Le Pavillon du Théâtre de Vidy: Die Umsetzung eines Forschungs-projektes aus Sicht des Ausführenden

David Riggenbach
Blumer-Lehmann AG
Gossau SG, Schweiz

Le Pavillon du Théâtre de Vidy: Die Umsetzung eines Forschungsprojektes aus Sicht des Ausführenden

1. Ausgangslage

1.1. Raumbedarf am Théâtre de Vidy

Seit über 50 Jahren steht in einem Quartier von Lausanne das Théâtre de Vidy. Das Gebäude wurde ursprünglich für eine sechsmonatige Nutzung für die Expo 64 gebaut, entworfen vom Zürcher Architekten Max Bill. Danach wurde es, nicht wie ursprünglich vorgesehen, abgerissen, sondern weiter bespielt. Das Theater verfügt über drei Bühnen auf denen französisch- und deutschsprachige Stücke inszeniert werden. Zusätzlich war lange Zeit eine weitere Bühne in einem Zeltbau in Betrieb. Dieses Zelt war nun in die Jahre gekommen und die dortigen Aufführungen litten unter Problemen durch Schallemissionen durch die nahegelegene Strasse.

Als Ersatz für den provisorischen Zeltbau wünschte die Bauherrschaft eine repräsentative, gedämmte und akustisch vorteilhaftere Spielstätte. Sie sollte ausserdem zu dem bestehenden Kubus von Max Bill passen, sich aber in Form und Material davon unterscheiden.

Abbildung 1: Situationsplan Théâtre de Vidy mit bestehendem und neuem Gebäude

1.2. Ein Faltwerk für den Theaterpavillon in Vidy

Im Gespräch mit dem Architekten Yves Weinand liess sich Vincent Baudriller, Theaterdirektor und Intendant des Théâtre des Vidy, schnell davon überzeugen, dass Holz der perfekte Werkstoff für seinen Neubau sei. Schon Max Bill hatte bei den Expo-Bauten auf simple Materialien und Formen gesetzt. Metall und Glas galten damals als ähnlich innovativ wie heute der Werkstoff Holz.

Yves Weinand, der im belgischen Liège ein Architektur- und Ingenieurbüro betreibt, ist gleichzeitig der Leiter des IBOIS (Laboratoire de construction en bois) an der EPFL (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne). Sein Projekt, welches vom IBOIS gemeinsam mit

den Architekten des Atelier Cube erarbeitet wurde, konnte die Bauherrschaft überzeugen. Ausserdem ermöglichte der Bau einen spannenden Technologietransfer von der Forschung in die Praxis.

1.3. Entwicklung und Erforschung von Faltwerkgeometrien an der EPFL

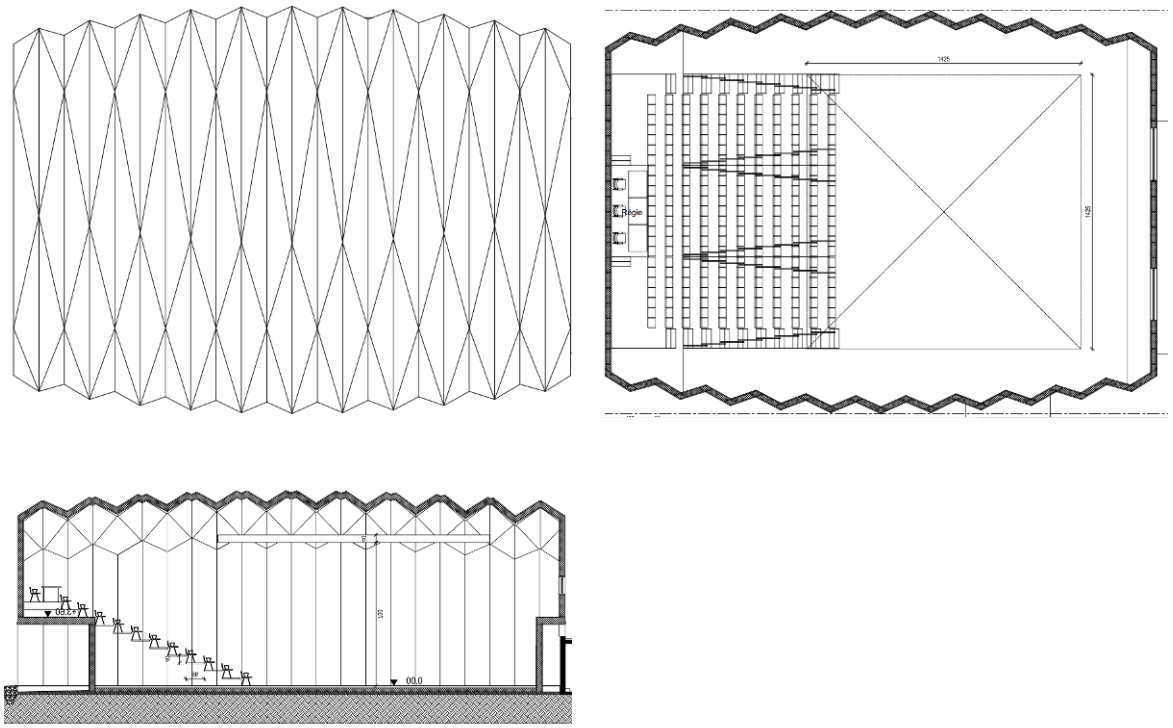
Am IBOIS werden schon seit vielen Jahren Faltwerke aus Holz untersucht und gestaltet. Bereits 2008 wurde in Pompables eine kleine Kapelle erstellt, ursprünglich als Provisorium für die Umbauzeit gedacht. Der Bau steht noch heute, so sehr hat er den Diakonissen gefallen. Bei der Kapelle handelt es sich um ein Origami-Faltwerk, das aus Holzplatten ohne Dämmung konzipiert wurde und mit Metallverbindern befestigt ist.

Seither wurden am IBOIS die Faltwerkstrukturen aus Holz und deren Verbindungen laufend weiterentwickelt. Einschalige Strukturen mit einer regelmässigen Plattenanordnung wurden gebaut und getestet. Dabei wurde darauf geachtet, dass identische Einzelteile in möglichst grosser Stückzahl eingesetzt werden konnten um den Planungs- und Produktionsaufwand gering zu halten. In einem weiteren Entwicklungsschritt kamen die «zapfenartigen» Holz-Holz-Verbindungen hinzu und anschliessend wurde eine erste doppelschalige Konstruktion entwickelt. Die Implementierung einer Parametrik, also konstruktive Regeln, mit deren Hilfe der Planungsaufwand gering gehalten werden konnte, ermöglichte schliesslich auch unregelmässige Geometrien.

Im Austausch mit dem IBOIS und der Blumer-Lehmann AG begegnete der Theaterdirektor Vincent Baudriller immer wieder diesem Streben nach Neuem, das er aus der Theaterwelt bestens kennt: «Die Offenheit und Neugier für zukunftsweisende Technologien und Ästhetik ist nahe verwandt mit der Mentalität unseres Theaters», so die Aussage von Baudriller.

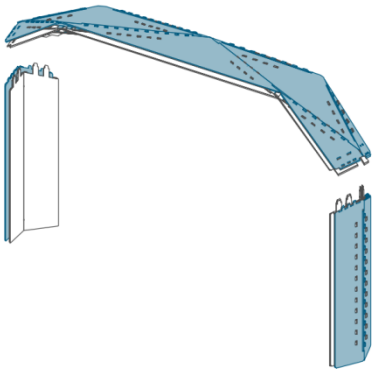
2. Das Projekt

2.1. Gebäudegeometrie



Abbildungen 2 bis 4: Dachaufsicht, Grundriss, Schnitt des neuen Pavillons des Théâtre de Vidy, Lausanne

Das Dach des Pavillons überdeckt zwischen den zwei gefalteten, 9 m hohen Längswänden eine Grundfläche von 538 m^2. Der Grundriss ist zweifach spiegelsymmetrisch. Die Dachstruktur ist nur in Bezug auf die Gebäude-Querachse spiegelsymmetrisch. Die Dachfläche wird durch ein Polygonnetz gebildet, bei dem sich jeweils sechs Kanten an einem Punkt treffen. Die Position dieser Punkte folgt drei verschiedenen Kreisbögen, von denen die zwei äusseren auf unterschiedlicher Höhe in der vertikalen Schnittebene des Gebäudes liegen. Diese asymmetrische Form ermöglicht unter anderem den Ablauf des Regenwassers.



Diese Geometrie wurde unterteilt in 11 rahmenartige Segmente, welche je aus zwei Wandelementen und einem Dachelement bestehen, die als Faltwerkkonstruktion vorgefertigt wurden. Giebelseitig wird das Gebäude durch ebene Bauteile abgeschlossen, die in konventioneller Holz-Rahmenbauweise erstellt wurden. Die Wandelemente der Längswände weisen im Grundriss einen «Knick» auf. Jedes Wandelement besteht aus zwei Flächen. Die Dachelemente sind aus jeweils 10 dreieckförmigen Dachflächen geformt.

Abbildung 5: Rahmenartiges Gebäudesegment aus zwei Wandelementen und einem Dachelement

2.2. Materialisierung und Verbindungen

Damit die Elemente des Faltwerkes als raumabschliessende, gedämmte Bauteile ausgebildet werden konnten, wurde ein zweischaliger Aufbau gewählt. Die insgesamt 300 mm starken Bauteile bestehen aus einer inneren und einer äusseren Schale aus 45 mm starken Fichte-Fünfschichtplatten. Zwischen den Platten wurden Rand- und Füllhölzer montiert, um deren Abstand sicherzustellen. In die so gebildeten Kammern wurde die Wärmedämmung eingeblasen.

Die statische Verbindung zwischen den einzelnen Platten wurde durch geometrisch präzise Zapfenverbindungen gelöst. Diese dienen als Fügehilfe für den millimetergenauen Zusammenbau und übertragen gleichzeitig die Kräfte, so dass die gesamte Gebäudebreite von gut zwanzig Metern überspannt werden kann. Dabei sind keine zusätzlichen Tragwerksteile, Verklebungen oder metallenen Verbindungsmittel nötig. Die eingesetzten Verschraubungen dienen lediglich der konstruktiven Lagesicherung der Bauteile.

Eine hinterlüftete Fassaden- und Dachbekleidung vervollständigt die Gebäudehülle und stellt den Schutz vor Witterungseinflüssen und somit die Dauerhaftigkeit der Konstruktion sicher.

Abbildung 6: Zapfenverbindungen

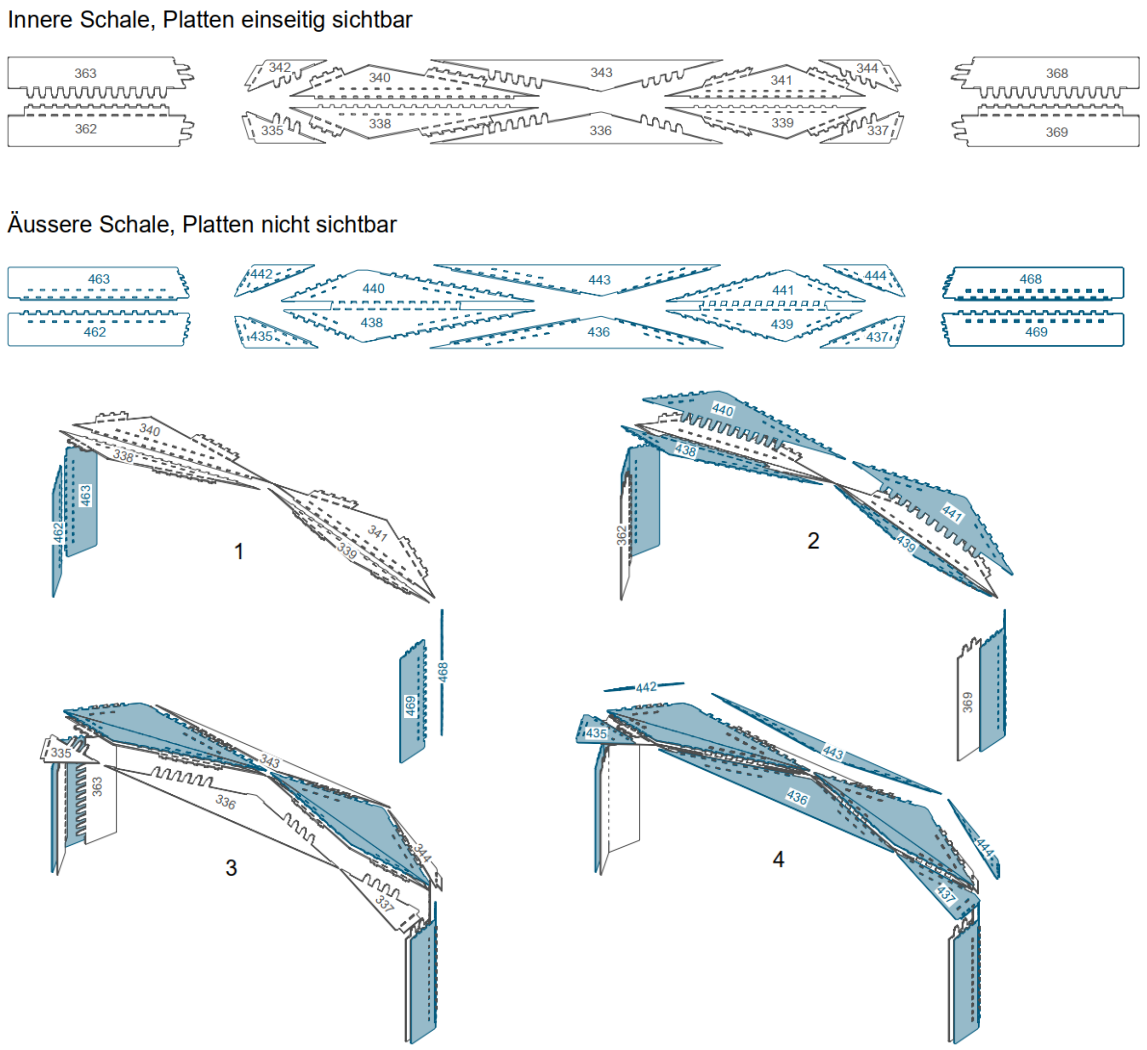
2.3. CAD / CAM (teilweise zitiert aus Tec21 22/17, Christopher Robeller und Yves Weinand)

Die Erzeugung der Bauteile erfolgte automatisch mit Hilfe eines für das Projekt entwickelten CAD-Plugin mit den folgenden vier Eingabeparametern:

1. Einem einfachen, einschichtigen Polygonnetz mit planbaren Dreiecksflächen für die Dach- und Vierecksflächen für die Wandelemente. Mit dem Flächenmodell wurden die Identifikationsnummern der Bauteile und Kantenverbindungen verwaltet.
2. Einer CSV-Textdatei (Comma-separated Value), in der die Parameter der Verbindungen verwaltet wurden. Zum Beispiel die Informationen zur Art der Kantenverbindungen, die Einschubrichtungen für die integralen Zapfenverbindungen und weitere verbindungsspezifische Variablen.
3. Plattenstärke in Millimetern.
4. Gesamttiefe des zweischichtigen Aufbaus, von der Aussenseite der unteren Platte zur Aussenseite der oberen Platte.

Dieses Plugin wurde am IBOIS entwickelt. Hierfür wurden das Software Development Kit (SDK), Rhino Commons und die Programmiersprache C# eingesetzt. Als Benutzerschnittstelle diente die Software Grasshopper, in der die Eingabeparameter der Konstruktion mit einer Visualisierung der 3D-Bauteile bearbeitet und verändert werden konnten.

Das CAD-Plugin erzeugte zwei Datenausgaben. Zum einen wurden die 3D-Bauteile im Gesamtmodell dargestellt, zum andern wurden alle Platten auf der zweidimensionalen xy-Ebene des CAD-Modells flach ausgelegt. Aufgrund der 114 unterschiedlichen Winkel in der Faltform des Theaters waren diverse Schrägschnitte für die Herstellung der Bauteile erforderlich. Die Fabrikation der Teile erfolgte daher in einem fünfachsigen CNC-Bearbeitungszentrum. Wegen der vielen konkaven Eckpunkte in den Polygonzügen, beispielsweise zwischen den Zapfen und bei den Durchbrüchen, bot sich eine Bearbeitung mit einem Fingerfräser an. Die dafür notwendige fünfachsige CNC-Simultanbearbeitung, die an ungefähr 500 verschiedenen Bauteilkanten mit tausenden von unterschiedlich geneigten Zapfengeometrien erforderlich war, liess sich mit herkömmlichen CAM-Softwarelösungen nicht sehr effizient erzeugen. Stattdessen kam ein spezielles CAD-Plugin zum Einsatz, das für die automatisierte G-Code-Generierung integral gefügter Holzwerkstoffplatten entwickelt wurde. Datengrundlage für die Erzeugung des Maschinencodes waren Polygonkonturzugpaare. Nach der Auswahl eines Bauteils wurde der G-Code für die Bearbeitung angezeigt. Gleichzeitig wurden die Fahrwege der Maschine visualisiert und eine Simulation der Maschinenbewegungen konnte abgespielt werden.



Abbildungen 7 und 8: Zusammenbau Wand- und Dachelemente im Werk

3. Die Ausführung

3.1. Probestück «Testrahmen»

Für uns als Ausführungsverantwortliche des Bauwerkes war schnell klar, dass ein «Teststück» produziert werden musste, bevor wir mit der Serienproduktion loslegen konnten. An diesem sollten alle Prozesse 1:1 auf den vorgesehenen Produktionsanlagen unserer Partnerbetriebe ausprobiert werden, von der Programmierung über die CNC-Bearbeitung bis zum Zusammenbau. Und schliesslich wollten wir auch einen Belastungstest durchführen, um das nötige Vertrauen in die Konstruktion zu erlangen.
Da aber das Budget für ein zusätzliches 1:1-Modell (Mock up) fehlte, haben wir uns dazu entschlossen, das erste der elf Dachelemente zeitlich vorgezogen zu produzieren. Erkenntnisse daraus wurden für die Planung und Produktion der restlichen Bauteile frühzeitig berücksichtigt.

Abbildung 9: Belastungstest des ersten Dachelements mit Gewichten

3.2. Herausforderungen CNC-Produktion

Bei der CNC-Produktion gab es diverse Herausforderungen zu meistern. Da die Innenseite der Faltwerkkonstruktion gleichzeitig die sichtbare Oberfläche im Gebäude bildet und das Anbringen einer Dampfbremsfolie aufgrund der Geometrie nicht möglich war, wählten wir den kleinstmöglichen Fräs-Durchmesser. Durch die teilweise sehr flachen Zustellwinkel entstanden Schnittlängen bis ca. 100 mm. Dies erforderte lange, schlanke Fräser, was wiederum zu geringen Vorschubgeschwindigkeiten führte und mehrere Fräsdurchgänge nötig machte. Um die Bearbeitungszeiten zu optimieren wurde das Plugin vom IBOIS angepasst. So konnten längere Schnitte ohne Richtungswechsel mit dem Kreissägeblatt ausgeführt werden.

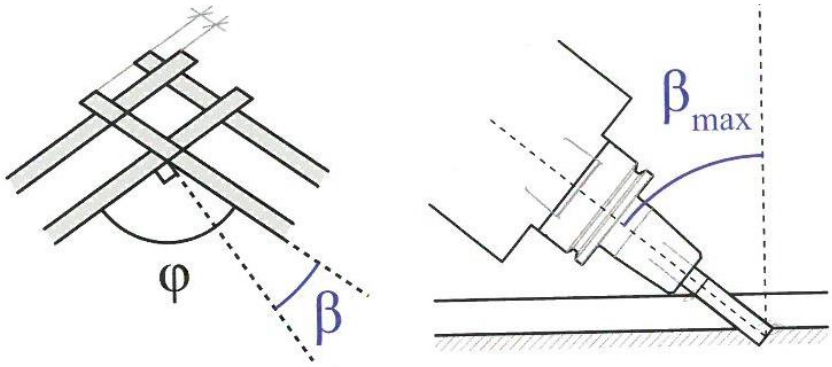


Abbildung 10: Flache Bearbeitungswinkel führen zu grossen Fräserlängen

Eine weitere Herausforderung war der Programmcode, der für Maschinisten der Plattenproduzenten nicht zugänglich war. So hatten sie keinerlei Möglichkeit manuell in die Steuerung einzugreifen und allfällige Fehler direkt in den Programmen zu umgehen.

3.3. Zusammenbau der Dachelemente

Für den Zusammenbau der Elemente wurde ein «Montagebock» errichtet, der durch das einfache Austauschen und Verschieben auf die individuelle Geometrie der Dachelemente angepasst werden konnte.

Abbildung 11: Die Montageböcke dienten als Hilfe beim Zusammenstecken der Dachelemente in der Halle

Die Reihenfolge für das Zusammenstecken der einzelnen Teile war genau vorgegeben. Der Programmierer dieses Systems beschreibt den Prozess wie folgt:

«Grundsätzlich wird zwischen zwei Situationen unterschieden. Im ersten Fall wird ein Segment mit einem und im zweiten Fall gleichzeitig mit zwei Nachbarsegmenten verbunden. Während im ersten Fall die Zapfen rechtwinklig zur Kante orientiert sind, wird im zweiten Fall eine Rotation der Zapfen innerhalb der Plattenebene nötig, sodass die Einschubrichtung aller Zapfen des Bauteils parallel ist. Ein Sonderfall liegt vor, wenn ein Bauteil mit Rechteckdurchbrüchen gleichzeitig auf vier Bauteile mit Zapfen- und Doppelzapfenverbindern aufgesteckt wird. Es ist nur möglich, diese Platte einzuschieben, wenn die Zapfen auf den vier anderen Platten parallel sind. Nachdem zwei dieser Platten sich aber auf unterschiedlich orientierten Ebenen befinden, existiert nur eine mögliche Einschubrichtung für die Platte mit den Durchbrüchen. Diese Richtung befindet sich entlang der Verschneidung der Ebenen der zwei Nachbarsegmente.

In der Praxis bedeutete dies, dass wir eine bis zu 13 m lange und mit bis zu 16 Doppelzapfen ausgerüstete Platte gleichzeitig in vier andere Platten einschieben mussten. Dabei war der Einfahrweg durch die erste Schicht teils über 400 mm lange und der Einschubvektor der Schwerkraft entgegengesetzt. Das theoretische Übermass der Durchbrüche betrug nur wenige zehntel Millimeter.

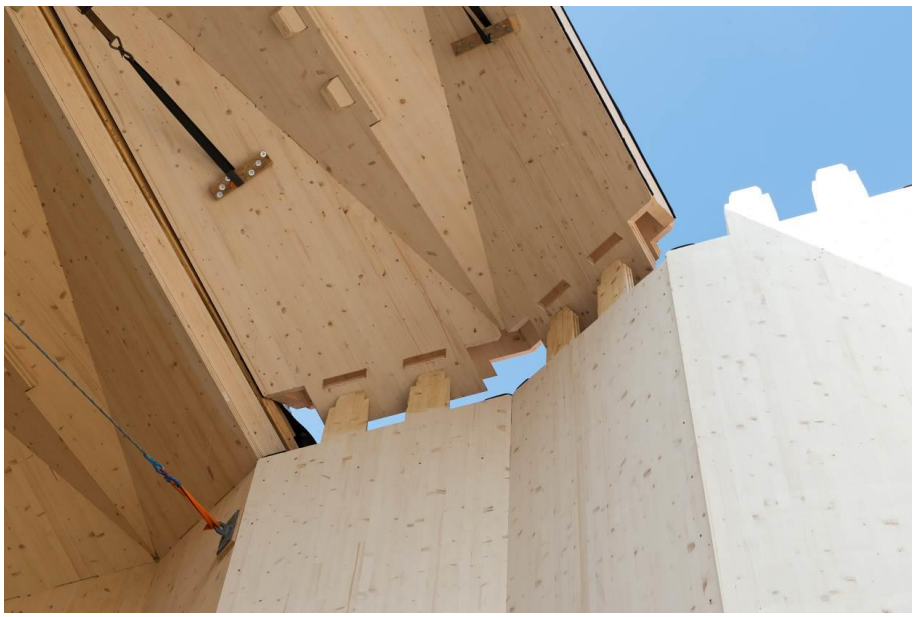
Abbildung 12: Manpower wurde benötigt beim Zusammenbau der Dachelemente in der Halle

Die Präzision der Teile war allerdings beeindruckend und mit dem Einsatz einiger Tricks und einer erfahrenen Mannschaft konnten die Teile wie vorgesehen zusammengebaut werden.

3.4. Transport Montage

Für die Zwischenlagerung der vormontierten Dachelemente und auch für den Transport auf den Tiefbettaufliegern mussten die Dachelemente mit provisorischen «Füssen» ausgestattet werden, da diese ansonsten keine horizontale Abstellfläche aufwiesen.

Auf der Baustelle wurde dann die erste Giebelwand gestellt und anschliessend von der Seite des Haupteinganges her die Faltwerk-Wände aufgerichtet. Aufgrund der begrenzten Lagerflächen in der Vormontage sollte das Bauwerk in zwei Etappen erstellt werden. So wurde die erste Bauetappe mit der Montage von vier Faltwerk-Rahmen noch vor Weihnachten 2016 abgeschlossen.



Abbildungen 13 und 14: Die Wand und Dachelemente werden auf der Baustelle baukastenartig zusammengesteckt.

3.5. Rückschlag durch «Höhere Gewalt»

Am Montag, dem 9. Januar 2017 kam es bei der Firma Schilliger Holz AG in Küssnacht, welche die Platten für das Vidy-Projekt herstellte und auch für die CNC-Bearbeitung der Teile zuständig war, zu einem Grossbrand. Das gesamte Plattenwerk und das Fertigungscenter für die Plattenbearbeitung brannten vollständig nieder. Auch Bauteile, die sich für das Vidy-Projekt im Produktionsprozess befanden, fielen den Flammen zum Opfer.

So musste für die Fertigstellung des Théâtre de Vidy ein neuer Plattenproduzent gefunden werden. Brettsperrholzproduzenten gibt es einige, kaum einer ist jedoch in der Lage eine Platte im Format von 3.0 m x 13.0 m mit dem geforderten Aufbau aus fünf Schichten à 9 mm herzustellen.

3.6. Erfolgreicher Projektabschluss

Nach intensiver Suche konnte mit der Firma Balteschwiler in Laufenburg (CH) ein Partner gefunden werden, der einerseits die Platten in nützlicher Frist beschaffen und andererseits auch die CNC-Bearbeitung der Bauteile auf ihrem eigenen, modernen CNC-Bearbeitungszentrum übernehmen konnte.
So montierten wir den Rohbau für den Theaterpavillon mit einiger Verzögerung noch vor Ende April 2017.

Abbildung 15: Nach Abschluss aller Fertigstellungs- und Ausbauarbeiten wurde der Pavillon am 11. September 2017 mit einer Ausstellung eröffnet

4. Facts und Figures

250	Sitzplätze (einschiebbare Tribüne)
540 m^2	Gebäude-Grundfläche
350 m^2	Hauptnutzfläche für Theaterbetrieb (mit eingeschobener Tribüne)
19 x 11 m	Grösse der Bühne (mit offener Tribüne)
10 m	Lichtraumhöhe im Gebäudeinnern
7 m	Höhe der Gitterträger zur Aufnahme der technischen Ausrüstung über der Bühne
12 Monate	Dauer der Bauarbeiten, von August 2016 bis August 2017
2,8 Mio.	CHF Budget für den Bau der Halle, inkl. Szenografie- und Technikausrüstung (Ohne Technologie-Studien und Transfer von Ibois)
308 Stk.	Platten-Bauteile der Faltwerkkonstruktion mit individueller Geometrie
350m^3	Verbautes Holzvolumen (Tragwerk / Fassade / Ausbau), davon 67% Schweizer Holz
690 m^2	Hinterlüftete Fassade aus sägeroher Fichte mit Vorvergrauung
680 m^2	Hinterlüftete Dachfläche mit einer zweilagigen, bituminösen, beschieferten Dachabdichtung
106 lfm	Dachrand / Dachrinne
475 lfm	Gratlinien in der Dachfläche
425 lfm	Kehllinien in der Dachfläche
24 Stk.	Dachwasserabläufe

5. Beteiligte Firmen und Organisationen

Bauherrschaft:	Théâtre de Vidy, Lausanne
Architektur:	Yves Weinand architectes, Lausanne Atelier Cube, Lausanne
Bauingenieur:	Bureau d'études Weinand, Liège (BE)
Technologie Transfer:	Laboratoire des constructions en Bois IBOIS, EPFL Projektbeitrag Aktionsplan Holz, BAFU
Holzbau und Gebäudehülle:	Blumer-Lehmann AG, Gossau
Plattenlieferung und –zuschnitt:	Schilliger Holz, Küssnacht a.R. Balteschwiler AG, Laufenburg