



An diesem Projekt waren die Autoren des folgenden Textes maßgeblich beteiligt: Arbeitsgemeinschaft Localarchitecture, Danilo Mondanda und Shel, temporäre Kapelle St. Loup, Pompaples (Schweiz), 2008

HOLZ – TEKTONIK – DIGITAL

Von Hani Buri und Yves Weinand

Bauten, in denen man sich wohl fühlt, die überraschen und einen zum Staunen bringen, haben einen gemeinsamen Nenner: die gelungene Synthese von Technik und räumlicher Gestaltung. Die Kunst, Konstruktionstechnik so einzusetzen, dass sie einen Bestandteil der Gestaltung bildet und diese aktiv mitbestimmt, definierte Kenneth Frampton¹ als **Tektonik**. Sie ist das poetische Ausdruckspotenzial der Konstruktionstechnik. Technik wird nicht nur eingesetzt, um eine konstruktiv optimale Lösung zu finden, sie beeinflusst auch die sinnliche Raumerfahrung². Die Tektonik ist im Holzbau verwurzelt, das griechische Wort *tekon* bedeutet Zimmermann oder allgemeiner Baumeister. Die Kunst des Zimmermanns prägt also die Architektur.

Um die Entwicklung des Zusammenspiels von Material, Fertigungstechnik und Entwurf zu beschreiben, folgen wir weitgehend dem architektonischen Periodisierungsmodell von Christoph Schindler³. Die Fertigungstechnik gilt dabei als ein System, das Information mithilfe von Energie auf ein Werkstück überträgt, wobei die Information die Form und Formgebung des Werkstücks beschreibt. Im Laufe der Entwicklung übernimmt in einem ersten Schritt anstatt der menschlichen Hand (Hand-Werkzeug-Technik) die Maschine das Führen von Werkstück und Werkzeug (Maschinen-Werkzeug-Technik), und im weiteren Übergang ist die Maschine auch für die variable Steuerung der Information verantwortlich (Information-Werkzeug-Technik). Diesen Wandel begleitet eine zunehmende Spezialisierung: Der universelle Zimmermann wird von einem Team hoch-



Temporäre Kapelle St. Loup, Pompaples, 2008. Foto: Fred Hatt

spezialisierter Experten abgelöst. Parallel dazu verändern sich auch die Entwurfstechniken: vom Aufriss, den Zimmermann und Baumeister vor Ort erstellen, zum eigenständigen Regelsatz der darstellenden Geometrie und schließlich zur parametrisierten Geometrie, die nicht mehr die Form definiert, sondern deren Gerüst.

Die Geschichte des Holzbaus kann in drei Phasen aufgeteilt werden, von denen jede ein eigenständiges

tektonisches Potenzial aufweist: das hölzerne (Hand-Werkzeug-Technik), das industrielle (Maschinen-Werkzeug-Technik) und das digitale Zeitalter (Informations-Werkzeug-Technik).

Das **hölzerne Zeitalter** zeichnete sich durch die Einheit von Entwurf, Ausführung und Material aus. Der Zimmermann übernahm sowohl die Ausführung als auch die Planung. Er war der *archi tekton*, der „oberste Baumeister“, der das Werkstück konzipierte, auf-





Temporäre Kapelle St. Loup, Pompaules, 2008. Foto: Fred Hatt

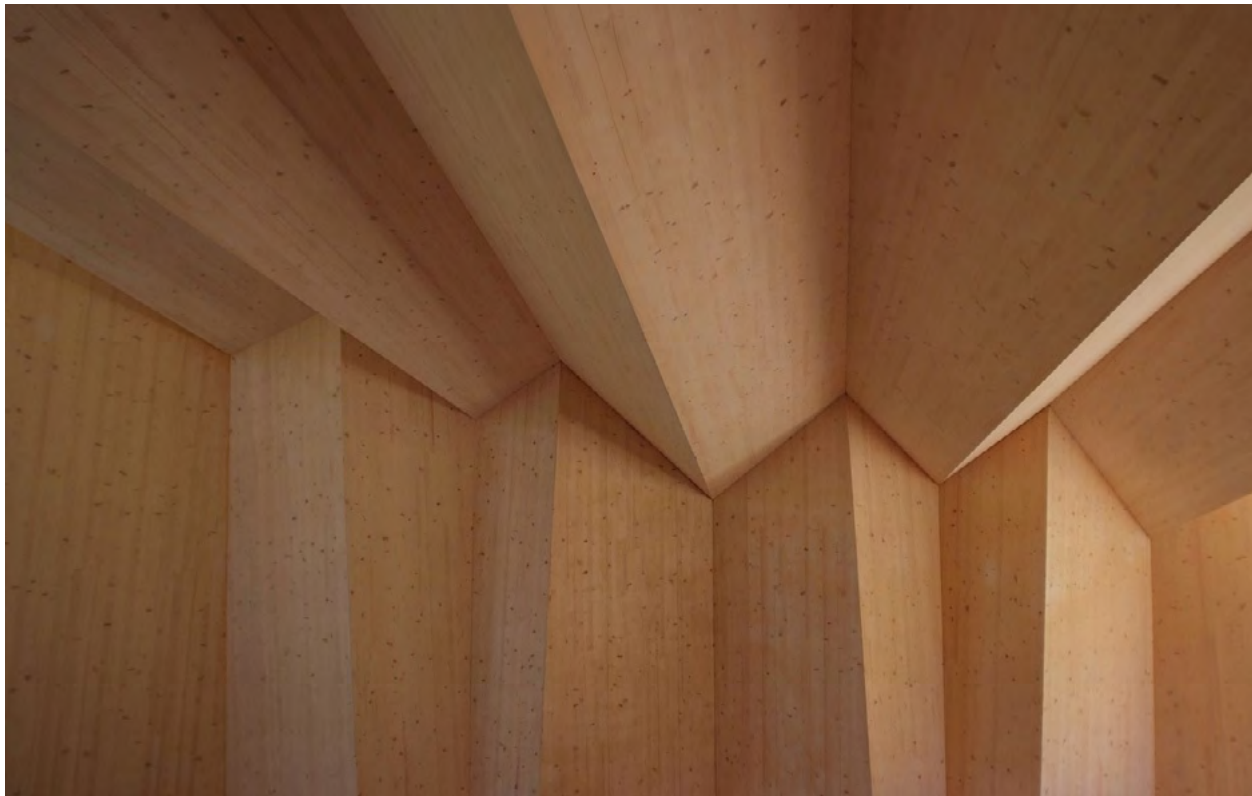
riss und bearbeitete und durch die manuelle Bearbeitung mit Axt und Säge das Werkstück individuell prägte. Die Planung von Holzbauten war sehr einfach und enthielt nur allgemeine Angaben. Für Fachwerkbauten beispielsweise sind Projektpläne erst ab dem 18. Jahrhundert bekannt. In der Regel vereinbarte der Bauherr mit dem Zimmermeister einige grundlegende Aspekte des Baus wie Gebäudegröße, Anzahl der Stockwerke, Inneneinteilung, Anzahl der Türen und Fenster⁴. War die Typologie des Baus einmal festgelegt, folgte alles Weitere den tradierten Regeln, die das Material und seine natürlichen Abmessungen, die Konstruktionsart, typische Detaillösungen und geometrische Proportionen bestimmten. Somit beeinflussten die Konstruktionsart sowie die Handschrift des Zimmermanns die Tektonik des hölzernen Zeitalters, räumliche Aspekte blieben im Hintergrund.

Kennzeichnend für das **industrielle Zeitalter** sind Standardisierung und Spezialisierung. Um die Produktionsabläufe zu rationalisieren, wurde die Führung von Werkstück und Werkzeug auf Maschinen übertragen, die jedoch weiterhin der Mensch steuerte. Die Voraussetzung für diese Entwicklung war die Produktion hoher Stückzahlen, da jede Neueinstellung der Maschine den Produktionsprozess



verlangsamte. Die Bauteile wurden standardisiert. Die Standardisierung bedingte auch eine Homogenisierung der Werkstoffe: Natürlich gewachsenes Holz wurde zerlegt, zerkleinert und wieder zusammengeleimt, um seine wachstumsbedingte Inhomogenität aufzuheben. Auch in der Entwicklung von modularen Bausystemen spielte Holz eine wichtige Rolle. Hier sind es nicht mehr explizit Konstruktion und Verbindung, die die Tektonik prägen, sondern vielmehr die Präsenz des Konstruktionsrasters.

Das **digitale Zeitalter** ist – im Gegensatz zum industriellen Zeitalter – von einer starken Tendenz zur Individualisierung geprägt, hervorgerufen einerseits durch die elektronische Steuerung von Produktionsmaschinen, andererseits durch neue, parametrisierbare Entwurfswerkzeuge. Die Steuerung einer Maschine mithilfe eines Computercodes befreit vom Zwang zur seriellen Produktion. Die Information zur Form des Werkstücks, die der Mensch bislang durch das Einstellen der Maschine lieferte, ist nun direkt in die Maschine integriert. Der Informationsfluss des Steuerungsprogramms ist variabel, dadurch können ohne Zeitverlust Bauteile mit unterschiedlichen Formen hergestellt werden.



Temporäre Kapelle St. Loup, Pompaples, 2008. Foto: Fred Hatt

Erste digital gesteuerte Abbundmaschinen für den Holzbau kamen in den 1980er-Jahren zum Einsatz, zunächst nur zum Abbund von stabförmigen Elementen, doch schon bald wurden große Portalanlagen entwickelt, mit denen es möglich war, die Werkstücke in fast allen Formen zu bearbeiten. Sie zeichnen sich nicht nur durch ihre elektronisch variable Steuerung aus, sondern auch durch ihre Universalität. Die Bedienung der Maschine erfolgt über einen maschineninternen Code, den ein spezielles Programm generiert. Das heißt, dass die Maschine nicht einfach mit einem Datensatz gefüttert werden kann, der die Form des Werkstücks geometrisch beschreibt,

sondern die Form des Werkstücks muss erst einmal in Bewegungen von geeigneten Werkzeugen übersetzt werden. Die leichte spanende Bearbeitbarkeit macht Holz zu einem bevorzugten Werkstoff für digital gesteuerte Bearbeitungsportale. Dementsprechend ist die Holzindustrie maschinell gut ausgerüstet, und Holz avanciert zu einem Hightech-Werkstoff.

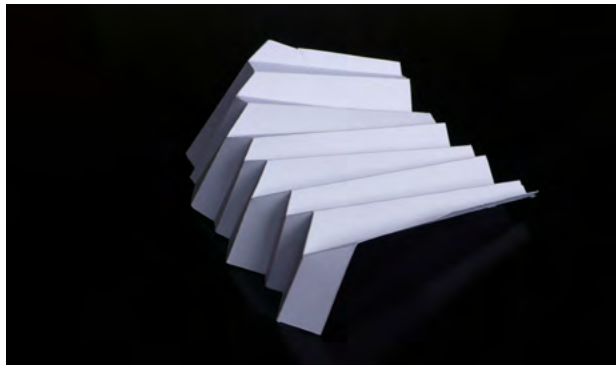
In den Anfängen des CAD (Computer Aided Design) diente der Computer vor allem als digitales Reißbrett, auf dem weiterhin in Grundriss und Schnitt entworfen wurde. Doch fast unbemerkt schlichen sich neue Werkzeuge in die Palette ein, zum

Beispiel das digitale Kurvenlineal, die Bézier-Kurve. Diese wurde entwickelt, um Karosserien in der Automobilindustrie zu entwerfen. Während die darstellende Geometrie klar aus den Handwerkstechniken der Zimmermänner und Steinmetze⁵ entstanden ist, liegt der Ursprung von Bézier- und Spline-Kurven nicht im Bauwesen. Da Entwurfswerkzeuge immer auch die Form der Architektur prägen, stellt sich die Frage, wie der Architekt mit den neuen Werkzeugen umgeht⁶, und wie sich die daraus entstehenden Formen konstruktiv umsetzen lassen.

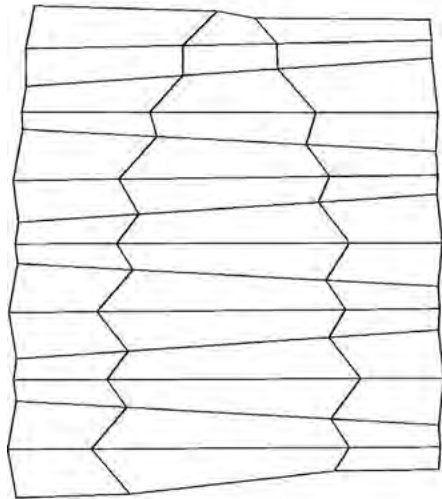
Bei der zweidimensionalen Bézier-Kurve scheint dies noch relativ einfach, im Gegensatz dazu die konstruktive Umsetzung dreidimensionaler NURBS-Flächen (NURBS = Non-Uniform Rational B-Spline) wesentlich komplexer. Auch dieses Werkzeug stammt ursprünglich aus dem Automobilbau. NURBS-Flächen sind mathematisch exakt definierte Gebilde, allerdings unterliegen die Formen keiner konstruktiven Logik. Die Frage, wie sich eine solche Form in einzelne Bauteile zerlegen lässt, und welches Tragwerk für die Form geeignet ist, stellt den Architekten oft vor unüberwindbare Hürden, da er nicht über das nötige mathematische Wissen verfügt. Eine Möglichkeit bietet die Zusammenarbeit mit einem Spezialisten, der hilft, die geometrischen und konstruktiven Probleme zu meistern.

Einen wichtigen Schritt in diese Richtung stellen **parametrische Modelle** dar. Sie ermöglichen es, Form und Bauteile zu verändern, ohne dass es notwendig ist, alles neu zu zeichnen. Wird die Gesamtform verändert, so passen sich auch alle Komponenten der neuen Form an. In einem parametrischen Modell wird nicht mehr die Form per se gezeichnet, sondern ein Prozess definiert, der die Form und die einzelnen

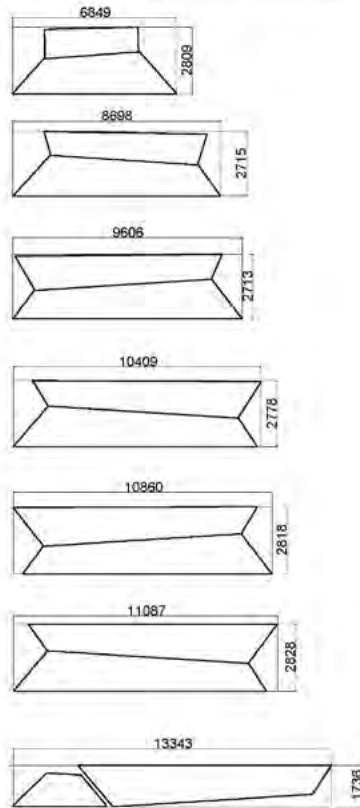




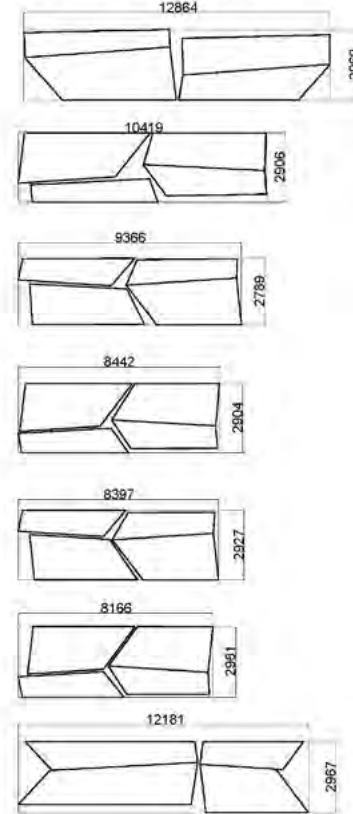
Das Tragwerk wurde aus Faltungen entwickelt



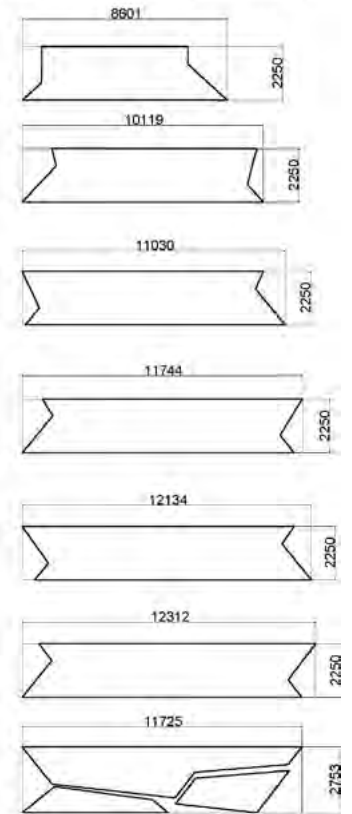
panneaux de toiture 60mm 151m² net



panneaux verticales 40mm 175m² net

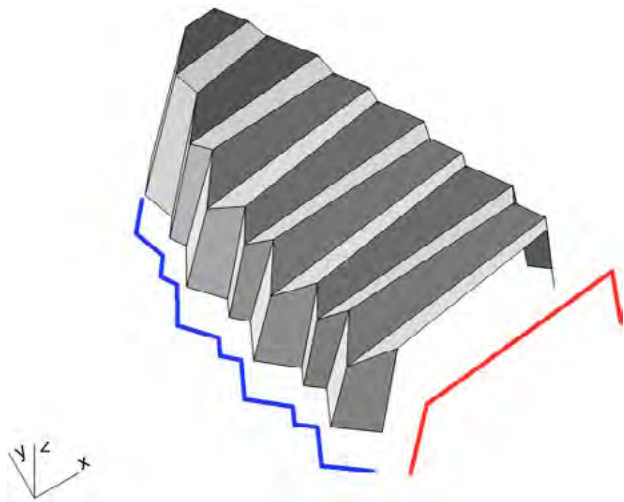


panneaux de plancher 40mm 155m² net



Temporäre Kapelle St. Loup, Pompaples, 2008. Abwicklung und Zuschnitte – das „Panel-Layout“





Riffelungsprofil (blau) und Querschnittsprofil (rot)

Bauteile generiert. Die Form lässt sich durch die Steuerung festgelegter Parameter erzeugen und verändern. Entscheidend ist nicht die gewählte Form, sondern wie der Prozess zur Formgenerierung angelegt ist, und welche Parameter den Prozess steuern. Dadurch erhält die Tektonik eine neue Aktualität: Das parametrische Modell kann zwischen Raum und Technik vermitteln⁷.

Angeregt durch Effizienzsteigerung und Standardisierung, entwickelt sich das gewachsene Holz immer mehr zum homogenisierten Holzwerkstoff. Viele natürliche Eigenschaften des Materials wie zum Beispiel die leichte spanende Bearbeitbarkeit, das geringe Gewicht und die ansprechende Oberflächenstruktur bleiben im Holzwerkstoff erhalten. Dadurch ist Holz sehr attraktiv und vielseitig einsetzbar, sowohl für die digital gesteuerte Fertigung als auch in der Raumgestaltung. Die digital gesteuerte Fertigung ermöglicht die wirtschaftliche Herstellung von individuellen Bauteilen. Wie im Handwerk werden einzelne Teile

aufeinander abgestimmt und bilden ein Beziehungsnetz.

Auch parametrische Entwurfswerkzeuge folgen einer Logik von Beziehungen, die das genetische Gerüst der Form bilden. Dadurch entsteht eine Verknüpfung von Entwurf und Fertigung.

Lagen Wissen und Können im hölzernen Zeitalter in der Hand des Zimmermanns, so sind sie im digitalen Zeitalter unter einer Vielzahl von Spezialisten aufgeteilt, was einen hohen Aufwand an Planung und Koordination erforderlich macht. Wie auch beim modularen Bausystem ist die Identität der Projektautoren verwischt: Sind es die Entwickler des digitalen Werkzeugs oder diejenigen, die es anwenden?⁸

Faltwerke – Origami

Anhand einer ausgewählten Arbeit des Lehrstuhls für Holzkonstruktionen IBOIS der EPFL Lausanne⁹ lässt sich aufzeigen, wie spezifisch auf Holz und seine Materialeigenschaften zugeschnittene parametrische Entwurfswerkzeuge gestaltet werden können. Ein Impuls für die Forschungsarbeiten am IBOIS sind Holzwerkstoffplatten, insbesondere Brettspertholz. Brettspertholzplatten haben gute Festigkeitswerte und werden in Dimensionen hergestellt, die interessante Anwendungen im Tragwerksbereich, unter anderem für Faltwerke, ermöglichen. Wegen ihrer tragenden und räumlich-plastischen Wirkung sind Faltwerke für Ingenieure und Architekten gleichermaßen interessant¹⁰. Die Falten erhöhen die Steifigkeit einer dünnen Fläche, die dadurch nicht nur raumüberdeckend, sondern auch tragend wirkt. Der Rhythmus der Falten sowie das Wechselspiel von Licht und Schatten entlang der gefalteten Fläche können gezielt zur räumlichen Gestaltung eingesetzt werden. Gleichzei-

tig lässt sich die Tragfähigkeit des Faltwerks durch die Tiefe und die Neigung der Falten beeinflussen. Wir setzten uns deshalb zum Ziel, eine Methode zu entwickeln, die solche Faltwerke rasch räumlich darstellen und verändern kann. Ausgangspunkt der Arbeit war das *Origami*, die japanische Kunst des Papierfaltens. Origami arbeitet mit einfachen Grundtechniken, die durch geometrische Variationen zu einer erstaunlichen Formvielfalt führen, und mit einfachen Mitteln komplexe Formen erzeugen. Diese Eigenschaften wollten wir auf die Konstruktion von Faltwerken mit Brettspertholz übertragen.

Die Geometrie der **Kapelle für die Diakonissen von Saint-Loup** in Pompaples¹¹ im Schweizer Jura integriert Raumhülle, Tragwerk, Konstruktion, Akustik und Lichtführung in einer einheitlichen Form und ist wesentlich von dem verwendeten Entwurfswerkzeug geprägt¹². Die Kapelle sollte eine gewisse Selbstverständlichkeit und Einfachheit ausdrücken sowie wirtschaftlich und schnell montierbar sein. Dies führte zur Wahl eines trapezförmigen Querschnittsprofils aus drei Segmenten – zwei Wände und ein Dach. Dadurch ließ sich die Anzahl der Platten und Stöße gering halten.

Der Raum soll an ein einfaches Kirchenschiff mit runder Apsis erinnern, deshalb ist das Riffelungsprofil, das die Form im Grundriss bestimmt, leicht gekrümmt. Dadurch wird der Raum zum Altar hin komprimiert und die Faltung, da sie aus einer kontinuierlichen, abwickelbaren Fläche besteht, vertikal aufgestoßen. Der schrittweise Übergang von horizontalem zu vertikalem Raum gibt der Kapelle eine klare Ausrichtung und Bedeutung, die die Transzendenz von menschlicher Erdbundenheit zur Spiritualität symbolisieren soll. Bei der Kapelle gelang es, dank einer präzisen Regulierung der Geometrie des Falt-

werks die architektonischen, statischen und produktionsbedingten Vorgaben erfolgreich in den Entwurfsprozess zu integrieren. Die so entstandene neue und eigenständige architektonische Form wäre ohne die digitale Modellierung nur schwer umsetzbar gewesen. Die Ausführung mit Brettspertholzplatten machte es möglich, Raumhülle, Tragwerk und Innenausbau mit einer einzigen Schicht zu bauen. Dadurch, dass die digitalen Dateien für den Zuschnitt der Brettspertholzplatten direkt im parametrischen Entwurfswerkzeug gezeichnet und dann an den Produzenten geliefert wurden, konnte der Produktionsprozess rationalisiert werden.

Das Projekt ist das Resultat einer gelungenen Zusammenarbeit zwischen Architekten, Forschern und Ingenieuren. Es zeigt, dass eine erfolgreiche Integration von material- und tragwerkspezifischen Vorgaben in ein parametrisches Entwurfswerkzeug zu einem konstruktiven Dialog zwischen Raumgestaltung und Technik führen kann – die Voraussetzung für tektonische Qualität.

Hani (Hans Ulrich) Buri arbeitet am von Prof. Yves Weinand geleiteten Lehrstuhl für Holzkonstruktionen IBOIS der EPFL Lausanne. Dieser Text ist die gekürzte Fassung eines Aufsatzes, der im Katalog „Bauen mit Holz – Wege in die Zukunft“, München 2011 (siehe Seite 2), veröffentlicht wurde. Mit freundlicher Genehmigung der Autoren, der Herausgeber (Architekturmuseum und Fachgebiet Holzbau der TU München) und des Prestel-Verlags

ibois.epfl.ch

Temporäre Kapelle St. Loup, Pompaples, 2008. Foto: Fred Hatt

1 Kenneth Frampton, *Studies in Tectonic Culture. The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*, Cambridge, MA 1995

2 Anne Marie Due Schmidt, *Poul Henning Kirkegaard, Navigating Towards Digital Tectonic Tools*, in: *Smart Architecture. Integration of Digital and Building Technologies. Proceedings of the 2005 Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*, 2006, S. 114 – 127

3 Christoph Schindler, *Ein architektonisches Periodisierungsmodell anhand fertigungstechnischer Kriterien, dargestellt am Beispiel des Holzbaus*, Diss. Zürich 2009

4 Walter Weiss, *Fachwerk in der Schweiz*, Basel u.a. 1991

5 Joël Sakarovitch, *Géométrie pratique, géométrie savante. Du trait des tailleurs de pierre à la géométrie descriptive*, in: *Thierry Paquot, Chris Younès, Géométrie, mesure du monde. Philosophie, architecture, urbain*, Paris 2005

6 Urs Füssler, *Design by Tool Design. Advances in Architectural Geometry*, Wien 2009, S. 37-40

7 Antoine Picon, *L'Architecture et le Virtuel. Vers une Nouvelle Matérialité*, in: *Jean-Pierre Chupin, Cyrille Simonnet (Hg.), Le Projet Tectonique*, Gollion 2005

8 Füssler (wie Anm. 6)

9 Zur Lehre des IBOIS siehe auch: *Yves Weinand, Timber project. Nouvelles formes d'architectures en bois*, PPUR Lausanne 2010
10 Hani Buri, *Origami. Folded Plate Structures*, Diss. Lausanne 2010

11 Projektautoren: *Groupement d'architectes Localarchitecture – Danilo Mondada und SHEL, Hani Buri, Yves Weinand, Architecture engineering and Production Design*

12 Hani Buri, *Yves Weinand, Kapelle St. Loup in Pompaples*, in: *Detail*, 2010, H. 10, S. 1028-1031

