

Vom Design zum Engineering – Integrierte Lösungen und Chancen der digitalen Prozesskette im Holzbau

FB GESTALTUNG
Prof. Dr. Wieland Becker

Das Lehr- und Forschungsgebiet Holz (LF-Holz) der Hochschule Trier bildet die Prozesskette Digitales Entwerfen, Konstruieren und Fertigen komplett ab.

1. Einführung

Die Architektur der Moderne ist gekennzeichnet durch den kreativen Prozess des seriellen Bauens und bildet somit die gestalterischen, technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der Zeit zwischen 1920 und 1990 ab. Hervorragende Beispiele der seriellen Architektur finden sich beispielsweise im Kontext des Bauhauses, wobei das Werk von Walter Gropius und Konrad Wachsmann [1] stellvertretend genannt sind. Ein (bau-)kulturelles Beispiel der Fehlentwicklung des seriellen Bauens bieten die Plattenbausiedlungen ehemaliger Ostblockstaaten. Ebenso finden sich gegenwärtig Standards einer zeitgenössischen Baumarktkultur, welche die kulturelle, regionale und gestaltprägende Individualität gebauter Umwelt beschädigen.

Die Entwicklung der digitalen Prozesskette vom ersten CAD-Entwurf bis zum marktreifen Endprodukt aus CNC-Prozessen ermöglicht der postmodernen Gesellschaft die individuelle Gestaltung ihrer gebauten Umwelt zu wirtschaftlichen und ökologisch vertretbaren Konditionen. Gleichzeitig bietet sie die Chance, qualitätsvolle und materialgerechte Architektur hervorzubringen. Voraussetzung für diesen integrierten Planungs- und Produktionsprozess ist die Fähigkeit beteiligter Akteure zur interdisziplinären Kommunikation, ebenso wie die Fähigkeit zum Umgang mit rechnerbasierten Methoden [2].

Das LFHolz der Hochschule Trier vertritt

den Anspruch, die gesamte Prozesskette Holzbau über Design, Konstruktion und Fertigung in der Architektur zu vermitteln und weiter zu entwickeln. Dabei spielt der Aspekt der Werkstoffkenntnis des Werkstoffes Holz eine zentrale Rolle. Seine inhomogenen und anisotropen Materialeigenschaften erfordern besondere Kenntnisse, welche z. B. im Umgang mit Duromeren oder Stahl keine Rolle spielen. Somit muss eine fachspezifische Ausbildung Holz in der Architektur zwangsläufig den Materialaspekt würdigen und über eine reine Entwurfskompetenz hinausführen.

Während im Produktdesign Aussehen, Gebrauchstauglichkeit und wirtschaftliche Herstellverfahren eine Schlüsselrolle spielen, erweitert sich das Anforderungsspektrum im Bereich des Bauens um die wesentlichen Aspekte der Standsicherheit, der Bauphysik und des Brandschutzes. Für den Architekten und Ingenieur ist dies von enormer Bedeutung. Diese Anforderungen entsprechen einer hoheitlichen Verantwortung, unter welcher beide Partner Haftung für Leib und Leben der späteren Produktnutzer und ihrer »Designprodukte« übernehmen.

2. Chancen der digitalen Prozesskette

Die »Digitale Kette« stellt im Bereich des Bauwesens vom Entwurf über die Konstruktion, Berechnung, Optimierung und Fertigung einen iterativen Prozess dar. Einzelne Entwicklungsschritte finden in enger Abstimmung zwischen kreativ-gestalterischen und ingenieurrelevanten Aufgabenstellungen statt. In Ausbildung, Forschung und täglicher Praxis stellt fakultätsübergreifende Kompetenz, sowie die Fähigkeit zur fachlichen Kommunikation über gewachsene

Bereichsgrenzen hinweg, eine Grundvoraussetzung für erfolgreiche Planungs- und Bauprozesse dar. Im Zusammenhang mit rechnerbasierten Lösungen gilt:

Niemals zuvor in der Geschichte des Bauens waren Planer so schnell in der Lage, eine Fülle an Entwurfsvarianten und gestalterischen Alternativen herzustellen und ihren Auftraggebern zu präsentieren. Komplexe geometrische Räume und Konfigurationen lassen sich dreidimensional realisieren, ohne auf bisher verwendete, zeitaufwändige Methoden wie maßstabsgerechten Modellbau oder Darstellungen in Grundriss, Aufriss und Schnitt zurückgreifen zu müssen.

3. Herausforderungen und Risiken

CAD-Programme bieten Möglichkeit zur Erzeugung vielfältiger Raum- und Hüllflächenkompositionen, die mittels Skalierung oder individueller Programmierung mehrere Entwürfe auf Basis eines Urmodells visualisieren, jedoch nicht auf Anforderungen der Standicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Bauphysik oder Wirtschaftlichkeit eingehen. Selbst zeitgemäße Kommunikationsplattformen wie z. B. BIM (Building Information Modeling) [3] sind kein Garant für Erfolg, wenn den Akteuren Kenntnisse der Materialtechnologie, Statik, Bauphysik und Herstellung fehlen. Diese Tatsache stellt gleichermaßen eine Herausforderung, wie auch eine Gefahr im digitalen Designprozess dar. Wird sie negiert, so gerät der ambitionierte Architekturentwurf in das Nirvana des Nicht-Baubaren, der mit Mängeln behafteten Realisierung, oder sorgt wegen enormer Kostenrisiken für langanhaltende Verstimmung bei allen Beteiligten.

4. Digitale Prozesskette Holz (Entwurf-Konstruktion-Fertigung)

Abb. 1 stellt den Prozessablauf mit systemübergreifenden Verknüpfungen zwischen Design und Engineering dar, welcher den Lehr- und Forschungsinhalten des »Raumlabor Holz« am LFH entspricht. Diese Prozesse können iterativ und nichtlinear sein und reagieren somit auf die Komplexität der jeweiligen Aufgabe. Die Studierenden der LVA »Digitales Entwerfen, Konstruieren und Fertigen« erfassen dabei die gesamte Prozesskette vom Entwurf bis zur Produktion. Bis zum Erreichen eines endgültig baubaren Konzeptes kann in besonderen Fällen eine Prozessschleife zur endgültigen Designoptimierung erforderlich sein. Am Ende des CAD/CAM-Prozesses steht die Maschinenansteuerung und Auswahl geeigneter Werkzeuge.

Dabei sollte der Materialverbrauch, sowie der Gesamtenergieaufwand möglichst ressourcenschonend gesteuert werden. Hierfür steht dem LFHolz ein Nestingtool zum wirtschaftlichen Zuschnitt von Plattenwerkstoffen als Plug-in für das vorhandene Abbundprogramm (DIETRICH) zur Verfügung.

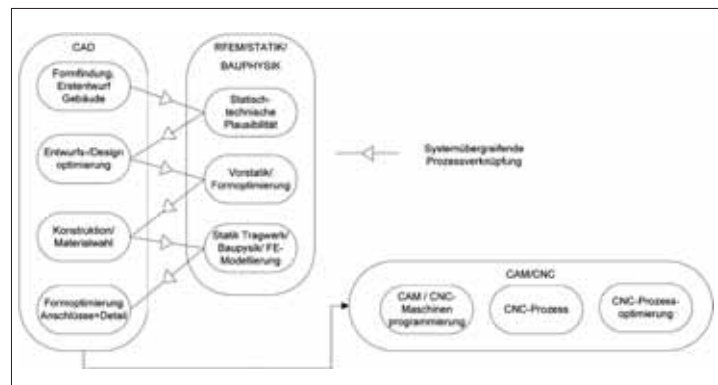


Abb. 1: Prozessdesign-Ablauf mit systemübergreifenden Verknüpfungen

5. Der digitale Entwurf

Am Beispiel einer Semesteraufgabe im Fach »Digitales Entwerfen, Konstruieren und Fertigen in Holz« werden die Einzelschritte zur Generierung einer baubaren Überdachungssituation im Kontext dargestellt. **Abb. 2** zeigt den ersten Schritt zum Entwurf komplexer, räumlicher Strukturen als Dachtragwerk aus Plattenmaterial in Brettsperrholz (Faltwerk). Nach einfachen mathematischen Algorithmen erzeugte Parkettierungen dienen als Ausgangspunkt zum Entwurf komplexer, räumlicher Systeme. In weiteren Zwischenschritten entwickelt sich das komplexe, räumliche Faltwerk, wobei der Entwerfer die konkreten Grundrissvorgaben in den Prozess integriert [4].

6. Strukturanalyse des Tragwerkes

Die Datenübergabe an ein räumliches Finite Elemente Programm (RFEM4) steht nach der Entwurfsphase am Beginn eines iterativen Konstruktions- und Bemessungsprozesses. Sie ermöglicht eine Plausibilitätskontrolle der entworfenen räumlichen Faltwerksgeometrie hinsichtlich statischer und materialrelevanter Aspekte (**Abb. 3**). Es folgen weitere Überarbeitungsphasen der Entwurfs- und Designoptimierung, der statisch-physikalischen Formoptimie-

rung, sowie der Konstruktion unter Berücksichtigung geeigneter Materialien. Dabei können an hochbelasteten Auflagern oder Fügepunkten auch Werkstoffverbunde zum Einsatz gelangen.

7. Fertigung

Nach Abschluss der Iterationsschritte zwischen CAD und statisch-konstruktiver Optimierung (mittels der Programme RFEM4, ggf. ANSYS), erfolgt die Vorbereitung der holzbauspezifischen Abbunds über eine Datenschnittstelle, die im Abbundprogramm ausgelesen werden kann. Für das gewählte Beispiel Falzwerk stehen dabei Holzflächenelemente aus Brettsperrholz (X-Lam) zur Verfügung. Der Abbund kann auf dem 5-Achs Abbundroboter eines Trierer Unternehmens erfolgen. Der im Holzbau wesentliche Aspekt der Füge-technologie wird mittels eines in das CAD-Programm (RHINO) integrierten Plug-in (RHINOCAM) bearbeitet. Diese Programmkombination für Freiformmodellierung schafft bei der Herstellung komplexer räumlicher Knoten- oder Abbundlösungen in Holz eine schnelle Umsetzung zuvor optimierter Geometrien [5].

8. Schnittstelle Forschung – Fügetechnologien aus Werkstoffverbunden

Eine Möglichkeit zur Integration eines Forschungsschwerpunktes des LFHolz bietet die vertiefte Beschäftigung mit Füge- und Verbindungstechnologien aus Werkstoffverbunden. Mit Hilfe bereits an der Hochschule vorhandener Einrichtungen lassen sich beispielsweise Verbindungsknoten für stabförmige Konstruktionen in Holz herstellen. Dabei spielen Werkstoffverbunde, insbesondere in Kombination Holz-Stahl-Beton

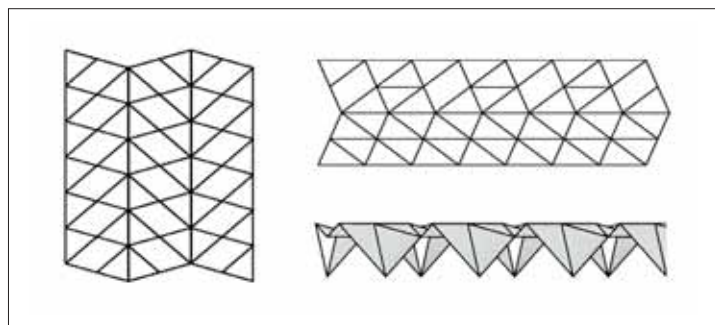


Abb. 2: Entwicklung eines räumlichen Falzwerks

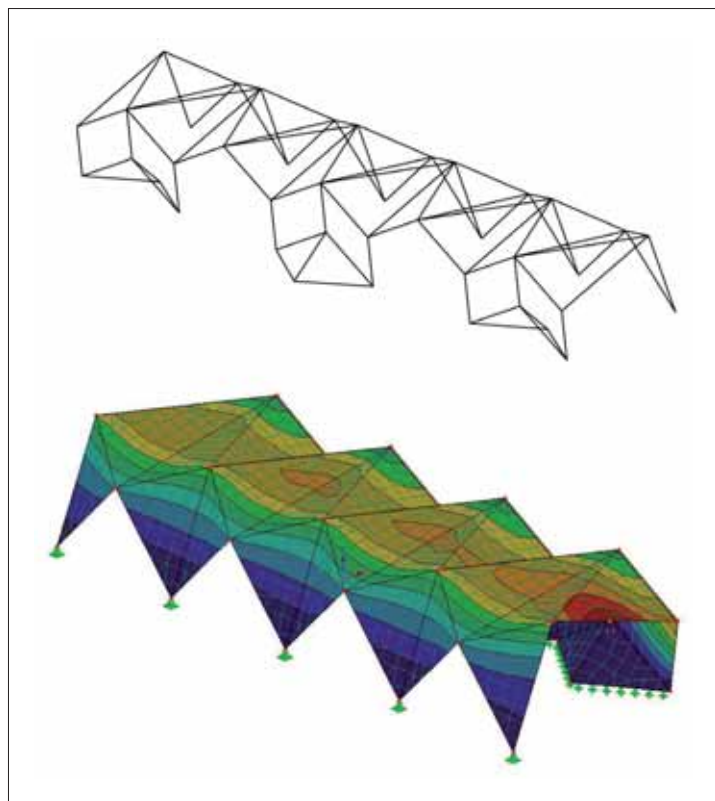


Abb. 3: Formoptimierung und Untersuchung der statischen Plausibilität

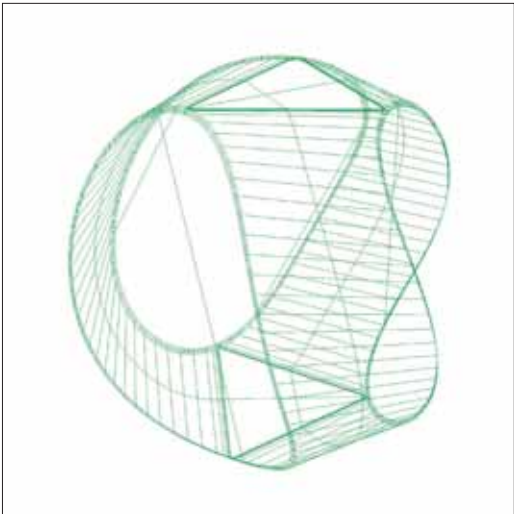


Abb. 4: CAD-Modell Innenknoten

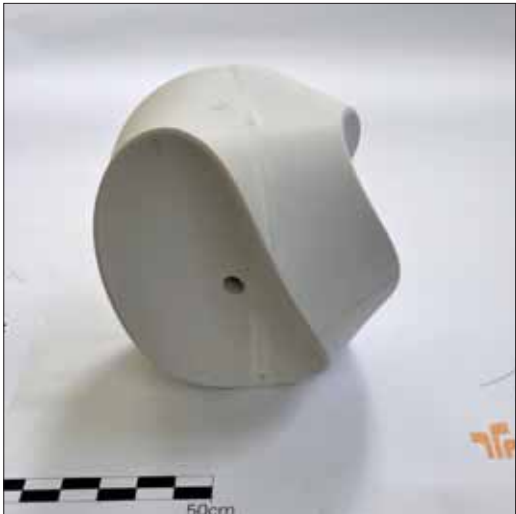


Abb. 5: 3D Druck des Innenknotens



Abb. 6: Innenknoten aus Polymerbeton



Abb. 7: Innenknoten in Rundstützenkonstruktion

im starren Verbund (Klebertechnologie) eine zentrale Rolle. Mittels zuvor beschriebener Programme sind Fertigungsprozesse über eine simultane 5-Achs-Bearbeitung (Portalfräse) spanabhebend möglich. Ebenso können Knotenlösungen im Schichtbauverfahren (Rapid prototyping) am Labor für Digitale Produktentwicklung und Fertigung (FB Maschinenbau) [6] realisiert werden. Sie lassen sich in Folge mit Bauteilprüfungen (Druck-, Zug-, Biege- und Scherversuche) untersuchen. Die zuvor beschriebenen Abläufe sind nachfolgend dokumentiert.

In **Abb. 4** ist das CAD-Modell eines räumlichen Innenknotens zur Verbindung von Rundholzprofilen dargestellt, **Abb. 5** zeigt das im Schichtbauverfahren hergestellte 3D-Positiv des Innenknotens [7] [8]. Die **Abb. 6** stellt das gegossene Positiv des 3D Knotens aus Polymerbeton mit eingeklebten Gewindehülsen dar. In **Abb. 7** ist der Innenknoten als zentraler Verbinder in die Rundstützenkonstruktion integriert.

9. Ausblick-Das Zertifikatsstudium »Computational Design and Timber Engineering« in Zusammenarbeit mit der HWK Trier

Durch das LFHolz wird entsprechend der zuvor dargelegten Inhalte ein Ausbildungskonzept mit Schwerpunkt Holz angeboten. Zunächst wird diese Kompetenz im Studiengang Architektur vermittelt, wobei im zweiten Studienabschnitt des BA-Studiums eine Grundkompetenz erlangt wird und im MA-Studium eine Fokussierung auf die zuvor beschriebenen komplexen Zusammenhänge erfolgen kann. Es wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Nachhaltigkeit des Baustoffes Holz zukünftig ein wesentlich größerer Bedarf an gut ausgebildeten Fachleuten in diesem Bereich erforderlich sein wird. Gemeinsam mit der HWK Trier befindet sich ein Zertifikatsstudiengang »**Computational Design and Timber Engineering**« in Vorbereitung. Das Weiterbildungsangebot richtet sich an Zimmerermeister, Architekten, Bauingenieure sowie Absolventen von artverwandten Studiengängen. Es soll sich aus mehreren Einzelmodulen mit jeweils einsemestriger Dauer zusammensetzen. Diese können im Verbund oder auch einzeln abgeschlossen werden, wobei ein Schwerpunkt auf den Inhalten »Konstruktiver Entwurf, Bemessung, sowie Digitale Fertigung« liegt.

Ein weiterer Ausbildungsschwerpunkt kann im Umgang mit neuesten Fügetechnologien wie der Klebertechnologie [9] und dem Einsatz von Werkstoffverbunden im modernen Ingenieurholzbau



Abb. 8: BSP-Faltwerk



Abb. 9: Tragrost



Abb. 10: CAM-Abbund Tragrost



Abb. 11: Tragrost im Montagezustand

liegen [10]. Abschließend wird in **Abb. 8** der Entwurf eines Faltwerkes aus Brettsperrholz (BSP oder X-LAM) als Ergebnis des zuvor beschriebenen Designprozesses, sowie ein räumliches Tragrostsystem (**Abb. 9**) mit dem Innenknoten nach Abb. 7 dargestellt. Derartige räumliche Flächen- und Stabstrukturen lassen sich ausschließlich über die zuvor beschriebenen CAD/CAM-Prozesse herstellen (**Abb. 10** und **Abb. 11**). In einer individuellen und wirtschaftlich herstellbaren Fertigungstechnologie liegt somit ein Schlüssel für den modernen Holzbau.

10. Literatur

- [1] Wachsmann, K.: *Wendepunkt im Bauen*. Wiesbaden: Krausskopf Verlag, 1959
- [2] Nerdinger, W. (Hrsg.): *Wendepunkte im Bauen. Von der seriellen zur digitalen Architektur*. Architekturmuseum der Technischen Universität München, 2010
- [3] Technische Universität München, Lehrstuhl für computergestützte Modellierung und Simulation: Borrmann, A.: *Vertiefungsrichtung Building Information Modeling*. München: Internet 2012-09-10
www.cms.bv.tum.de/lehre/vertiefungsrichtung-building-information-modeling
- [4] Pottmann, H.; Asperl, A.: et. al: *Architekturgeometrie*. Wien: Springer Verlag, 2010
- [5] Kief, H.; Roschiwal, H.: *CNC-Handbuch 2009/2010*. München: Hanser Verlag 2009
- [6] Hoffmann, M.: *CAD/CAM mit CATIA V5 NC-Programmierung, Postprocessing, Simulation 2.Aufl.*, München: Hanser Verlag 2010
- [7] Becker, W.; Weber, J.: *High performance composite joints for spatial round wood truss structures*. In: Cost Action FP 1004_2012-04 ESP Conference proceedings Zagreb: Enhance mechanical properties of timber engineered wood products and timber structures; Zagreb 2012
- [8] Schober, K.; Drass, M.: *Advanced interface interaction in timber engineering joints*. In: Cost Action FP 1004_2012-04 ESP Conference proceedings Zagreb: Enhance mechanical properties of timber engineered wood products and timber structures; Zagreb 2012
- [9] Widmann, R., Steiger, R.: *Eingeklebte profilierte Stahlstäbe*. In: Tagungsband Holzbautag Biel, Biel 2011
- [10] Strahm, T.: *Verbindungen mit großer Leistung*. In: Tagungsband Werkstoffkombinationen aus Holz-SAH, 41. Fortbildungskurs 2009, Weinfeld: 2009. pp. 79-85.



Prof. Dr. Wieland Becker
Fachbereich Gestaltung
Fachrichtung Architektur
Hochschule Trier / Schneidershof
+49 651 8103 267
W.Becker@hochschule-trier.de



Dipl.-Ing. Jan Weber
Fachbereich Gestaltung
Fachrichtung Architektur
Hochschule Trier / Schneidershof
+49 651 8103 418
weberja@hochschule-trier.de