

# **Bis zur letzten Schraube : die komplexe Holzfassade des Konzerthauses Kilden war nur dank digitaler Fertigung realisierbar**

Autor(en): **Scheurer, Fabian**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Werk, Bauen + Wohnen**

Band (Jahr): **98 (2011)**

Heft 5: **Entwurfsmaschinen = Machines à concevoir = Design-engines**

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-177629>

## **Nutzungsbedingungen**

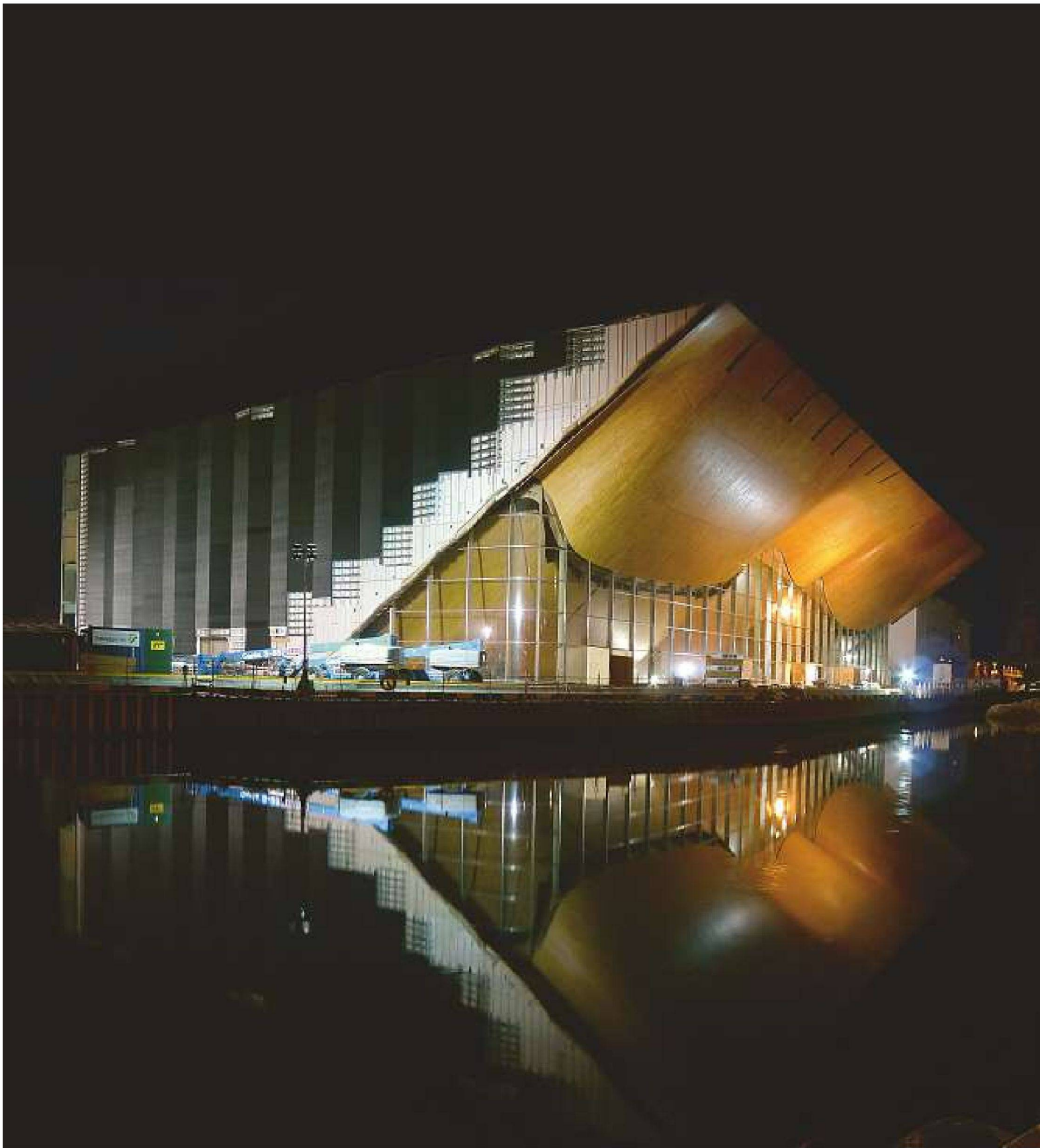
Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.





# Bis zur letzten Schraube

**Die komplexe Holzfassade des Konzerthauses Kilden war nur dank digitaler Fertigung realisierbar**

Fabian Scheurer Im nächsten Jahr wird im norwegischen Kristiansand das Theater- und Konzerthaus Kilden (norwegisch «Quelle») eröffnet. Die spektakuläre Holzfassade des Gebäudes wurde aber bereits Anfang 2011 fertig gestellt – ein Puzzle aus über 14 000 individuellen, digital gefertigten Einzelteilen. Geplant und zum Teil vorgefertigt wurden sie in der Schweiz.

Im März 2009 klingelt bei der Firma «designtoproduction» am Zürichsee das Telefon. Am anderen Ende der Leitung ist der norwegische Holzbau-Unternehmer Sigbjørn Daasvatn. Man hat sich vor Jahren im Rahmen eines Hochschulprojekts der TU Trondheim kennengelernt – kurz nachdem ALA-Architekten aus Finnland den Wettbewerb für das Theater- und Konzerthaus Kilden in Kristiansand gewonnen hatten. Inzwischen ist das Projekt weit fortgeschritten. Der Rohbau wächst bereits aus dem Grund des Hafengeländes 300 Kilometer südwestlich von Oslo. Bei der Schauffront allerdings geht es nicht recht vorwärts: Wellen aus 3500 Quadratmetern einheimischem Eichenholz sollen sich von der 22 Meter hohen Traufkante nach hinten schwingen wie ein wehender Vorhang. Dabei schien das Konstruktionsprinzip eigentlich geklärt: Gerade Stahlträger werden von der Betonkonstruktion des Gebäudes abgehängt; daran angeschweisste, gebogene Stahlrohre definieren die Form und tragen mehrere dünne Lagen Holz, an denen schliesslich die Eichenbretter der Aussenhaut befestigt werden. Aber ein mehrere Quadrat-

Bild: ALA architects

meter grosses Mock-Up der Fassade hat die geforderten Ansprüche nicht erfüllt. Damit die gewellte Fläche mit geraden Eichenbrettern verschalt werden kann, müssen diese exakt ausgerichtet sein und nach oben schmaler werden, was bei der Montage vor Ort einen immensen Aufwand generiert. Gravierender sind jedoch die Probleme, die beim präzisen Biegen der Stahlrohre aufgetaucht sind – entlang der 100 Meter breiten Fassade werden mehrere tausend Laufmeter benötigt. Dafür gibt es zwar computergesteuerte (CNC) Maschinen, doch können diese nur Kreisbogensegmente mit konstantem Radius biegen. Weil die Wellenform kontinuierliche Radiusänderungen erfordert, muss die eigentliche Geometrie durch sehr viele kurze Rohrstücke approximiert werden. Die zahlreichen Schweissverbindungen gehen jedoch zu Lasten der Präzision.

#### Holz statt Stahl

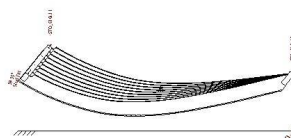
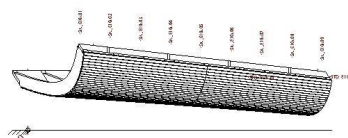
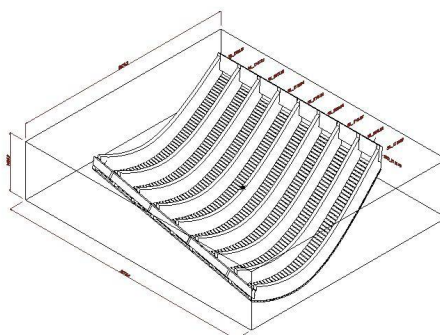
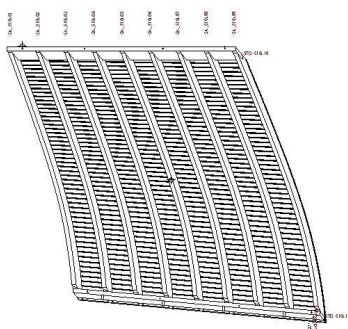
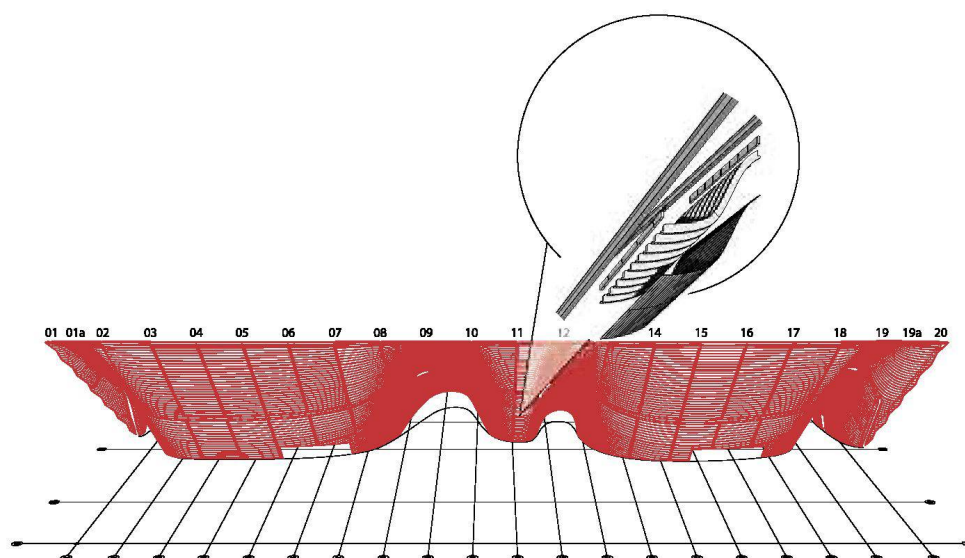
Daasvatn, dessen Firma Trebyggeriet unweit der Baustelle liegt, hat von den Schwierigkeiten erfahren und will dem Kilden-Team einen Unternehmervorschlag machen. Statt eine kompliziert gebogene Stahlkonstruktion vor Ort mit einer wenige Zentimeter dünnen hölzernen Haut zu überziehen, sollen komplette Fassadenelemente aus Holz vorgefertigt und in das auskragende Stahlgerüst eingehängt werden. Die gebogene Tragstruktur liesse sich in Holz wesentlich präziser herstellen als durch plastisches Verformen von Stahl. Ausserdem würde die Präzisionsarbeit vom 20 Meter hohen Gerüst in die kontrollierte Umgebung der Montagehalle verlagert.

Der norwegische Holzbauer zählt zu den Pionieren der CNC-Holzbearbeitung in Norwegen, allerdings hat er noch keine Erfahrung bei der Planung und Ausführung gekrümmter Konstruktionen. Die Schweizer Firma designtoproduction konnte dagegen seit ihrem ersten «digitalen» Holzbauprojekt in Trondheim bei der Planung des Centre Pompidou in Metz und bei einem weiteren Projekt von Shigeru Ban in Südkorea wertvolles Know-how sammeln. An der Schnittstelle zwischen Architekt, Tragwerksplaner und Holzbauer

erstellten die Spezialisten aus Zürich sogenannte «parametrische CAD-Modelle» der Konstruktionen. Darin wurden jedes einzelne Bauteil und deren Verbindungsdetails dreidimensional definiert, bevor die Struktur vom Tragwerksplaner berechnet und die Einzelteile auf computergesteuerten Maschinen produziert wurden. Dasselbe Vorgehen erfordert auch die gewellte Wand in Kristiansand.

Erste Skizzen werden per E-Mail ausgetauscht und schnell wird klar, dass für dieses Projekt weitere Partner notwendig sind. Während in Norwegen die Bootsbauer der Risør Trebåtbyggeri die Herstellung und Montage der Eichenschalung übernehmen, formiert sich in der Schweiz das Team aus designtoproduction, den Holzbauern von Blumer-Lehmann und den Tragwerksplanern von SJB Kempter Fitze. Nach drei Monaten Konzeptentwicklung sind die Verantwortlichen in Kristiansand soweit von der Holzbau-Variante überzeugt, dass sich im Juli 2009 der Generalunternehmer und die Architekten die Möglichkeiten der digitalen Holzbearbeitung vor Ort ansehen: auf der Baustelle des Centre Pompidou in Metz. Dort hat Holzbau Amann zu diesem Zeitpunkt einen Grossteil der 1800 individuellen Dachträger montiert, und es wird augenfällig, mit welcher Präzision sich gekrümmte Holzbauteile verfertigen lassen.

Wenige Wochen später kommt aus Norwegen das OK für den Bau eines weiteren Mock-Ups. Vorher gibt es allerdings noch einen heiklen Punkt zu klären: Die Form der Kilden-Fassade ist definiert durch eine gerade Oberkante und eine geschwungene Unterkante; beide werden durch gerade Linien miteinander verbunden. Mathematisch betrachtet hat diese sogenannte «Regelfläche» den Vorteil, dass entlang der «Regellinien» verlaufende Schalungsbretter nur verdreht und nicht gebogen werden müssen. Im CAD-Modell der Architekten weichen die Regellinien jedoch an einigen Stellen vom Achsraster ab, an dem auch die tragende Stahlkonstruktion ausgerichtet werden muss. Nach einigem Hin und Her wird klar, dass das ganz bewusst geschehen ist, weil dadurch einem der grossen Säle hinter der Fassade



Anstatt die Fassade wie ursprünglich geplant vor Ort zu bauen, wurde sie in 126 Elemente unterteilt, die in einer Schiffswerft vormontiert und dann in das Stahlgerüst eingehängt werden konnten. Jedes Element ist ein digital geplanter und gefertigter, individueller «Bausatz», bestehend aus einem Rahmen mit zwei geraden und bis zu 13 gekrümmten Holzträgern und verkleidet mit bis zu 180 Eichenbrettern. – Bilder: designtoproduction

ein entscheidendes Quäntchen zusätzlichen Raumes verschafft wird. Allerdings sprengt die Abweichung von der Regel nicht nur das Konstruktionsprinzip der Fassadenelemente – sie führt bei genauerem Hinsehen auch zu einem unansehnlichen Knick im oberen Fassadenbereich. Deshalb wird die Unterkante der Fassade schliesslich so weit verschoben, bis die Geometrie überall dem ursprünglichen Grundprinzip entspricht, ohne dass am bereits im Rohbau befindlichen Saal Veränderungen vorgenommen werden müssen.

#### Kooperation der Disziplinen

Erst jetzt, im Oktober 2009, ist die genaue Form der Fassade so präzise definiert, dass ihre Einzelteile rationell geplant und vorgefertigt werden können. Jedes der 126 Elemente besteht aus zwei geraden Trägern aus Brettschichtholz (BSH), zwischen denen bis zu 13 individuell gekrümmte BSH-Träger die jeweilige Form des Elements definieren und an denen die Eichenbretter der Schalung befestigt werden. Auch diese müssen individuell zugeschnitten werden, da sich Neigung und Krümmung der Fassade kontinuierlich ändern und trotzdem ein regelmässiges Muster gerader Fugen vom Fuss der Fassade bis zur Traufkante entstehen soll. Für die CNC-Maschinen, die im Zehntel-Millimeterbereich genau produzieren, stellt dies kein Problem dar. Dagegen bedeutet es eine grosse Herausforderung für die Planung, denn jeder Fehler im CAD-Modell wird mit derselben unerbittlichen Präzision reproduziert. Und da die gekrümmten Elemente schwierig zu vermessen sind, wird sich erst auf der Baustelle herausstellen, ob sie zueinander passen.

Um Fehlerquellen bei der Vormontage der Elemente so weit wie möglich auszuschliessen, werden alle Verbindungsdetails selbstpositionierend ausgeführt. Für jeden der gekrümmten Träger gibt es eine kleine Aussparung an der Verbindung zum geraden Träger. Für jedes der fast 12 500 Eichenbretter der Schalung wird in die gekrümmten Träger eine entsprechende Vertiefung gefräst, die seine exakte Position vorgibt. Per Laser eingemessen werden bei der Vormontage nur vier Referenz-

punkte am Elementrahmen, alles andere funktioniert nach dem Baukasten-Prinzip.

Im November 2009 laufen bei Blumer-Lehmann in Gossau, bei Trebyggeriet in Evje und bei den Bootsbauern in Risør die Maschinen an, um die Bauteile für den gut 20 Quadratmeter grossen Mock-Up zu produzieren, der wenige Wochen später in Kristiansand montiert wird und die Bauherrschaft endgültig überzeugt. In einem letzten Kraftakt müssen über Weihnachten die Tragwerksplaner in der Schweiz und Norwegen ihre Konzepte zur Übereinstimmung bringen, weil sich die Anforderungen an die schon fertig geplante Stahlkonstruktion durch das neue Konstruktionsprinzip geändert haben. Die Stahlbauer warten auf die Freigabe der Pläne, um ihren Terminplan einhalten zu können. Darin fehlen aber noch die exakten Positionen für rund 1000 Bohrungen, an denen die Fassadenelemente fixiert werden sollen. Und da diese von den statischen Anforderungen und der überall unterschiedlichen Geometrie der Elemente abhängen, müssen erst die Freigabe der Verbindungsdetails abgewartet und alle Elemente konstruiert werden, bevor die Schweissbrenner gezündet werden können. Nur durch das konsequente Konstruktionsprinzip, das sich in massgeschneiderten parametrischen CAD-Werkzeugen abbilden lässt, ist das in der knappen verfügbaren Zeit überhaupt möglich. Es gibt nur zwei Typen von Verbindungen zwischen Holz und Stahl, die sich den 1000 verschiedenen Gegebenheiten an jedem Ort der Konstruktion nach definierten Regeln automatisch anpassen. Noch vor Ende Januar 2010 sind die Pläne für 100 von 126 Elementen fertig.

Ab März 2010 brummt die Produktion an allen Standorten auf Hochtouren. Trebyggeriet produziert insgesamt 292 gerade, Blumer-Lehmann 1769 gekrümmte BSH-Träger, und bei der Trebåtbyggeri laufen 12 248 Eichenbretter durch die CNC-Fräse. Die exakten Daten für alle 14 309 Bauteile kommen aus den Schweizer Rechnern und werden digital an die Fertigung übermittelt. Im Mai 2010 beginnt die Vormontage der Elemente auf der Werft in Risør, von wo sie auf dem Seeweg direkt an die 100 Kilometer Luftlinie



Basierend auf den digitalen Modellen von designtoproduction werden die gekrümmten Fassadenträger bei Blumer-Lehman in Gossau (oben) und die Eichenbretter bei der Risør Trebåtbyggeri in Norwegen (unten) auf CNC-Maschinen produziert. Am Ende müssen sie auf einen halben Millimeter genau zusammenpassen. Die gekrümmte Geometrie macht ein präzises Einmessen der Verbindungen beim Zusammenbau praktisch unmöglich. Daher ist die Position jedes individuell

zugeschnittenen Schalbrettes durch Ausfräsungen in den Trägern definiert – der Aufwand wird von der manuellen Montage in die maschinelle Produktion verlagert und damit in die Planung und Arbeitsvorbereitung. Sogar die 125 000 Löcher für die Verschraubung sind im digitalen Modell definiert und werden millimetergenau vorgebohrt. – Bilder: designtoproduction (oben), Risør Trebåtbyggeri (unten)

entfernte Baustelle verschifft werden – nur so lassen sich Bauteile dieser Grössenordnung überhaupt transportieren.

Am 14. Dezember 2010, ein gutes Jahr nach Vertragsabschluss und zweieinhalb Jahre nach dem ersten Telefonat, wird das letzte Element hochgezogen und montiert.

**Fabian Scheurer**, \*1969, Architekt und Informatiker. Studium an der TU München. Arbeit als Assistent am CAAD-Lehrgebiet der TU München und als Softwareentwickler bei Nemetschek, sowie als Berater für neue Medien bei Eclat in Zürich. Von 2002–06 Assistent an Ludger Hovestadts CAAD-Professur der ETHZ. 2005 Mitbegründer der Forschungsgruppe *designtoproduction* an der ETHZ und seit 2006 Partner in der gleichnamigen Firma und Leiter des Zürcher Büros.

**Bauherrschaft:** Kilden IKS, Kristiansand (NO)  
**Architekten:** ALA Arkitekter AS, Helsinki (FI), SMS Arkitekter AS, Kristiansand (NO)  
**Generalunternehmer:** AF Gruppen AS, Oslo (NO)  
**Ingenieur:** Multiconsult AS, Oslo (NO)  
**Holzbaufassade:** Trebyggeriet AS, Hornnes (NO)  
**Beratung & CNC-Fertigung Holzbau:** Blumer-Lehmann AG, Gossau (CH)  
**CNC-Fertigung Fassadenfläche & Elementmontage:** Risør Trebåtbyggeri AS, Risør (NO)  
**Ingenieur Holzbau:** SJB Kempter-Fitze AG, Eschenbach (CH)  
**Beratung & Parametrische Planung:** *designtoproduction* GmbH, Erlenbach/Zürich (CH)

**résumé** **Jusqu'à la dernière vis** La salle de concert «Kilden» à Kristiansand en Norvège frappe par sa spectaculaire façade en bois formée de plus de 14 000 éléments individuels confectionnés numériquement. Des vagues de 3500 mètres carrés en bois de chêne indigène ondulent du chéneau haut de 22 mètres vers l'arrière comme un rideau flottant dans le vent. A l'origine, il était prévu de les monter sur des tuyaux en acier coudés qu'on aurait soudés à des porteurs en acier droits. Mais un mock-up de plusieurs mètres carrés de façade montra au printemps 2009 que la construction ne fonctionnait pas. C'est pourquoi le spécialiste de la construction en bois, le norvégien Daasvatn, proposa la confection d'éléments de façade complets en bois, à suspendre sur une structure en acier en saillie. Il chercha du soutien pour la planification de ce projet auprès de l'entreprise suisse «*designtoproduction*», qui avait déjà calculé la construction du Centre

Pompidou de Metz. A la jonction entre l'architecte, le planificateur de structure et le charpentier, ces spécialistes de Zurich construisent pour Kilden des modèles de constructions appelés «modèles paramétriques CAD». En collaboration avec les charpentiers de Blumer-Lehmann et les planificateurs de structures de SJB Kempter Fitze, ils y définissent chaque élément de construction individuel et ses détails d'imbrication en trois dimensions. Les constructeurs de bateaux de Risør Trebåtbyggeri se chargent de la fabrication et du montage du coffrage en chêne. A partir de mars 2010, les calculateurs suisses vont transmettre numériquement 14 309 éléments de construction à la fabrication; le dernier élément sera monté sur place en décembre 2010.

**summary** **Down to the Last Screw** The "Kilden" concert hall in Kristiansand in Norway attracts our attention with a spectacular wood facade made up of over 14 000 individual, digitally fabricated parts. Folds consisting of 3500 square metres of native oak undulate from the 22-metre-high eaves like a billowing curtain. Originally it was planned to mount them on curved steel tubes that were to be welded to straight steel trusses. However, in spring 2009 a mock-up of the facade several square metres in area showed that this construction would not work. The Norwegian timber construction expert Sigbjørn Daasvatn therefore suggested fabricating entire facade elements in wood and hanging them in the projecting steel frame. To plan this approach he sought the aid of the Swiss firm "designtoproduction", which also carried out the calculations for the construction of the Centre Pompidou in Metz. At the interface between architecture, structural design and timber construction the specialists from Zurich created what are called "parametric CAD models" of the construction for Kilden. In these, in collaboration with the timber construction SJB Kempter Fitze, they defined every single building part and its connections in three dimensions. The Norwegian boat builders from Risør Trebåtbyggeri took over the production and fitting of the oak shell. From March 2010 onwards 14 309 building elements were digitally sent from Swiss computers to the manufacturer; in December 2010 the last element was mounted on site. ■





Bis auf diejenigen Fassadenelemente, die den Boden berühren, wurden alle vormontiert zur Baustelle verschifft und in das Stahlgerüst eingehängt – mit Montagefugen von nur 10 Millimetern bei einer Elementgröße bis zu 50 Quadratmetern. Damit die Befestigungspunkte zwischen Stahl und Holz erreichbar waren, wurde die Eichenschalung an den Rändern der Elemente erst nach der Montage

geschlossen. Am Ende laufen die 10 mm breiten Fugen zwischen den Eichenbrettern schnurgerade vom Boden bis zur Traufkante in 22 Meter Höhe durch. – Bilder: Trebyggeriet AS (oben, unten rechts), Thomas Unsheimo (unten links)