

Digitaler Workflow im Freiform-Holzbau

De nouvelles possibilités pour l'ingénierie de la construction bois

Fabian Scheurer
designtoproduction GmbH
CH-Erlenbach/Zürich



Digitaler Workflow im Freiform-Holzbau

1. Einleitung

In der jüngsten Vergangenheit sorgen immer häufiger grosse Holzbauprojekte mit komplexen, gekrümmten Formen für Furore. Die Digitalisierung des Entwurfs-, Planungs- und Bauprozesses ermöglicht die Bewältigung immer grösserer Herausforderungen. Dabei soll aber nicht vergessen werden, dass die Durchführung solcher Non-Standard-Projekte trotz aller Computerunterstützung auf einer minutiösen Planung beruht und das perfekte Zusammenspiel einer Vielzahl von beteiligten Spezialisten erfordert. Gewohnte Standard-Prozesse mit ihren eingespielten Schnittstellen funktionieren hier praktisch per definitionem nicht mehr oder nur noch teilweise. Daher muss die gesamte Prozesskette vom Entwurf bis zur Montage jeweils im Detail neu betrachtet und optimiert werden. Was das bedeuten kann soll an einem Beispiel illustriert werden.

2. Das Beispiel Kilden

Das Theater- und Konzertgebäude „Kilden“ (norweg. „Quelle“) im norwegischen Kristiansand wird ab 2012 die Heimat des Kristiansand Symphonie Orchesters, der Süd-norwegischen Oper und einer Reihe lokaler Theatergruppen sein. Das hervorstechende Merkmal des vom finnischen Architekturbüro ALA in Helsinki entworfenen Stahlbeton-Gebäudes ist die geschwungene Holzfassade auf der Wasserseite. Über die gesamte Breite von einhundert Metern zieht sich die Front von der Traufkante in 22m Höhe in Wellen nach hinten und bildet einen 3'500 Quadratmeter grossen, frei auskragenden „Vorhang“ aus Eichenholz. Durchschnitten wird er von einer vertikalen Glasfassade, die das Foyer nach aussen abschliesst und einen spektakulären

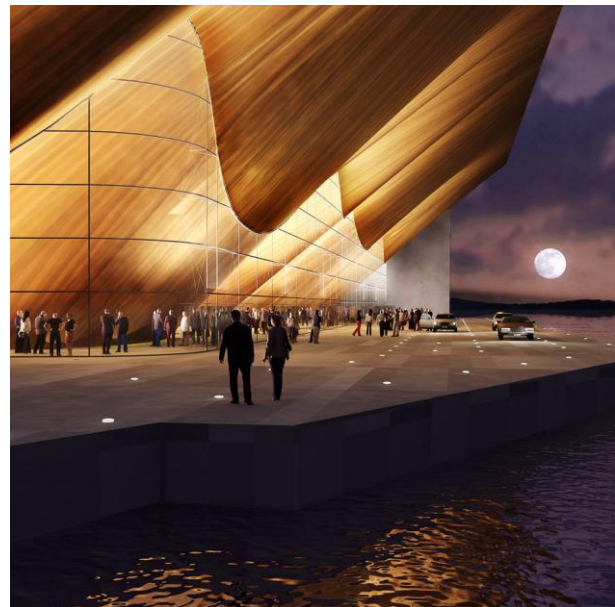


Abb. 1: Rendering der Fassade. ©Kilden

Blick auf den Hafen von Kristiansand ermöglicht. Getragen wird die gekrümmte Fassade von einer Stahlkonstruktion, die am Betonkern des Gebäudes aufgehängt ist. Ausgeführt wurde sie vom norwegischen Holzbau-Unternehmen Trebyggeriet, unterstützt von Blumer-Lehmann, SJB Kemper-Fitze und designtoproduction aus der Schweiz.

2.1. Warum Holz?

Im ursprünglichen Entwurf sollte nur die äusserste Schicht der Fassade hölzern sein. Die Schnittstelle zwischen Gebäude und Fassade bilden 22 gerade, in unterschiedlichen Neigungswinkeln abgehängte Stahlträger. Daran wiederum sollten gebogene Stahlrohre geschweisst und vor Ort mit Latten und Eichenbrettern beplankt werden. Das Konzept erwies sich jedoch nach einigen Versuchen als nicht zielführend. Ein grosses Problem waren die hohen Qualitätsanforderungen für die Beplankung mit durchlaufenden Fugen über die gesamte Höhe der Fassade. Aufgrund

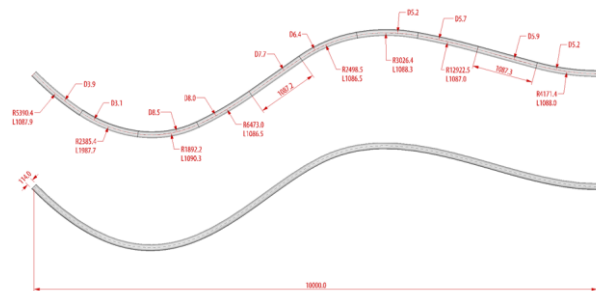


Abb. 2: Kontinuierlich gekrümmte Rohre lassen sich nur durch Aneinandersetzen von Kreisbogen-Segmenten annähern.

der Krümmung wären Zuschnitt und Montage vor Ort schlicht zu langwierig geworden. Und auch die Unterkonstruktion wäre nur mit grossem Aufwand in der geforderten Toleranz herstellbar gewesen, da die verfügbaren CNC-Biegemaschinen keine kontinuierlichen Krümmungswechsel zulassen. Etwa sechs Kilometer Stahlrohr hätten in etliche tausend Kreisbogensegmente zerlegt und wieder zusammengeschweisst werden müssen.

Während der Rohbau schon erstellt wurde entschloss sich daher das lokale Holzbau-Unternehmen Trebyggeriet zur Abgabe einer Unternehmervariante für die Fassade, die in enger Zusammenarbeit mit Spezialisten aus der Schweiz entwickelt wurde. Das Konzept konnte schliesslich sowohl Bauherrn und Architekt als auch Generalunternehmer und Ingenieure überzeugen und sah im Wesentlichen zwei grosse Änderungen vor:

1. Holz für die Tragstruktur: die formgebende Sekundärstruktur der Fassade wird aus gekrümmten Brettschichtholzträgern gefertigt, welche im Gegensatz zu Stahl mit Hilfe einer 5-Achs-CNC-Bearbeitung millimetergenau in die gewünschte Form gebracht werden können und eine präzise Detaillierung ermöglichen.
2. Vorfertigung: Die Fassade wird nicht vor Ort gebaut sondern elementweise unter kontrollierten Bedingungen vormontiert. Nicht nur die Tragstruktur sondern auch die – aufgrund der Krümmung individuellen – Eichenbretter für die Beplankung werden komplett CNC-gefertigt, um ein präzises Fugenbild zu garantieren.

Der Eingriff in den ursprünglichen Entwurf der Architekten beschränkt sich dabei auf einige zusätzliche Querfugen an den Elementstössen - und eine kleine Änderung der Form.

2.2. Referenz-Geometrie

Im Falle von Kilden ist die Form der Fassade durch eine sogenannte „Regelfläche“ definiert: Die gerade Oberkante und die geschwungene Unterkante werden mit geraden „Regellinien“ verbunden. Die dadurch entstehende, nicht abwickelbare Fläche kann deshalb mit Brettern verkleidet werden, welche nicht gebogen sondern nur um ihre Längsachse verdreht sind. Für die Ausrichtung der Regellinien gibt es aber mathematisch gesehen unendlich viele Möglichkeiten, so dass sich aus den denselben beiden Eingangskurven auch „unbaubare“ Fassadenflächen erzeugen lassen. Damit die Brett-fugen nämlich mit den Stössen der Fassadenelemente und der Stahlkonstruktion übereinstimmen, müssen alle Regellinien in Richtung der Gebäudeachsen verlaufen. An einer Stelle der Fassade hatten die finnischen Architekten diese Regel bewusst ignoriert, um hinter der Fassade ein wenig mehr Platz für einen Konzertsaal zu bekommen. Da dieser schon im Rohbau war musste die Form der Fassade noch ein wenig angepasst werden, bevor die Planung richtig starten konnte.

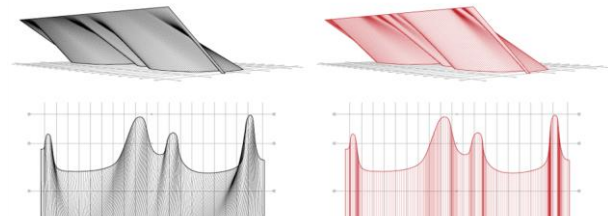


Abb. 3: Zwei Regelflächen zwischen denselben beiden Kurven aufgespannt. Links das Ergebnis der Standard-CAD-Funktion, rechts die eigentlich benötigte Fläche.

Das Beispiel zeigt, dass sich bei komplexen Formen sogar kleine Unterschiede in der Geometrie fatal auf die Realisierbarkeit auswirken können. Oder umgekehrt: Es wird deutlich, welchen Einfluss die Wahl der Konstruktion eigentlich auf das Design haben sollte – und leider allzu selten hat. Steht am Ende des Prozesses eine CNC-Maschine mit Fertigungstoleranzen im Zehntelmillimeterbereich, so sollten die Planungsgrundlagen eher noch eine Grössenordnung genauer sein. Ansonsten werden Fehler im CAD-Modell mit unerbittlicher Präzision im Material reproduziert. Für die digitale Ausführungsplanung muss daher zu allererst eine mathematisch präzise Definition der gewünschten Form gefunden werden, die alle Anforderungen erfüllt - in der Regel in Form eines sogenannten NURBS-Modells. Grosszügige Bautoleranzen dürfen dabei nicht als Begründung für eine ungenaue Planung missbraucht werden. Im Gegenteil: Platz zum Abfangen von Ungenauigkeiten und notwendige Montagefugen müssen präzise geplant werden, um die Möglichkeiten der digitalen Produktion optimal ausnutzen zu können.

2.3. Parametrische Modellierung

Die Kilden-Fassade ist ein Holzbausatz mit insgesamt 14'309 individuellen Einzelteilen: 1'769 gekrümmte BSH-Träger definieren die Form der Fassadenelemente. Sie werden durch 292 gerade BSH-Träger zu Elementen verbunden und mit 895 Bolzen an den Stahlträgern der Primärkonstruktion verankert. 12'248 Eichenbretter schliessen die Elemente nach aussen ab, befestigt durch 123,166 Schrauben. Sämtliche Holzteile wurden auf digitalen Bearbeitungszentren vorgefertigt und mussten daher mit allen Details dreidimensional beschrieben werden.

Solche Mengen an individuellen Bauteilen lassen sich auch mit einem CAD-System nicht mehr „von Hand“ konstruieren. Das Geheimnis heisst „parametrische Modellierung“. Anstatt jedes Teil einzeln zu modellieren, werden Regeln und Abhängigkeiten als Computerprogramme codiert, so dass sich die Bauteile mit all ihren Details auf Knopfdruck automatisch generieren lassen. Ausgangspunkt hierfür ist die oben

erwähnte, präzise Definition der Referenzgeometrie. Diese Vorgehensweise bedingt allerdings, dass möglichst alle Details mit möglichst wenigen und einfachen Regeln definiert werden können. Jede Ausnahme bedeutet entweder eine Fallunterscheidung im Programm, oder doch wieder manuelle Arbeit. Eine systematische Konstruktionsweise ist der Schlüssel zur Beherrschung komplexer Strukturen. Im Falle von Kilden beruhen gut 14'000 Bauteile und 60'000 Verbindungen (von denen keine der anderen gleicht) auf genau zehn Bauteil-Typen und acht Verbindungs-Typen. Da die branchenüblichen CAD-Systeme bisher keine Freiform-Flächen bearbeiten können und auch die benötigten Details nicht in ihrem Standard-Repertoire zu finden sind, müssen hier projektspezifische Speziallösungen geschaffen werden, z.B. durch Programmierung parametrischer Erweiterungen in einem branchenfremden CAD-System.

2.4. Detaillierung

Den Löwenanteil der Verbindungen in der Kilden-Fassade machen die knapp 56'000 Kontaktpunkte zwischen Eichenschalung und BSH-Trägern aus. Da die Fassade doppelt gekrümmt ist, sind die Schalbretter leicht verdreht und ändern ausserdem laufend Ihre Breite. Entsprechend haben alle Verbindungen eine andere Geometrie und wurden sie im parametrischen CAD-System individuell erzeugt. Um die Montage zu vereinfachen wurden für jede davon eine Nut im Träger und die Schraublöcher im Schalbrett CNC-gefertigt. Das erhöhte

zwar den Planungsaufwand und kostet reichlich wertvolle Maschinenzeit beim Schweizer Holzbauer Blumer-Lehmann, gut 1000 Kilometer weiter nördlich, bei der Vormontage der Elemente in Norwegen, amortisierte sich diese Investition dann aber problemlos. Ein präzises Einmessen der über 12'000 Bretter wäre an den gekrümmten Trägern wesentlich kostspieliger gewesen und das Ergebnis hätte die Qualitätsanforderungen – durchlaufende, gleichbleibende Fugen über teilweise mehr als 30 Meter – trotzdem nicht erreicht.

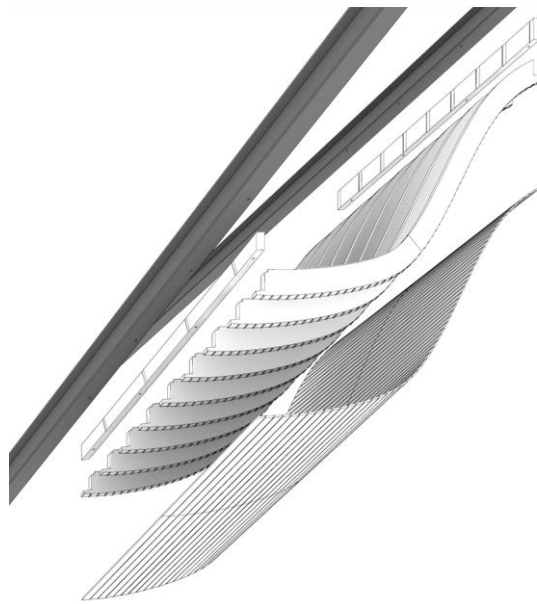


Abb. 4: Eines von 126 individuellen Fassadenelementen. Es besteht aus zwei geraden und neun gekrümmten BSH-Trägern, sowie 110 sich leicht verjüngenden Eichenholz-Brettern.



Abb. 5: CNC-gefäste Nuten helfen bei der exakten Positionierung der Schalbretter entlang der gekrümmten Träger.

Auch alle anderen Verbindungen wurden mit entsprechenden Positionierungshilfen CNC-gefertigt, um die Montage zu erleichtern und die Präzision zu gewährleisten.

Bei der CNC-Fertigung von Verbindungen ist der Holzbau anderen Materialien um Längen überlegen, weil dreidimensionale Details innerhalb des Materials und auf derselben Maschine produziert werden können. Durch das Vorverlagern der Komplexität von der Montage in die Fertigung wird einerseits eine enorme Präzision möglich, andererseits sinkt der Aufwand für manuelle Arbeiten drastisch. Allerdings müssen sämtliche Verbindungen parametrisiert werden, um die Planung effizient abwickeln zu können. Und es müssen alle auftretenden Montagesituationen bereits während der Planung durchgespielt werden, damit es später keine unliebsamen Überraschungen gibt (z.B. mangelnde Erreichbarkeit von Verbindungspunkten oder eine Verkantung beim Einfahren). Lokale Optimierung führt hier nicht zwangsläufig zu einer globalen Verbesserung sondern kann durch unerwünschte Seiteneffekte an anderer Stelle die komplette Prozesskette sprengen.

2.5. Statik

Extrem wichtig bei der Entwicklung und Optimierung der Details ist auch das Wissen um deren statische Beanspruchung. Die Schnittstelle zwischen dem parametrischen CAD-Modell und der Berechnungssoftware der Tragwerksplaner von SJB Kempter-Fitze wurde beim Kilden-Projekt fast ausschliesslich über Excel-Tabellen gelöst. Was sich archaisch anhört, war durch den Einsatz von massgeschneiderten Programmiererweiterungen auf beiden Seiten der Schnittstelle eine überaus effiziente Methode: Im 3D-Modell wurden die gekrümmten Bauteilachsen automatisch in kurze gerade Stäbe übersetzt und deren Anfangs- und Endkoordinaten zusammen mit Stabnummern und weiteren Informationen als Tabelle exportiert. Auf der Seite der Tragwerksplaner konnte dann aus diesen Informationen ebenso automatisch ein Stabwerksmodell im CAE-System erzeugt bzw. aktualisiert werden. Aus der Berechnung der erforderlichen Lastfälle ergaben sich die notwendigen Dimensionen der Bauteile. Die entsprechenden Parameter wurden im CAD-Modell angepasst um erneut ein Stabwerksmodell zu exportieren – bis nach mehreren solcher Zyklen alle Anforderungen erfüllt waren.

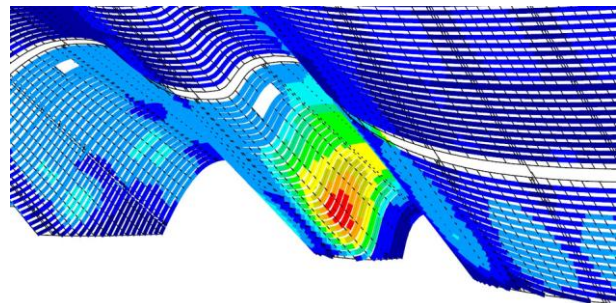


Abb. 6: Belastungssimulation im Stabwerksmodell. Das Erstellen heterogener CAE-Modelle aus CAD-Daten ist mit reinen Geometrie-Schnittstellen nicht zu erreichen. ©SJB

Das Erstellen heterogener CAE-Modelle aus komplexen CAD-Daten ist mit reinen Geometrie-Schnittstellen wie DWG oder IGES nicht zu bewältigen. Die für den Statiker relevanten Schwerachsen der Bauteile existieren oft im CAD-Modell gar nicht und müssen aus den Volumen rekonstruiert werden. Wo sich die Achsen nicht schneiden müssen Verbindungsstäbe eingeführt werden. Beim Übersetzen gekrümmter Bauteile in eine Abfolge kurzer, gerader Stäbe müssen bereits tragwerksplanerische Kriterien beachtet werden, die auf der CAD-Seite nicht verfügbar sind. Schliesslich müssen Materialeigenschaften und Lastfälle definiert werden. Und um die Ergebnisse der Berechnung zurück ins CAD-Modell zu bringen, müssen die Bauteile in beiden Modellen einander eindeutig zugeordnet werden können. Das alles bedeutet bei komplexen, nicht-repetitiven Strukturen einen immensen manuellen Aufwand, der sich bei jedem Planungszyklus wiederholt. In einem parametrischen CAD-Modell können die Erfordernisse des Tragwerksplaners so integriert werden, dass auf Knopfdruck aktualisierte Daten zur Verfügung stehen. Allerdings muss dazu in enger Zusammenarbeit definiert werden, in welcher Form das geschieht. Zudem muss die Schnittstelle auch auf Seiten der Statik entsprechend angepasst bzw. neu geschaffen werden.

2.6. Materiallogistik

Nur ein kleiner Teil der 1'769 gekrümmten Träger in der Kilden-Fassade konnte aus geraden BSH-Rohlingen gefräst werden. Für alle anderen mussten gebogene Rohlinge massgefertigt werden, um den Verschnitt und vor allem den statisch relevanten Faserschnittwinkel klein zu halten. Da das Verleimen von individuellen BSH-Rohlingen aufwändig und vor allem langwierig ist, eröffnete sich hier ein grosses Optimierungspotenzial. Durch die spezielle Form der Fassade ändert sich die Krümmung benachbarter Träger nur relativ langsam, so dass es fast überall möglich war, alle 9 bis 11 Träger eines Fassadenelements in dieselbe Rohlingsform einzupassen. Dadurch stieg zwar der Verschnitt an, dafür wurde die Produktion durch die mehrfache Verwendung des Pressbetts extrem beschleunigt.

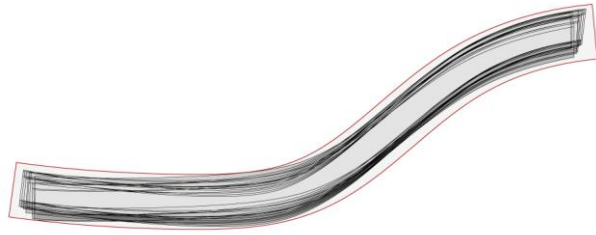


Abb. 7: Alle neun Träger des Elements C11 können aus demselben BSH-Rohling gefertigt werden, ohne dass die Fasern mit mehr als 5° angeschnitten werden.

Der Informationstransfer ist bei der Materialbeschaffung meist das kleinste Problem. Excel-Tabellen oder DXF-Daten reichen in der Regel aus. Die Abstimmung der Planung auf das verfügbare Material bietet dagegen ein riesiges Potential für Verbesserungen. Das Optimieren der Materialausnutzung ist dabei nur einer von vielen Faktoren, bei denen computergestützte Verfahren (z.B. das Nesting mehrerer Bauteile in einem Rohling) zu grossen Einsparungen führen können. Auch die Berücksichtigung von statisch relevanten Kriterien wie dem maximalen Faserschnittwinkel entlang der gesamten Bauteillänge ist praktisch nur mit digitalen Werkzeugen möglich. Projektentscheidend sind aber oft eher Rationalisierungen bei der Logistik, mit deren Hilfe Produktionszeiten reduziert, die Maschinenausnutzung erhöht und die Lagerhaltung minimiert werden können. Auch hier ist wieder eine detaillierte Abstimmung zwischen allen Beteiligten der Schlüssel zum Erfolg des Gesamtprojekts.

2.7. Arbeitsvorbereitung und Produktion

Das schwächste Glied in der digitalen Prozesskette ist nach wie vor der Übergang vom CAD zum CAM: Das Übersetzen der Bauteil-Geometrie in die CNC-Bearbeitungen und schliesslich in Maschinendaten. Bei Kilden kamen drei verschiedene Strategien zur Anwendung:

- Für die geraden Träger wurden Einzelmodelle der fertigen Bauteilgeometrie im SAT-Format exportiert und zum Holzbauer Trebyggeriet nach Norwegen übermittelt. Dort wurden sie in ins Holzbau-CAD importiert, die notwendigen Bearbeitungen wurden manuell erstellt und dann Maschinendaten für ein Hundegger-Bearbeitungszentrum generiert.
- Für die gekrümmten Träger wurde ein strukturiertes Rhino-Modell pro Fassadenelement an den Holzbauer Blumer-Lehmann exportiert, welches die Rohlings-Geometrie und definierte Geometrie-Elemente für die einzelnen Bearbeitungen enthielt. Daraus wurden vom Holzbauer mit Hilfe eigener Software-Werkzeuge automatisch Maschinendaten für die Krüsi Lignamatic erzeugt.
- Für die Schalbretter wurden die Maschinendaten für ein SCM 5-Achs-Zentrum mit Hilfe eines individuell programmierten Post-Prozessors direkt aus dem parametrischen CAD-Modell generiert und zu den Bootsbauern nach Risør übermittelt. Dazu mussten zunächst die Bretter aus ihrer verdrehten Endlage in die Ebene „zurückgerechnet“ und ihren Abmessungen entsprechend zu Vierergruppen zusammensortiert werden.

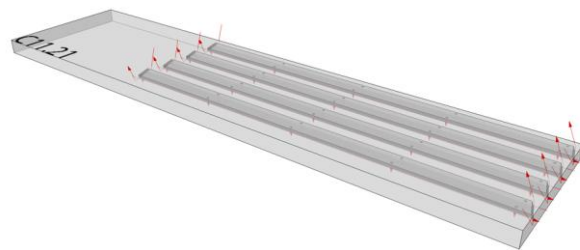


Abb. 8: Vier „abgewickelte“ Schalbretter mit automatisch generierten CNC-Bearbeitungspfaden in ihrer Lage auf dem Maschinentisch. Von hier aus wurden in einem nächsten Schritt direkt Maschinendaten erzeugt.

Für Standard-Bauteile mit Standard-Details existieren inzwischen leistungsfähige Branchenlösungen, mit deren Hilfe die Arbeitsvorbereitung auf Knopfdruck funktioniert. Im Non-Standard-Bereich wird das (definitionsgemäss) kaum je erreicht werden. Funktionen wie das „Abwickeln“ der elastisch tordierten Eichenbretter für das Kilden-Projekt in die Ebene des Maschinentisches sind extrem projektspezifisch und kaum allgemein verwendbar. Für den optimalen Weg vom CAD- zum CAM-Modell gibt es verschiedenste Möglichkeiten, die vom Bauteil, den Bearbeitungen, der Maschine und nicht zuletzt von der Losgrösse abhängen. Denn diese ist nur auf den ersten Blick gleich eins. Durch die parametrische Definition macht es einen grossen Unterschied ob ein individueller Postprozessor für 292 gerade BSH-Träger oder für 12'484 tordierte Schaltbretter entwickelt werden muss – im ersten Fall ist eine manuelle Arbeitsvorbereitung wahrscheinlich effizienter, im zweiten Fall sicher zu strapaziös und unwirtschaftlich.

2.8. Vormontage

Die vorgefertigten Komponenten aus Norwegen und der Schweiz wurden schliesslich auf der Werft der Risør Trebåtbyggeri zu 126 Fassadenelementen vormontiert. Um die Einhaltung der Toleranzen zu gewährleisten wurden für jedes Element Montageschablonen gebaut. Diese wurden ebenfalls bereits im parametrischen CAD-Modell geplant, so dass an den geraden Trägern entsprechende Aussparungen für die Auflager gefertigt werden konnten. Ausserdem wurden pro Element acht Referenzpunkte für Lasermessungen so vorbereitet, dass Reflektoren in vorbereitete Bohrungen gesteckt werden konnten. Detaillierte Montagepläne enthielten sowohl die wichtigsten Masse als auch Referenzkoordinaten, um die Elementrahmen sauber ausrichten zu können. Die richtige Positionierung der Bauteile untereinander war durch entsprechende Nuten und Aussparungen gewährleistet.

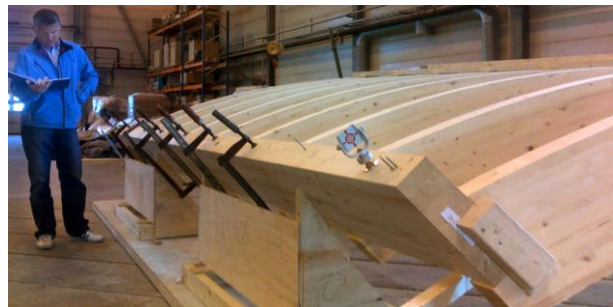


Abb. 9: Montage eines Elementrahmens in der Aufbauschablone. Im Vordergrund ist einer der Laserreflektoren zur Lagekontrolle zu sehen. ©Trebyggeriet

Die erforderliche Präzision ist bei komplexen gekrümmten Formen fast nur durch Vormontage in kontrollierten Umgebungen zu gewährleisten. Digitale Technologien kommen hier vor allem bei der Produktion von Schablonen, beim Erstellen von Plänen und beim Einmessen der Bauteile zum Tragen. Auch hier gilt wieder: sind die jeweiligen Anforderungen früh genug bekannt, können sie bereits in das parametrische CAD-Modell integriert werden um z.B. die optimale Aufbauposition für grossformatige Elemente zu finden und automatisch entsprechende Montagepläne zu generieren.

2.9. Transport & Endmontage

Eine wichtige Rolle bei der Konstruktion der Kilden-Fassade spielte die Topografie Norwegens. Die Vormontage der Fassadenelemente fand auf einer Bootswerft statt, der Bauplatz liegt ca. 100km Luftlinie entfernt direkt am Hafen von Kristiansand. So konnten bis zu 50 Quadratmeter grosse Elemente problemlos auf dem Seeweg transportiert werden. Sie wurden mit jeweils acht Bolzen an der Stahlkonstruktion befestigt, die genauen Positionen der knapp 900 Bohrungen waren ganz zu Beginn der Planung bereits an den Stahlbauer übermittelt und per Lasermessung überprüft worden. Zur genauen Ausrichtung der Elemente wurden wie bei der Vormontage Laserreflektoren in vorbereiteten Löchern der Fassadenelemente genutzt.



Abb. 10: Transport von bis zu 50m² grossen Elementen per Schiff. ©Trebyggeriet

Auch die letzte Station des Workflows ist entscheidend für die Effizienz der gesamten Prozesskette. Die Grösse der Elemente hängt von den Transportmöglichkeiten ab. Verbindungen zu anderen Gewerken – wie hier zur Stahlkonstruktion – müssen unter Umständen schon definiert werden bevor alle anderen Details geklärt sind,

um den Zeitplan des Gesamtprojekts nicht zu gefährden. Und nicht zuletzt definiert die Montagereihenfolge auf der Baustelle die Produktionsreihenfolge der Einzelteile, um die Lagerkosten niedrig zu halten.

3. Zusammenfassung

Grosse Bauprojekte sind immer komplex. Die Menge der Abhängigkeiten zwischen einzelnen Projektphasen und Gewerken ist schwer überschaubar, und eine optimale Lösung für alle Anforderungen ist praktisch unmöglich zu finden. Bei Freiform-Geometrien kommt erschwerend hinzu, dass die Anzahl individueller Bauteile regelrecht explodiert und die gewohnte Rati-

onalisierung über Wiederholungen nicht mehr möglich ist. Hier müssen Ähnlichkeiten auf einem höheren Abstraktionsniveau gefunden und in parametrischen CAD-Modellen gefasst werden, um bei tausenden von Einzelteilen und Losgrösse eins nicht in Mannjahren von manueller Konstruktionsarbeit zu ersticken. Da das für alle Projektphasen und -beteiligten gilt, versagen auch gewohnte Schnittstellen, wie z.B. zum Statiker (CAD-CAE) und zur Arbeitsvorbereitung (CAD-CAM). Sie müssen in enger Zusammenarbeit und unter Beachtung aller Nebeneffekte entlang der gesamten Prozesskette neu verhandelt werden, um nicht mit einer Verbesserung an der einen Stelle eine katastrophale Verschlechterung an anderer Stelle zu verursachen. Teamwork wird hier mindestens ebenso wichtig wie die Beherrschung sowohl der digitalen als auch der analogen Arbeitswerkzeuge. Unter diesem Blickwinkel erfordern die digitalen Technologien paradoxerweise eine Stärkung des Handwerks: Ein innovativer Blick über den Tellerrand der Gewohnheit, interdisziplinäre Teamarbeit und der Wille zur Qualität sind unabdingbare Voraussetzungen für den Erfolg solcher Projekte.



Abb. 12: Montage der Fassadenelemente. ©Trebyggeriet

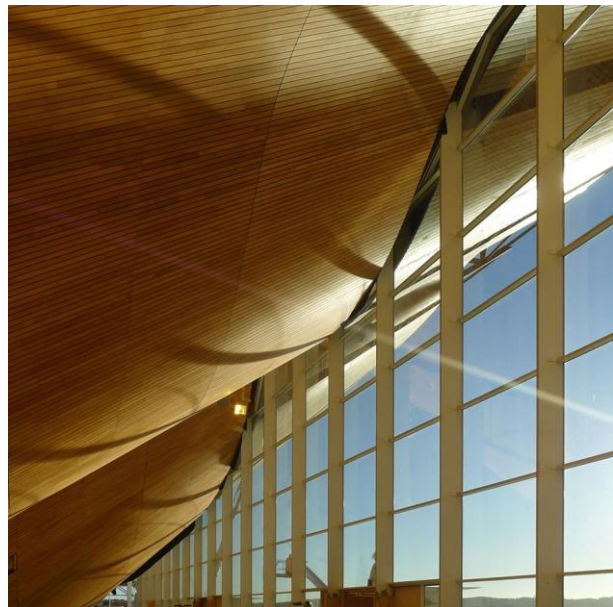


Abb. 11: Blick ins Foyer. ©Trebyggeriet

4. Referenzen

Projekt: Kilden Performing Arts Center, Kristiansand (Norwegen) – www.kilden.com

Architekt: ALA Arkitekter, Helsinki (Finnland) – www.ala-a.com

Generalunternehmer: AF Gruppen, Oslo (Norwegen) – www.afgruppen.com

Holzbau Fassade: Trebyggeriet AS, Hornnes (Norwegen) – www.trebyggeriet.no

Eichenschalung, Vormontage: Risør Trebåtbyggeri (Norwegen) – www.woodenboat.net

Beratung, CNC-Fertigung: Blumer-Lehmann, Gossau/SG (CH) – www.blumer-lehmann.ch

Beratung, Tragwerksplanung: SJB Kempter-Fitze, Eschenbach/SG (CH) – www.sjb.ch

Beratung, Parametrische Planung: designtopproduction, Erlenbach/ZH (CH) –

www.designtopproduction.com