertiger Bereiche notwendig.

Bei der Montage wurden großformatige mobile Plattformen eingesetzt, die es den Arbeitern vor Ort ermöglichten, die Holzelemente in bis zu 20 Metern Höhe genau zu positionieren und zu verbinden.

Im Zuge der Entwurfsbearbeitung entwickelte sich das Bestreben, die klassische Trennung von Tragwerk und Hülle aufzuheben und eine Struktur zu entwickeln, die sowohl statische als auch Raum bildende Eigenschaften aufweist. Schließlich wurde ein System gewählt, bei dem Holzscheiben unterschiedlicher Dicke als einzige konstruktive Bauteile festgelegt wurden, woraus sich eine Vielzahl von Anforderungen an die einzelnen Elemente ergab, die wiederum eine besondere Herausforderung bei der Planung und Koordination darstellte.

Nach der Festlegung der Geometrie durch die Architekten musste die ausführende Firma ein System für die tektonische Fügung der Elemente finden, das die unterschiedlichen geometrischen Situationen berücksichtigt und darüber hinaus auch besonders wirtschaftlich ist. Nach Abwägung aller Parameter wurde ein Anschlussdetail entwickelt und man entschied sich für einen verhältnismäßig komplexen Bauteil, welcher aufgrund unterschiedlicher Einstellmöglichkeiten mit wenigen Variationen an ca. 95 Prozent der unterschiedlichen geometrischen Situationen verwendet werden konnte. Die verbleibenden 5 Prozent wurden mit Sonderbauteilen gelöst.¹⁴⁰

Die komplizierten Pfahlgründungen mit bis zu 40 Meter langen Pfählen stellten eine weitere Herausforderung für die ausführende Firma dar, da mit den Archäologen um jeden Quadratzentimeter Boden gerungen werden musste.

Auf den Pfahlkopfplatten stehen drei ca. 35 Meter hohe Stahlbeton-Aufzugtürme sowie die Fußpunkte einer Brückenkonstruktion mit einer Spannweite von 60 Metern, die gebaut werden musste um die archäologischen Ausgrabungen möglichst wenig zu beeinträchtigen. Die Pfahlkopfplatten sind auch die Basis der Stahlkonstruktion für die Restaurantebene, die vollständig in die Holzstruktur der Parasols integriert ist. Diese Holzstruktur hat ungefähr die Länge und die Höhe eines Airbus 380.¹⁴¹

¹⁴⁰ Vgl. Mayer/Stockebrand, 2010, S. 202-204

¹⁴¹ Vgl. Santer, 2008, S. 44



Abb. 4-49: Brückenkonstruktion

Die Stadt Sevilla beabsichtigt mit diesem Projekt bzw. der Wiederherstellung des Marktplatzes das einst lebendige tägliche Leben auf der Plaza de la Encarnación wieder herzustellen. Durch die verbesserte Infrastruktur nach der Inbetriebnahme der Parasols können auch Einwohner von anderen Teilen der Stadt einfach den Marktplatz erreichen und dieser Umstand unterstreicht weiter die wichtige Rolle des Platzes für die städtische Umgebung. Der Platz erfüllt die Rolle eines einzigartigen, offenen, urbanen Raums innerhalb der dicht verbauten Altstadt von Sevilla, in dem viele Aktivitäten stattfinden können. Die gut entwickelte Infrastruktur fördert nicht nur die Belebung des Platzes, sondern wird dadurch auch ein für Touristen interessantes Reiseziel. Die Furnierschichtholz-Parasols werden nicht nur einen neuen Ort der Identifikation für Sevilla kreieren, sondern auch die Rolle Sevillas als eines der interessantesten Reiseziele Spaniens unterstreichen.¹⁴²

¹⁴² Vgl. architekten24

5. RESUMÉE

Die Analyse der untersuchten Bauten lässt eine Entwicklung in der Konzeption architektonischer Entwürfe in Richtung eindeutig definierter Geometrien regelbasierter Formen erkennen. Es ist der Prozess des Bauens, der im Vordergrund steht, und nicht mehr das Produkt. Im Vergleich zu den freien Experimenten in der Frühzeit der Digitalisierung scheint sich eine „Strukturform“ des Computers in der Architektur zu entwickeln. Es findet eine Akzentverschiebung von der Formfindung zur Strukturbildung und von dieser wieder zurück zur Form statt.

Projekte wie die hier ausgewählten entstehen in einem emergenten (ergebnisoffenen) Prozess. Entwerfen wird zum Festlegen von Funktionen und Parametern. Der Entwurf wird dabei nicht mittels Zeichnungen, sondern durch das Programmieren und das Festlegen von Flächen und Formen mittels numerischer und algorithmischer Vorgaben weiterentwickelt. Durch eine prozesshafte Arbeitsweise unter Erzeugung vieler Varianten entsteht ein anderes Verständnis von Form. Entwerfen wird zur Mischung aus regelbarer Festlegung und experimentellem Erkundungsprozess, was grundsätzlich neue Raumkonzepte ermöglicht.

Das gemeinsam Verbindende der beschriebenen, in ihrer Konzeption unterschiedlichen Holzkonstruktionen ist eine neue Plastizität. Der Werkstoff Holz hat die Rolle der formbestimmenden und formerzeugenden Elemente des Baukörpers - der Beginn der Entwicklung einer neuen holzspezifischen Formensprache und neuer Tragwerkskonzepte im Holzbau.

Im Unterschied zum analogen Entwerfen löst sich im Planungsprozess die Form vom Material und verlagert sich im Ablauf des Entwurfs- und Produktionsprozesses nach hinten. Durch die neuen Herstellungsmethoden, die einen durchgängigen „work-flow“ erfordern und ermöglichen, wird die Entwurfsplanung zur Produktionsplanung. Das Material als formgebender

Parameter wird abgelöst von den Gesetzmäßigkeiten biologischer, physikalischer oder statischer Prozesse, die am Computer simuliert werden können. Die Dualität von Form und Material wird aufgehoben.

Wesentlich für die Planung und Produktion von Nonstandard Projekten ist eine gut geplante Logistik um die technischen Möglichkeiten und die digitalen Schnittstellen des gesamten Prozesses mit den beteiligten Firmen frühzeitig besprechen zu können. Faktoren aus dem Herstellungsprozess können dadurch früher und einfacher in den Entwurfsprozess integriert werden, so dass es kaum eine Kluft zwischen Form und Materialisierung mehr gibt. Ebenso erforderlich ist die Koordinierung der Montagereihenfolge der Bauteile.

Wie die untersuchten Projekte zeigen, bedarf die Realisierung der Entwurfsmöglichkeiten einer genauen Kontrolle der Schnittstellen und einer Zusammenarbeit aller Gruppen in jeder Projektphase um ästhetisch, technisch und finanziell eine adäquate Lösung zu finden. Ermöglicht wird die Kommunikation zwischen allen Beteiligten, die alle gleichzeitig am gleichen Datenmodell arbeiten können durch den Einsatz des Computers. Die simultane Bearbeitung großer Datenmengen erlaubt die Beherrschung von Komplexität und das parallele Betrachten unterschiedlicher Aspekte. Es bilden sich dadurch auch Gruppen von Software-Spezialisten, die ihre eigenen Softwareanwendungen programmieren und speziell für die Aufgaben zugeschnittene Werkzeuge selbst erstellen können. Dabei werden Tätigkeiten zur parametrischen Optimierung vor allem für die Ausführung und konzeptuelle Entwurfswerkzeuge für die Anfangsphase eines Projektes unterschiedlich behandelt.

Digitale Entwurfswerkzeuge ermöglichen die Entwicklung komplexer Geometrien. Hoch entwickelte Softwareprogramme und Techniken bieten dabei enorme Möglichkeiten zu einer beinahe unbegrenzten Entwicklung von Freiformflächen. Um die Entwurfsmöglichkeiten, die sich durch die Digitalisierung ergeben, auch in der Realisierung voll auszunützen und

kostengünstig zu bauen, müssen die Planungs- und Fertigungsprozesse mit genauen und möglichst standardisierten Schnittstellen versehen sein, die derzeit aber nur begrenzt vorhanden sind. Sonderfälle wie Metz und Yeosu, wo die gekrümmten Bauteile im CAM-System als Einzelstücke programmiert wurden, werden vermutlich nicht in die Standardlösungen aufgenommen.

Architektur ist projektorientiert, so dass eine Standardisierung schwierig ist. Cache vertritt die Ansicht, dass Wissen und Methoden verbunden mit der Anwendung parametrischer Technologien basierend auf architektonischen Typologien und austauschbaren Komponenten im Vordergrund stehen sollten. Mit Hilfe von Project Data Management könnten neue architektonische Komponenten geschaffen werden.¹⁴³

Das Zusammenführen von Struktur und Form könnte in Zukunft, um die spätere Realisierbarkeit sicher zu stellen, durch frühzeitige Implementierung materialgebundener und fertigungstechnischer Informationen bereits in den digitalen Entwurfsprozessen stattfinden. Das elektronische Paradigma führt zu einem neuen Rollenbild des Architekten basierend auf einer engen Zusammenarbeit von Bauherren, Architekten, Bauingenieuren, den einzelnen Gewerken, sowie Informations- und Produktionstechnikern.

¹⁴³ Vgl. Cache/Hirschberg/Gethmann, 2010, S.66

6. LITERATUR

- AMBROZY, Heinz / GIERTLOVÁ, Zuzana: Planungshandbuch
Holzwerkstoffe mit hohem Vorfertigungsgrad
Springer-Verlag, Wien, 2005
- ANTEMANN, Martin: Freiheit und Perfektion im Holzbau
Bauen mit Holz 9 | 2009
- ARCHITEKTEN24: www.architekten24.de/.../metropol-parasol.../index.htm
15.03.10
- BAN, Shigeru/DE GASTINES, Jean: Architektur-Projektbeschreibung
Le Magazine des Centre Pompiduo - Metz
Sommer 2005 / Nr. 1
- BARTL, Rudolf: Abbund aktuell
Holzbau-Magazin 2007
- BECHTOLD, Martin: More Bang for the Buck?
GAM 06, 2010
- BEHANECK, Marian: Unplanbares planen
Deutsches Ingenieurblatt 07-08 | 2009
- BEHANECK, Marian: Unplanbares planen
www.deutsches-ingenieurblatt.de, Juni 2009, 15.03.10
- BERNER FACHHOCHSCHULE: Ein Dach geht um die Welt
www.intranet.ti.bfh.ch/fileadmin/img/hti/kompr/.../medienspiegel_8.pdf
21.04.10
- BETTUM, Johan: Architektural form and saturated space
GAM 06, 2010
- BLUMER, Hermann | 2010
Geflochten und geformt: Vom Baum zum Raum
www.nextroom.at/data/media/med_binary/original/1265881382.pdf
15.03.10
- BOCAD 3D
www.ips-fair.com/de/partner/bocad.htm, 15.03.10
- BOGUSCH, Walter: Der Natur nachempfundene Bauten mit Holzstrukturen
Schweizer Holzbau online
www.schweizerholzbau.ch/Artikel-Einzelansicht.20+M562da0135a.0.html
15.03.10

- BORKOWSKY, Caspar: Emergente Ästhetik – Netzwerke des Ästhetischen und ihre Übertragungskanäle, Studienarbeit 2003
- BRAUER, Joachim: Aktuelle Holzwerkstoffe m. hohem Vorfertigungsgrad
DBZ 5|2008
- BRIEGLEB, Till: Bauchtanz der weißen Wände
Art DAS KUNSTMAGAZIN, Nr. 4 / April 2009
- BRÜDERLIN, Beat /MEIER, Andreas: Computergrafik und geometrisches Modellieren, Teubner GmbH, 2001, S. 233
- CACHE, Bernhard/HIRSCHBERG, Urs/GETHMANN, Daniel: On Sollertia and Hyperpragmatism, GAM 06, 2010
- CARPO, Mario: The Digital, „Mouvance“, and the End of History
GAM 06, 2010
- CENTRE POMPIDOU - METZ
Der Auftrag: Die Begegnung zweier Ambitionen
www.centrepompidou-metz.fr/upload/img, 15.03.10
- CENTRE POMPIDOU - Paris
Ausstellung: Architectures non standard, 2004
www.designboom.com/contemporary/nonstandard.htm
www.centrepompidou-paris.fr, 01.07.10
- COMMUNIQUÉ DE PRESSE
Ausstellung 30.06 – 04.10.2004
www.centrepompidou.fr/pompidou/...nsf/.../metz%20allemand.pdf
15.03.10
- DEPLAZES, Andrea: Holz> indifferent, synthetisch, abstrakt - Kunststoff
ARCH+ 193, September 2009
- E-LEARNING: www.elearning.bildung.at/statisch/bmbwk/de/elearning/metadatenmodellversion1_3_2.pdf, 15.03.10
- FREI, Otto: Pneu und Knochen
Karl Krämer Verlag, Stuttgart 1995
- GAM 06, 2010: www.gam.tugraz.at/d/cfp06.html, 15.03.10
- GÖTTLEIN, Caroline: Dach + Holz, 2008
www.sfsintec.biz/internet/sfsmedien.nsf/.../mik_03_08_4043ing.pdf
15.03.10
- HAGEN HODGSON, Petra: Architektur und Bionik, archithese 2 | 2002

- HEIDLINDEMANN, Bernd: Architektur von Freiformflächen
www.rueckblick.coburger-designstage.de/cdt.../blob_architektur.pdf
15.03.10
- HENSEL, Michael / MENGES, Achim: Holz-Form-Findung
ARCH+ 193, September 2009
- HIRSCHBERG, Urs: Call for Papers
GAM 06, 2009
- HOLZBAU SpA, Bressanone
www.holzbau.com/index.php?id=165&lang=de, 10.04.10
- KERTO Handbuch 2000
- KLEIN, Stephan: Ein Dach voller Kunst
mikado 12 | 2008
- KLOFT, Harald: Logik oder Form
GAM 06, 2010, www.gam.tugraz.at/d/cfp06.html, 15.03.10
- KLOFT, Harald: Non-standard Structural Design for Non-standard Architecture
In: Kolarevic B./Malkawie M. (ed.), Performative Architecture. Beyond Instrumentality, Spon Press, London 2004, S. 137-141
- KOCKELKORN, Anne: Zur Kommunikation zwischen Zimmermeistern und CNC-Fräsen
ARCH+ 189, Oktober 2008
- KRUSE, K. / VENSCHOTT, D.: Eigenschaften und Einsatzpotentiale neuer Holzwerkstoffe im Bauwesen
Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg
Arbeitsbericht Nr. 2001/02, Mai 2001
- KUHNERT, Nikolaus: Entwerfen im digitalen Zeitalter
ARCH+ 189, Oktober 2008
- LE BOURVA, Sophie: Struktur - Tragwerk und Dachkonstruktion
Le Magazine des Centre Pompidou - Metz
Sommer 2007 / Nr. 3
- LYNN, Greg: Bionische Sensibilität
archithese 2 | 2002
- MAYER H., Jürgen: über die CH, Sevilla und Nachhaltigkeit
Kommentar v. 23. Juni 2009
Metropol Parasol | Büro für Stadtfragen
www.stadt.swissblog.ch/?tag=metropol-parasol, 15.03.10

- MAYER H., Jürgen / STOCKEBRAND, Jan-Christoph
Von digital zu analog – „Metropol Parasol“, Sevilla
GAM 06, 2010
- MÉCHIN, Ralph/RAUD, Florence: Communiqué de Presse
Ausstellung 30.06 – 04.10.2004
www.centrepompidou.fr/pompidou/...nsf/.../metz%20allemand.pdf
15.03.10
- MEISTER, Martina: Centre Pompidou in Metz
Das Wunder soll sich wiederholen
Frankfurter Rundschau
www.fr-online.de/in_und_ausland/kultur_und_medien/feuilleton
15.03.10
- MERZ, Konrad: Konstruieren> Vom Balken zur Platte
ARCH+ 193, September 2009
- METZ MÉTROPOLE: Architektur / Technische Merkmale
www.centrepompidou-metz.fr/site/de/nav/caracteristiques-tech
15.03.2010
- METZ MÉTROPOLE: Der Auftrag / Die Begegnung zweier Ambitionen
www.centrepompidou-metz.fr/upload/img, 15.03.10
- MICHELIN, Nicolas: Quartier de l'Amphithéâtre – Metz
Le Magazine des Centre Pompidou - Metz
Sommer 2006 / Nr. 2
- NACHTIGALL, Werner: Wanzen und Brücken
archithese 2 | 2002
- NACHTIGALL, Werner / BLÜCHEL, Kurt G.: Die Natur inspiriert Architekten
Das große Buch der Bionik
- NEUHAUS, Helmuth: Ingenieurholzbau, 2. Aufl. 2009
Vieweg+Teubner, Wiesbaden
- OOSTERHUIS, Kas/XIA, Xin: iA#1 Interactive Architecture
Episode Publishers, 2007
- ORTNER, Laurids: Das Gegenteil riskieren
build, das Architektenmagazin 5 | 2008
- PAWLITSCHKO, Roland
Metropol Parasol – Stadtlandschaft in Sevilla, Detail 12 | 2007

- PEHNT, Wolfgang: Lehrmeisterin Natur
archithese 2 | 2002
- PROHOLZ Austria
www.proholz.at/waldundholz/datenundfakten.htm, 15.03.10
- PRÜFAMT FÜR BAUSTATIK NÜRNBERG: Tipp des Monats 08/01
www.lga.de/lga/de/download/statik_tipp_0108.pdf, 15.03.10
- RAUSCH, Jean-Marie: Editorial
Le Magazine des Centre Pompidou - Metz
Sommer 2005 / Nr. 1
- SANTER, Andre: Pilzkörper
Metropol Parasol Sevilla – Avantgardistischer
Holzbau in einer historischen Altstadt
Holzbau-Magazin 2008
- SCHAEFER, Anke: Einweihung des „maison du projet“
Saarländischer Rundfunk
www.sr-online.de/kultur/840/514362.html, 15.03.10
- SCHAFFITZEL Holzindustrie: Hohe Schule
Holzbau-Magazin 2007
- SCHEURER, Fabian: Mit digitaler Hilfe um die Kurve
Bauen mit Holz 9 | 2009
- SCHEURER, Fabian: Biegen statt Brechen: Digitaler Holzbau
Baunetzwoche 162, 19.02. 2010
www.baunetz.de/dl/727165/baunetzwoche_162_2010.pdf, 10.04.10
- SCHEURER, Fabian / STEHLING, Hanno: Digitaler Holzbau -
Komplexe Formen in Holz
ZUKUNFT HOLZ, Statusbericht
Kap. 13 – Planung, Holzbauweisen
www.hochschule-biberach.de/...zukunft-holz/projektinfo, 15.03.10
- SCHINDLER, Christoph / SCHEURER, Fabian: Rückkehr der Geometrie
ARCH+ 189, Oktober 2008
- SCHINDLER, Christoph / SCHEURER, Fabian: Komplexität bauen
www.wiki.arch.ethz.ch/twiki/pub/D2p/.../2006_schindler_komplexitaetbauen.pdf, 07.07.10
- SCHMID, Volker: TUB: Stahlintarsien in Beton
www.medport.de/nw_read.php, 15.03.10

- SIMONS, Stefan: „Whaooo-Effekt“ aus Waldshut
Spiegel Online Kultur, v. 25.05.09
www.spiegel.de/kultur/gesellschaft/0,1518,626627,00.html, 15.03.10
- SOLIDTHINKING
www.atzonline.de, 10.04.10
- THE FREE DICTIONARY: www.thefreedictionary.com/nonstandard,
07.07.10
- UHR, Mathias: Das Blob-Problem
www.mathys.verwalten.ch/texte/text_blob.pdf, 10.04.10
- UNIVERSITÄT Stuttgart, Studienprojekt 2004: Computational Steering
www.computational-steering.org/seminar/freiformflaechen.pdf
01.07.10
- VOLBERG, Berthold: Architektonische Giftpilze in Sevilla
www.caiman.de/06_07/art_2/index.shtml, 10.04.10
- WALLISSER, Tobias: Vom Blob zur algorithmisch generierten Form
ARCH+ 189, Oktober 2008
- WALLISSER, Tobias: Interview
Detail X 12 | 2007
- WRIGHT, Frank Lloyd: in Architectural Record, Mai 1928, als Teil IV der
Serie unter dem Titel: „In the Cause of Architecture“
- ZAUFT, Doreen, 2008
Diplomarbeit: Steifigkeitsermittlung an Scheibenelementen
im Holzbau mit besonderer Berücksichtigung statischer
Diskontinuitätsbereiche
Institut f. Bauingenieurwesen | Entwerfen u. Konstruieren
TU Berlin
www.ivbh.ch/yes/2008/poster/zauft/pdf, 15.03.10
- ZITZMANN, Marc: Blob-Architektur im Pariser Centre Pompidou
www.nextroom.at/article.php?article_id=8263, 15.03.10
- ZUKUNFT HOLZ, Statusbericht
Kap. 12 – Holzschutz, Oberflächenbehandlung
www.fva-bw.de/publikationen/zukunft_holz/zh_a01.pdf, 15.03.10

7. ANHANG

7.1 Abbildungen

NONSTANDARD STRUCTURES

Abb. 2-1: Shigeru Ban / Centre Pompidou – Metz, Dachstruktur
Quelle: www.fluctuat.net/blog/2365-le-centre-pompidou-metz-en-ligne&usg, 17.04.10

Abb. 2-2: The Muscle, Kas Oosterhuis, 2003
Quelle: www.archispass.org/?paged=126

Abb. 2-3: Multihalle Mannheim, Spannweite bis 60 m
Höhe 20 m, Fläche 7.400 m
Quelle: www.kunst.uni-stuttgart.de/wendland/progetti/mannheim/mannheim_img/img/ma_int2.jpg, 15.03.10

Abb. 2-4: Multihalle Mannheim, Vollholz-Latten 50/50 mm, 2-lagig
Quelle: www.kunst.uni-stuttgart.de/wendland/progetti/mannheim/mannheim_img/img/ma_int2.jpg, 15.03.10

Abb. 2-5: Guggenheim Museum Bilbao, Frank O. Gehry, 1997
Quelle: www.personal.usyd.edu.au/~sat0541/spotlight/arht5908/francesca_hynes.html&h, 15.03.10

Abb. 2-6: Kunsthaus Graz, 2003, Peter Cook / Colin Fournier
Quelle: www.essential-architecture.com/style/sty-mil2-htm, 15.03.10

Abb. 2-7: Autodesk Maya Cover
Quelle: www.freshwap.net/tag/autodesk-projekt-dragonfly&usg, 15.03.10

Abb. 2-8: Rhinoceros Cover
Quelle: www.downtr.net/find/rhino+3d+v3+0+crack+patch+fr+rar.htm&usg, 15.03.10

Abb. 2-9: bocad Logo
Quelle: www.ips-fair.com/de/partner/bocad.htm
15.03.10

Abb. 2-10: Mensa in Karlsruhe
Quelle: www.stadt.swissblog.ch/.../jmayerh_mensa_moltke.jpg, 15.03.10

Abb. 2-11: Metropol Parasol - Sevilla

Quelle: www.designbuild-network.com/projects/metropol-parisol/metropolparisol15.html&usg, 15.03.10

Abb. 2-12: 5-Achs-Frässaggregat

Quelle: www.abbundnw.ch/index.php?nodeId=node470a877f...
15.03.10

Abb. 2-13: Vollautomatische 5-Achs-Abbundmaschine

Quelle: www.abbundnw.ch/index.php?nodeId=node470a877f...
15.03.10

WERKSTOFF HOLZ

Abb. 3-1: Verleimte Werkstoffe aus Vollholz

Quelle: www.informationsdienst-holz.de/elearning
15.03.10

Abb. 3-2: Räumliche Darstellung eines Nadelholzes (Fichte)

Quelle: Holzforschung München, TU München, 17.03.10

Abb. 3-3: Räumliche Darstellung eines Laubholzes (Eiche)

Quelle: Holzforschung München, TU München, 17.03.10

Abb. 3-4: Biologisch-physikalischer Aufbau des Holzes

Quelle: www.informationsdienst-holz.de/elearning
17.03.10

Abb. 3-5: Stammquerschnitt mit einer Fichte mit Wachstumsringen

Quelle: www.gas-wedding.de/thema-baum_holz.htm
15.03.10

Abb. 3-6: Anatomische Hauptrichtungen

Quelle: www.informationsdienst-holz.de/elearning
17.03.10

Abb. 3-7: Platform-Frame Bauweise

Quelle: www.flickr.com/photos/mitopencourseware/3048367956_0147943880.jpg, 17.04.10

Abb. 3-8: Baloon-Frame Bauweise

Quelle: www.flickr.com/photos/mitopencourseware/3047527217_45a87e3a840.jpg, 17.04.10

Abb. 3-9: Kerto-Q Platte

Quelle: www.finnforest.ch/produkte/kerto/pages/kerto-q.aspx&usg, 17.04.10

Abb. 3-10: Holzmassiv-Bauteil

Quelle: www.finnforest.ch/produkt/leno, 17.03.10

Abb. 3-11: Brettschichtholz

Quelle: www.noritec.info/media/brettschichtholz.jpg
18.03.10

Abb. 3-12: Keilzinkenverbindung als geklebter tragender
Längsstoß von Hölzern derselben Holzart

Quelle: www.informationsdienst-holz.de/elearning/holzbau-Kurs_script_v1.2/page_25.html, 18.03.10

Abb. 3-13: Keilzinkenverbindung

Quelle: www.holz-schmidt.de/DE/produkte/konstruktionsvollholz.html, 18.03.10

Abb. 3-14: In der Ebene gekrümmter Bauteil

Quelle: www.brettschichtholz.de/publish/bild0962.jpg
18.03.10

Abb. 3-15: Doppelt gekrümmter Bauteil (Yeoju Golf Resort)

Quelle: www.blumer-lehmann.ch, 19.03.10

Abb. 3-16: Mehrfach gekrümmter Bauteil

Quelle: Hermann Blumer

Abb. 3-17: Dreidimensional gefräster Bauteil

Quelle: Création Holz, SBJ

Abb. 3-18: Furnierschichtholz

Quelle: www.dataholz.com/cgi-bin/webobjects/dataholz
19.03.10

Abb. 3-19: Kerto-Furnierschichtholz

Quelle: www.fertighaus.de/f_haus/info/holzbau.htm
19.03.10

Abb. 3-20: Kerto-FSH

links Vorderseite Deckfurnier ungeschliffen,
rechts Vorderseite Deckfurnier geschliffen

Quelle: www.balteschwiler.ch/pdf/kerto_anwendung.pdf
21.04.10

Abb. 3-21: Kerto-FSH

links Rückseite Deckfurnier ungeschliffen,
rechts Rückseite Deckfurnier geschliffen

Quelle: www.balteschwiler.ch/pdf/kerto_anwendung.pdf,
21.04.10

Abb. 3-22: Kerto-Platten in der Praxis

Quelle: www.finnforest.de/unternehmen/local-news/pages/kertoinderpraxis.aspx, 19.03.10

PROJEKTE

Centre Pompidou - Metz

Abb. 4-1: Situation im Quartier de l'Amphithéâtre

Quelle: www.centrepompidou-metz.fr/site/local/cache-vignettes/l430xh302/Item_img_239_fr_132_pers-feb2d.jpg
22.03.10

Abb. 4-2: Gesamtansicht

Quelle: www.werkbank.files.wordpress.com/2009/10/pompidou-metz.jpg, 22.02.10

Abb. 4-3: Netzstruktur des Daches (links) und ein chinesischer Hut als Modell für die Dachkonstruktion (rechts)

Quelle: www.architekten24.de/projekt/centre-pompidou-metz/uebersicht/11624/index.html, 22.03.10

Abb. 4-4: Büro Shigeru Ban im 6. Stock des Centre Pompidou in Paris

Quelle: www.centrepompidou-metz.fr/site/?/das-arbeitsstudio-von-shigeru-ban&usg, 22.04.10

Abb. 4-5: Erdgeschoss (Ebene $\pm 0,00$)

Quelle: www.nextroom.at/data/media/med_binary/original/1265881382.pdf, 22.04.10

Abb. 4-6: Forum

Quelle: www.archpaper.com/images/features/feature2007_20/robot2.jpg, 22.02.10

Abb. 4-7: Centre Pompidou - Metz, Schnitt

Quelle: www.nextroom.at/data/media/med_binary/original/1265881382.pdf; 22.03.10

Abb. 4-8: Balkenlage mit Furnierschichtholz-Nocken und Scherblöcken

Quelle: Hermann Blumer

Abb. 4-9: Schlitze für die Montage der Stahlbleche, Quelle: Hermann Blumer

Abb. 4-10: Elemente mit eingezinkten Stahlblechen zur Längsverbinding

Quelle: www.ais.badische-zeitung.de/piece/00/f7/6d/47/16215367.jpg, 22.02.10

- Abb. 4-11: Stütze
Quelle: Hermann Blumer
- Abb. 4-12: Stützenkomponenten
Quelle: Hermann Blumer
- Abb. 4-13: Modell
Quelle: www.ak2.static.dailymotion.com/static/video/133/708/14807331/jpeg_preview_medium.jpg; 22.02.10
- Abb. 4-14: Digitales Gesamtmodell der Statik
Quelle: Création Holz, SBJ
- Abb. 4-15: Digitales Modell der Beanspruchungen der Stäbe
Quelle: Création Holz, SBJ
- Abb. 4-15: Skizze der räumlichen Verbindung der 6 Holzbänder mit Dollen
Quelle: Création Holz, SBJ
- Abb. 4-17: Centre Pompidou - Metz vor der Eröffnung
Quelle: www.proholz.at/dynamic/meldung_details.php
11.05.10
- Golf Resort - Yeosu*
- Abb. 4-18: Dachkonstruktion vor der Montage des Trägerrostes
Quelle: Hermann Blumer
- Abb. 4-19: Korean „bamboo wife“
Quelle: www.designboom.com/seoul_design_essence/bamboo_wife.jpg
22.03.10
- Abb. 4-20: Empfangshalle, Quelle: Création Holz, SBJ
- Abb. 4-21: Empfangshalle: Blick nach oben ...
Quelle: detail.de/re_6_plus_galerie_de_holefoto_4100_vollbild.htm
22.03.10
- Abb. 4-22: Aufenthaltsraum im 2. Obergeschoß
Quelle: Création Holz, SBJ
- Abb. 4-23: Clubhaus Hasley, Querschnitt
Quelle: Shigeru Ban Architects, 22.03.10

- Abb. 4-24: Dachkonstruktion mit 21 den Bäumen
Quelle: www.static.urbarama.com/photos/medium/15917.jpg, 22.03.10
- Abb. 4-25: Ein Dachelement des Golfklubdachs setzt sich aus vielen Trägersegmenten zusammen
Quelle: www.static.urbarama.com/photos/medium/15917.jpg, 22.03.10
- Abb. 4-26: Anschluss der Dachelemente an den Stahlring
Quelle: www.static.urbarama.com/photos/medium/15917.jpg, 22.03.10
- Abb. 4-27: Fünffachs-Abbindmaschine beim Zuschnitt eines doppelt gekrümmten BSH-Rohlings
Quelle: www.dgfh.de/nlpdf/info-0093-02.pdf, 22.03.10
- Abb. 4-28: Bezeichnung der fünf Elementtypen mit einem sechsstelligen Nummernsystem
Quelle: Hermann Blumer
- Abb. 4-29: Aufbau der Trägersegmente mit Hilfe von CNC-gefertigten Schablonen im Montagezelt
Quelle: www.dgfh.de/nlpdf/info-0093-02.pdf, 22.03.10
- Abb. 4-30: Versetzen eines Dachelementes
Quelle: www.dgfh.de/nlpdf/info-0092-02.pdf, 22.03.10
- Abb. 4-31: Glasfront mit durchscheinender Holzkonstruktion
Quelle: www.mikado-online.de/23.12.09-holzkunstwerk
22.03.10
- Metropol Parasol - Sevilla*
- Abb. 4-32: Gesamtansicht Richtung Norden
Quelle: www.xilogest.com/pictures/noticias/metropol-parasol.jpg, 23.03.10
- Abb. 4-33: Modell der Finnforest Merk GmbH (FFM)
Quelle: www.harrer-ing.de/projekte/sevilla/grafik/sevilla_bild_01_modell.jpg, 23.03.10
- Abb. 4-34: Plaza de la Encarnación mit Metropol Parasol
Quelle: www.architecture-page.com/assets/images/content/prj_jurg_sevi/3.jpg, 23.03.10

Abb. 4-35: Blick aus Nordosten

Quelle: www.baunetz.de/meldungen/meldungen-juergen_mayer_h_in_graz_753136.html, 23.03.10

Abb. 4-36: Blick auf die Ausgrabungsstätte, Quelle: www.culturadesevilla.blogspot.com/2009_07_01_archive.html, 23.03.10

Abb. 4-37: Blick auf die Plaza Elevada

Quelle: www.diariodelasnubes.blogspot.com/feeds/posts/default&usg, 23.03.10

Abb. 4-38: Veranstaltungsraum für Festivals und Konzerte

Quelle: www.architekten24.de/10734/index.html, 23.03.10

Abb. 4-39: Panoramafenster mit Blick auf Sevilla

Quelle: www.archidose.blogspot.com/2006/02/half-dose-23-metropol-parasol.html, 23.03.10

Abb. 4-40: Beginn des Panoramagangs

Quelle: www.architekten24.de/.../metropol-parasol-pjid_1639.htm, 23.03.10

Abb. 4-41: Panoramagang auf den Parasols

Quelle: www.e-architect.co.uk/spain/seville_university_library.htm&usg, 23.03.10

Abb. 4-42: Blick vom Sky Café auf Sevilla

Quelle: www.archidose.blogspot.com/2006/02/half-dose-23-metropol-parasol.html, 23.03.10

Abb. 4-43: Trägerrost

Quelle: www.skyscrapercity.com/showthread.php, 23.03.10

Abb. 4-44: Stahlbetontürme mit den Nottreppen

Quelle: www.skyscrapercity.com/showthread.php, 23.03.10

Abb. 4-45: Scheibenelement

Quelle: www.sevilla21.com/juan/metropol/madera.jpg
23.03.10

Abb. 4-46: LKW-Transport der Scheibenelemente

Quelle: www.sevilla21.com/juan/metropol/madera2.jpg
23.03.10

Abb. 4-47: Anschluss

Quelle: www.skyscrapercity.com/showthread.php
23.03.10

Abb. 4-48: Abstützungen während der Montage

Quelle: www.jargonetcetera.com/2010/02/super-super-glue.html&usg, 23.03.10

Abb. 4-49: Brückenkonstruktion

Quelle: www.diariodelasnubes.blogspot.com/feeds/posts/default&usg, 23.03.10

7.2 Tabellen

Quelle: NEUHAUS, Helmuth: Ingenieurholzbau, 2. Aufl. 2009
Vieweg+Teubner, Wiesbaden

Tab. 3-1: Holzbaustoffe, Zuordnung von Begriffen nach DIN 1052: 2004-08

Tab. 3-2: Dimensionen von Brettschichtholz / Furnierschichtholz m. Querlagen

Tab. 3-3: Nutzungsklassen von Holzbaustoffen

Tab. 3-4: Bauholzkleber zum Kleben tragender Holzbauteile
nach DIN EN 301: 2006-09

Tab. 3-5: Mindest-Biegeradien gekrümmter (gebogener)
BSH-Bauteile aus Nadelholz nach DIN 1052: 2004-08

7.3 Normen

Quelle: NEUHAUS, Helmuth: Ingenieurholzbau, 2. Aufl. 2009
Vieweg+Teubner, Wiesbaden

NATIONALE NORMEN (D)

DIN 1052: 2004-08 Entwurf, Berechnung und Bemessung
von Holzbauwerken; Allgemeine Bemessungsregeln
und Bemessungsregeln für den Hochbau

DIN 1055-100: 2001-03 Einwirkungen auf Tragwerke;
Grundlagen der Tragwerksplanung,
Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln

- DIN 4074-1: 2003-06 Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit;
Nadelschnittholz
- DIN 4074-3: 2003-06 Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit;
Sortiermaschinen für Schnittholz,
Anforderungen und Prüfung
- DIN 4074-4: 2003-06 Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit;
Nachweis der Eignung zur maschinellen
Schnittholzsortierung
- DIN 16 920: 1981-06 Klebstoffe; Klebstoffverarbeitung; Begriffe
- DIN 68 800-2: 1996-05 Holzschutz; Vorbeugende bauliche Maßnahmen
im Hochbau
- DIN 68 800-3: 1990-04 Holzschutz; Vorbeugender chemischer Holzschutz
- DIN 68 800-4: 1992-11 Holzschutz, Bekämpfungsmaßnahmen gegen
holzerstörende Pilze und Insekten

EUROPÄISCHE NORMEN

- DIN EN 301: 2006-09 Klebstoffe für tragende Holzbauteile,
Phenoplaste und Aminoplaste;
Klassifizierung und Leistungsanforderungen
- DIN EN 385: 2002-03 Keilzinkenverbindungen im Bauholz;
Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen
an die Herstellung
- DIN EN 385: 2007-11 Keilzinkenverbindungen im Bauholz;
Leistungsanforderungen und Mindestanforderungen
an die Herstellung
- DIN EN 386: 2002-04 Brettschichtholz; Leistungsanforderungen und
Mindestanforderungen an die Herstellung
- DIN EN 387: 2002-04 Brettschichtholz; Universal-
Keilzinkenverbindungen; Leistungsanforderungen
und Mindestanforderungen an die Herstellung
- DIN EN 390: 1995-03 Brettschichtholz; Maße, Grenzabmaße

-
- DIN EN 518: 1996-07 Bauholz für tragende Zwecke; Sortierung; Anforderungen an Normen über visuelle Sortierung nach der Festigkeit
- DIN EN 519: 1996-07 Bauholz für tragende Zwecke; Sortierung; Anforderungen an maschinell nach der Festigkeit sortiertes Bauholz und an Sortiermaschinen
- DIN EN 1194: 1999-05 Holzbauwerke; Brettschichtholz; Festigkeitsklassen und Bestimmung charakteristischer Werte
- DIN 1052: 2004-08 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken; Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau
- DIN 1055-100: 2001-03 Einwirkungen auf Tragwerke; Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln
- DIN 4074 1 bis 4 Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit
- DIN 16 920: 1981-06 Klebstoffe; Klebstoffverarbeitung; Begriffe
- DIN 68 141: 1995-08 Holzklebstoffe; Prüfung der Gebrauchseigenschaften von Klebstoffen für tragende Holzbauteile
- DIN 68 800 1 bis 5 Baulicher Holzschutz